Proyecto cofinanciado con la Contribución del Programa LIFE de la Unión Europea

Project co-funded with the contribution of the LIFE Programme of the European Union

MANUAL DE USO Y CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES TRADICIONALES TIERRA, PIEDRA Y MORTERO

Manual de uso y caracterización de los materiales tradicionales tierra, piedra y mortero. Son materiales naturales y con un alto carácter sostenible aplicables a la construcción, conoce su origen, proceso de obtención, uso y normativa que les aplica en este intuitivo manual

“Dedicado a aquello que se olvidó, memoria de un pasado que esperanza nuestro futuro.”

MANUAL DE USO Y CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES TRADICIONALES TIERRA, PIEDRA Y MORTERO

LIFE ReNaturalNZEB
Manual de uso y caracterización de los materiales tradicionales tierra, piedra y mortero

Autores:
Mª Isabel Mota López
María Concepción Pacheco Menor
Antonio Romero Casado
Raúl Vega Roucher

Colaboradores:
Álvaro Rodríguez Martín

Edita:
INTROMAC, Instituto Tecnológico de Rocas Ornamentales y Materiales de la Construcción
Campus Universitario. 10071 Cáceres

Cáceres, junio 2022

ISBN: 978-84-125556-8-4
Depósito Legal: BA-000356-2022

Bienvenidos

Este manual es parte de una colección de manuales editados y publicados en el seno del proyecto **LIFE ReNaturalNZeb** que busca volver a poner en valor unos materiales que se han usado de manera tradicional en la construcción. Ahora vuelven a adquirir relevancia por su carácter sostenible y capacidad de reciclarse. Así pues, en este documento recogemos documentalmente una gran cantidad de publicaciones y bibliografías, así como referencias ya existentes que de manera integrada y muy visual presentan al lector todo este conocimiento técnico de una manera más directa e intuitiva. De esta forma el Manuel pretende completar uno de los objetivos principales de este proyecto y es que este tipo de materiales tradicionales retome el protagonismo qué bien podría volverlos a poner en funcionamiento en la construcción del siglo XXI.

INTROMAC, dentro del ámbito de la construcción y como Instituto Tecnológico centrado en los materiales de Construcción pretende con su participación en el proyecto **LIFE ReNaturalNZeb** y de la mano de los socios que le acompañan testear científicamente este tipo de recursos dándoles con ello una validez y garantía que propicie que las empresas vuelvan hacer uso de los mismos y con ello impulsar las Directivas de sostenibilidad que desde Europa se intentan trasladar.

El presente documento puede ser descargado gratuitamente en las siguientes URL's

SCAN ME

PDF

Proyecto cofinanciado con la Contribución del Programa LIFE de la Unión Europea

Project co-funded with the contribution of the LIFE Programme of the European Union

Introducción

Con el objetivo de disminuir el consumo energético y el impacto medioambiental del sector de la construcción en Europa, se apuesta cada día más por acciones basadas en los conceptos de sostenibilidad y economía verde y circular. En el proyecto **LIFE "Recycled and Natural Materials and Products to develop nearly zero energy buildings with low carbon footprint" (ReNaturalNZEB)**, con la contribución del Programa Life de la Unión Europea, se están ensayando y promoviendo nuevas soluciones constructivas para alcanzar **edificios de consumo de energía casi nulo con baja huella de carbono, empleando materiales de carácter tradicional y natural en España y Portugal**.

Este manual está destinado principalmente a técnicos del sector de la construcción, y pretende poner nuevamente en valor el uso de estos materiales tradicionales, tierra, piedra y mortero procedentes de una arquitectura vernácula como materiales de construcción. En él se realiza un recorrido desde el origen del material hasta el procesado y colocación final de los materiales propuestos, identificando los productos existentes en el mercado, normativa aplicable y sus correspondientes certificados y distintivos de calidad.

Introduction

With the aim of reducing energy consumption and the environmental impact of the construction sector in Europe, actions based on the concepts of sustainability and green and circular economy are increasingly committed. In the **LIFE project "Recycled and Natural Materials and Products to develop nearly zero energy buildings with low carbon footprint" (ReNaturalNZEB)**, with the contribution of the Life Program of the European Union, new construction solutions are being tested and promoted to achieve consumption **buildings of almost zero energy with a low carbon footprint, using traditional and natural materials in Spain and Portugal**.

This manual is mainly intended for technicians in the construction sector, and aims to once again value the use of these traditional materials, earth, stone and mortar from vernacular architecture as construction materials. In it, a journey is made from the origin of the material to the processing and final placement of the proposed materials, identifying the existing products on the market, applicable regulations and their corresponding certificates and quality labels.

Introducción a los materiales tradicionales

Antecedentes 11
Sectores difusos. Situación actual y objetivos 15
Normativa específica de técnicas constructivas tradicionales 15
Ecoetiquetado 18
Tipo I: Etiquetado Ecológico 18
Tipo II: Autodeclaración de producto 21
Tipo III: Declaración Ambiental de Producto (DAP) 22
Clasificación 24

Pétreos

Descripción 26
Grupos 27
Proceso de fabricación 28
Fases de explotación en una cantera 30
Transformación y elaboración: El corte 31
Acabados: Los tratamientos 32
Almacenaje y logística 32
Productos y soluciones constructivas. Referencias 33
Pavimentos 33
Aplacados para revestimientos de fachadas 33
Mampostería 34
Cubiertas de pizarra 34
Piedras dimensionadas 35
Nuevas aplicaciones 35
Normalización, ensayos, comportamiento del material 38
Comités europeos de piedra natural 39
Normativa vigente para productos de piedra natural 40
Requisitos a declarar por el fabricante 41
Ficha técnica 46
Ejemplo de declaración de prestaciones 48
Ejemplo de marcado CE 48

Morteros

Conceptos generales 50
Introducción. Origen y desarrollo 50
Cronología general 51
Definición y clasificación de los morteros 52
Componentes, características y normativa 56
Conglomerantes 56
Cales 56
Cementos 57
Áridos 57
Aditivos 58
Adiciones 59
Agua 59
Morteros de revestimiento 61
Introducción 61
Propiedades 61
Resistencia 61
Adherencia 62
Estanqueidad 64
Durabilidad 66
Acción hielo-deshielo 67
Iones sulfato 67
Eflorescencias 68
Fisuras y desprendimientos 70
Humedades 72
Morteros de revestimiento con corcho 74

/ Índice /

Tierra cruda

Descripción 76
Ventajas e inconvenientes de la construcción con tierra 79
Ventajas 79
Inconvenientes 79
La tierra como material de construcción 80
Soluciones constructivas y productos 84
Adobe 85
Construcción con adobe 86
Bloques de tierra comprimida (BTC) 88
Proceso de fabricación 89
Tapia 92
Cob 96
Bajareque 96
Quincha 97
Morteros 97
Otros productos industrializados 98
Cannabrick 98
Ecoclay, revestimientos naturales 99
Marco normativo 100
España 100
Tablas comparativas 101

Agradecimientos 102

Bibliografía y referencias pétreos 103
Bibliografía y referencias morteros 105
Bibliografía y referencias tierra cruda 106

Introducción a los materiales tradicionales

Antecedentes

El recurso natural constituye una buena garantía para el medio, siendo de manera consustancial, más sano que los materiales sintéticos. Sin embargo, en la arquitectura actual, el edificio depende cada vez más de materiales artificiales de industrialización pesada. Estos materiales manufacturados suelen requerir mucha energía y a veces proceden de complejos procesos de manufacturación, originando unos residuos difíciles de regresar al ciclo cerrado de los flujos materiales. En la sociedad tradicional se utilizaba una gran diversidad de materiales baratos y abundantes en el entorno. La escasez local fomentaba el reciclaje, y la reutilización de los materiales. Los sistemas técnicos estaban basados en una cultura de gestión del medio natural para obtener de él el máximo aprovechamiento sin disminuir su potencia productiva aprovechable.

EL TERRITORIO ERA EL ELEMENTO LIMITANTE EN LA DISPONIBILIDAD DE ENERGÍA Y MATERIA

Unos de los problemas existentes en la actualidad, es que se ha deslocalizado el origen del recurso material. **Se ha llegado a una irracionalidad constructiva** donde se recurre cada vez más al consumo, tanto de recursos como de energía, procedentes de cualquier origen.

Sin embargo, aquellas zonas con marcado carácter rural y baja densidad de población, producto de la combinación de un bajo nivel de industrialización, una descentralización de sus núcleos poblacionales y una gran extensión superficial en relación a su número de habitantes, tiene un gran potencial como productoras de recursos naturales para su uso en la edificación. Estas cualidades son ideales para fomentar el cambio en el esquema de fabricación y construcción actuales, pero es necesario contar con el conocimiento necesario, para la recuperación y puesta en marcha de cadena de procesado de estos productos, formación de personal cualificado y legislación para convertir ese potencial verde en una realidad.

Maquinaria de demolición, https://www.kunak.es

Bohíos de Brozas y Alcántara, Victor Manuel Pizarro, https://ciudad-dormida.blogspot.com

Doblaos, https://hoy.es

San Martín de Trevejo, Victor Manuel Pizarro, https://ciudad-dormida.blogspot.com

Como ejemplo de aplicación tenemos la **región de Extremadura**, donde la tierra, el mortero y la piedra son protagonistas de diversas tipologías de arquitectura vernácula, y actualmente, el uso de estos materiales está muy relacionado con el alcance de una construcción más sostenible, y empiezan a plantearse como una respuesta a los problemas medioambientales, económicos y sociales asociados a este sector. El uso de estos materiales es beneficioso no solo por su buen comportamiento térmico, su capacidad higroscópica, sino porque que utilizan recursos naturales de origen local y porque sus procesos de fabricación no generan emisiones de gases de efecto invernadero, también porque utilizan recursos de mano de obra locales para su colocación, suponiendo así un motor de desarrollo socioeconómico en las zonas rurales aportando valor añadido al tipo de edificios que se construyen, además de que supone reducir impactos ambientales derivados del transporte de productos, y de que produce un efecto integrador de la construcción con su medio.

Por ello un estudio técnico profundo de las distintas técnicas que promueven la calidad, la innovación tecnológica de la construcción con tierra, piedra y morteros tiene un gran interés para todos.

Uno de los principales temas que ocupan la investigación y la gestión actuales, en el ámbito de la construcción con materiales tradicionales, es la certificación y normalización de materiales, sistemas y procesos constructivos. El diseño y la adopción de normas técnicas, reglamentos y códigos de edificación que contemplen a las distintas formas de construir con tierra, piedra y morteros es una preocupación y una necesidad. En comparación con la construcción convencional, existen pocas normas técnicas que establezcan las exigencias y requerimientos que normalicen el proyecto y la calidad de soluciones constructivas realizadas con tierra, piedra y morteros, en cualquiera de sus tecnologías.

Otro de los principales inconvenientes para la recuperación de este tipo de técnicas tradicionales y materiales son las actuales exigencias en relación al material. Por ejemplo, en el caso del **tapial**, la tierra apta para la construcción de tapias ha de estar compuesta por arcilla, limo, arena y grava. Dependiendo de la proporción de estos elementos y de la calidad de la arcilla obtendremos distintos tipos de tierra con diferentes propiedades. Así pues, con una arcilla de calidad y una adecuada proporción de los cuatro componentes, acompañados de una cierta cantidad de agua, obtendremos un material válido, en principio, para la construcción de muros de tierra apisonada. Ahora bien, ¿cómo podemos estar seguros de que la tierra de que disponemos es apropiada? Antiguamente, el constructor anónimo hacia uso de su experiencia y de elementales pruebas de campo de carácter sensorial que proporcionaban una relativa seguridad de su bondad. Sabía que la tierra tenía que contener una cierta cantidad de grava que ayudara a incrementar la estabilidad de la mezcla y la resistencia del muro, además de arena y de limo, y que una adecuada proporción de arcilla le confería la necesaria cohesión y plasticidad, una vez evaporada el agua. Estos conocimientos eran, pues, fruto de la experiencia y de la transmisión oral de la técnica.

Actualmente una elección del material basada únicamente en estos argumentos es insuficiente. Es necesario ofrecer una caracterización del material más precisa pues se nos presentan exigencias técnicas, de acabados, del proceso de ejecución, y en un futuro próximo, nuevas normativas, a las que habrá que responder con solvencia. Nos referimos, entre otras, a las solicitaciones estructurales a las que se verá sometido un muro, compresión principalmente, su resistencia a la acción del agua y a la erosión de los paramentos, al monolitismo de la fábrica, a los requerimientos estéticos, al comportamiento térmico, etc. Es evidente que estas demandas no tenían antiguamente el mismo valor que ahora.
Desde la necesidad de dar respuesta a estas necesidades y exigencias técnicas y a las directrices marcadas por Europa se tiene el convencimiento de que estas propuestas constituirán un avance tecnológico innovador y de gran interés dentro y fuera de la Extremadura, para constructores, promotores, arquitectos, consultores, administración, asociaciones de propietarios, entidades o particulares.

Construcción de un tapial, https://www.documentalesetnograficos.es

Actualmente, en **Europa**, alrededor del **40% de las emisiones de gases de efecto invernadero están asociadas a la edificación**. Por ello, a través de la transposición de la Directiva Europea 76/93/CEE para la limitación de emisiones de CO_2 y la Directiva EPBD 91/2002, de Eficiencia Energética, se han desarrollado en España y Portugal normativas ligadas a estos temas. Tanto España como Portugal se han comprometido en el Protocolo de Kioto mejorar nuestras actuaciones en lo que respecta a las emisiones de CO_2. Concretamente el marco de actuación en materia de clima y energía hasta el año 2030 de la UE contempla una serie de metas y objetivos políticos durante el periodo 2021-2030, que se centran en una serie de **objetivos clave para 2030**:

1. Al menos un 40% de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (con respecto a 1990).
2. Al menos un 32% de cuota de energías renovables.
3. Al menos un 32,5% de mejora de la eficiencia energética.

Para alcanzar el compromiso adquirido se han sentado toda una serie de bases normativas entorno a la edificación. En el caso español con la publicación del Código Técnico de la Edificación, documento **HE de Ahorro Energético** y se ha modificado el Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios. Al mismo tiempo se han desarrollado diferentes sistemas de Certificación Energética a través de lo establecido en el RD 47/2007, de 19 de enero Procedimiento Básico de Eficiencia Energética de edificios de Nueva Construcción, creando el sistema de certificación español **CALENER**. En Portugal con el Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) y el Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE).

* https://www.codigotecnico.org/

"VIVIMOS EN LA TIERRA COMO SI TUVIÉRAMOS OTRA A LA QUE IR"

Terry Swearinger

La necesidad de este proyecto se justifica también a través de la numerosa normativa que continuamente se está desarrollando desde Europa y con trasposición nacional y regional. En este sentido conviene destacar la Directiva Europea 201031 UE, relacionada con la Eficiencia Energética de Edificios.

El incremento de consumo de energía en la edificación y la gran dependencia de Europa de la importación de combustibles fósiles ha derivado en un interés creciente por el ahorro energético y en la minimización del impacto de la edificación en el medioambiente.

Sectores difusos. Situación actual y objetivos

En España las emisiones de gases de efecto invernadero de los sectores difusos fueron responsables en 2018 de la emisión de 203,8 $MtCO_2$. Esto corresponde aproximadamente al 61% de nuestras emisiones totales de gases de efecto invernadero. La contribución del sector Residencial, comercial e institucional dentro del conjunto de difusos en España durante el 2018 fue del 14%, es decir unos 28.500 $KtCO_2$.

Los objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero de los sectores difusos en España para el periodo 2021 – 2030, fueron aprobados en octubre de 2014 en el Consejo Europeo dentro del compromiso a nivel europeo para este periodo. Los sectores difusos deben contribuir al objetivo global de reducción de emisiones de la Unión Europea con una reducción del 30% respecto a los niveles de 2005. El Reglamento de reparto de esfuerzos, establece un objetivo para España del -26%.

La DECISIÓN DE EJECUCIÓN (UE) 2020/2126 DE LA COMISIÓN de 16 de diciembre de 2020 establece las asignaciones anuales de emisiones difusas para los Estados miembros.

En la actualidad, por tanto, el sector de la construcción es consciente del cambio de situación y se empieza a considerar la fabricación orientada a la eficiencia energética y la capacidad de reutilización del material, dando un paso (humilde) atrás para recuperar técnicas tradicionales seguras.

Con el uso de los materiales tradicionales se respetan los requisitos tradicionales de seguridad y aislamiento y los nuevos de respeto al medioambiente.

NORMATIVA ESPECÍFICA DE TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS TRADICIONALES

En el actual Código Técnico de la Edificación no se hace referencia a la construcción con tierra. En cambio la primera norma europea de construcción con tierra, norma UNE 41410:2008 para los bloques de tierra comprimida aparece en España. Esta define las características de los bloques de tierra comprimida (BTC), para la construcción de muros y tabiques. Precisa la terminología, fija las dimensiones y describe los métodos de ensayo.

El BTC (frente al tapial o el adobe) es el tipo de construcción con tierra del que se dispone de mayor documentación a nivel internacional y el más citado en los documentos generalistas dedicados a la tierra cruda. Se trata de una pieza de dimensiones similares a las del ladrillo corriente realizada con tierra prensada y estabilizada con cemento, cal o con fibras vegetales para mejorar el aislamiento térmico, que actualmente se comercializa en numerosos países europeos y, aunque todavía de forma incipiente, también en España.

Por otra parte cabe decir que en la agenda administrativa de España parece constatarse por fin del interés por incorporar al actual CTE, que tanto ignora la construcción con materiales tradicionales como la cal, el tapial o el adobe, las técnicas tradicionales asociadas a ellos, y también, que está en elaboración la norma UNE sobre el tapial. Aunque cabe señalar que actualmente el comité CTN 41/SC 10 - EDIFICACIÓN CON TIERRA CRUDA, solo tiene publicada la norma UNE 41410:2008, Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo.

No obstante, iniciativas como el Congreso Internacional de Arquitectura Sostenible, de noviembre 2009 en Valladolid pueden constituir, sin duda, un impulso notable para la construcción con estas técnicas y su actualización.

Antecedentes normativos nacionales españoles

- Real Decreto 1630/92, de 29 diciembre 1992, sobre productos de construcción (trasposición de la Directiva 89/106/CEE): Es la primera legislación española relativa al análisis ambiental de los productos de construcción e implicaba a todos los agentes que participan en el proceso constructivo.

- Ley 38/1999, de 5 noviembre, Ordenación de la Edificación (LOE): Esta ley estableció como requisitos básicos los relativos a la protección del medio ambiente.

- Código Técnico de la Edificación (CTE), aprobado por el RD 314/2006, de 17 marzo: Establece un número significativo de requisitos medioambientales en sus documentos básicos. Y sus actualizaciones (https://www.codigotecnico.org/)

Antecedentes normativos internacionales

El Comité Técnico de Normalización encargado de la normalización de las actividades sobre sostenibilidad en la construcción, teniendo en cuenta las tres aproximaciones necesarias: medioambiental, económica y social es el AEN/CTN 198 – Sostenibilidad en la Construcción. Incluye el Subcomité de SC1 Edificación; SC2 Obra civil; SC3 Materiales. Las normas vigentes asociadas a este Comité son:

- 1UNE-EN 15804:2012+A2:2020, Estado: VIGENTE / 2020-03-25, Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción.

- UNE-EN 16309+A1:2015, Estado: VIGENTE / 2020-01-01, Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento social de los edificios. Métodos de cálculo.

- UNE-EN 156435:2018, Estado: VIGENTE / 2018-07-25, Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad de los edificios y las obras de ingeniería civil. Parte 5: Marco de principios específicos y requisitos para las obras de ingeniería civil.

- UNE-EN 156433:2012, Estado: VIGENTE / 2018-01-01, Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad de los edificios. Parte 3: Marco para la evaluación del comportamiento social.

- UNE-EN 15643-4:2012, Estado: VIGENTE / 2018-01-01, Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad de los edificios. Parte 4: Marco para la evaluación del comportamiento económico.

- UNE-CEN/TR 16970:2016 (Ratificada), Estado: VIGENTE / 2017-01-01, Sostenibilidad en la construcción. Directrices para la implementación de la norma EN 15804 (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en enero de 2017.)

- UNE-EN 16627:2016, Estado: VIGENTE / 2016-02-24, Sostenibilidad en las obras de construcción. Evaluación del comportamiento económico de los edificios. Métodos de cálculo.

- UNE-EN 15643-1:2012, Estado: VIGENTE / 2015-07-13, Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad de los edificios. Parte 1: Marco general.

- UNE-EN 15643-2:2012, Estado: VIGENTE / 2015-07-13, Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad de los edificios. Parte 2: Marco para la evaluación del comportamiento ambiental.

- UNE-EN 15804:2012+A1:2014, Estado: VIGENTE / 2014-02-12, Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción.

- UNE-EN 15942:2013, Estado: VIGENTE / 2013-06-12, Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Formato de comunicación negocio a negocio.

- UNE-EN 15978:2012, Estado: VIGENTE / 2012-05-23, Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Métodos de cálculo.

- UNE-CEN/TR 15941:2011 IN, Estado: VIGENTE / 2011-09-28, Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Metodología para la selección y uso de datos genéricos.

* https://tienda.aenor.com/normas/buscador-de-normas

Ecoetiquetado ecológico en productos de la construcción

- UNE-EN ISO 14025:2010 Etiquetas y declaraciones ambientales. Declaraciones ambientales tipo III. Principios y procedimientos. (ISO 14025:2006)

- UNE-EN ISO 14040:2006 Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia. (ISO 14040:2006).

- UNE-EN ISO 14044:2006 Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices. (ISO 14044:2006).

- UNE-EN ISO 14020:2000 Etiquetas ecológicas y declaraciones ambientales. Principios generales. (ISO 14020:2000).

- UNE-EN ISO 14021:1999 Etiquetas ecológicas y declaraciones medioambientales. Autodeclaraciones medioambientales (Etiquetado ecológico Tipo II). (ISO 14021:1999).

"LA CALIDAD NUNCA ES UN ACCIDENTE, ES SIEMPRE EL RESULTADO DE UN ESFUERZO INTELIGENTE"

John Ruskin

Ecoetiquetado

Hoy en día existen numerosos instrumentos y técnicas para evaluar el comportamiento ambiental de los productos, siendo uno de los más conocidos el Ecoetiquetado. Este sistema permite distinguir los productos que acreditan el cumplimiento de determinadas características de calidad ambiental.

"...CONJUNTO DE HERRAMIENTAS VOLUNTARIAS QUE INTENTAN ESTIMULAR LA DEMANDA DE PRODUCTOS Y SERVICIOS CON MENORES CARGAS AMBIENTALES OFRECIENDO INFORMACIÓN RELEVANTE SOBRE SU CICLO DE VIDA PARA SATISFACER LA DEMANDA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL POR PARTE DE LOS COMPRADORES"

ISO 14020

Según UNE-EN-ISO 14020:2002

TIPO I: ETIQUETADO ECOLÓGICO

Indica la preferencia ambiental del producto o servicio dentro de una categoría de productos, basado en múltiples criterios a lo largo de su ciclo de vida. **La certificación asegura que el producto cumple tanto con criterios ambientales como con características funcionales.**

Ecolabel

El más importante del Tipo I a nivel europeo es el **ECOLABEL** (http://ec.europa.eu), que incluye un catálogo de productos para cada país tanto de la unión europea como de fuera de la Unión Europea. Actualmente se está desarrollando la posibilidad de aplicar este tipo de ecoetiquetado en edificios. Pero de momento los productos recogidos por Ecolabel solo incluyen algunos productos de acabados para la construcción, como son las pinturas, barnices o materiales de revestimiento interior (falsos techos o alicatados de suelo). Los productos que recoge actualmente el programa Ecolabel son: productos de limpieza, lubricantes, colchones, papelería y productos de copistería, calzado, revestimientos para techos, revestimientos de madera, revestimientos duros para suelos, revestimientos textiles, pinturas interiores y barnices, luminarias, abonos para mejora de suelos, productos de vestuario textil, productos de celulosa, equipamientos electrónicos, mobiliario de madera, alojamientos turísticos y servicios de camping.

EU Ecolabel
www.ecolabel.eu

Marca AENOR Medio Ambiente

Es una marca de conformidad con las normas UNE de criterios ecológicos. Desarrollada para distinguir los productos que tienen una menor incidencia sobre el medio ambiente durante su ciclo de vida. Los productos que llevan dicho distintivo son sometidos a un seguimiento periódico por parte de AENOR para verificar que se mantienen las condiciones que dieron lugar a su concesión. Hasta el momento **AENOR** tiene establecido los criterios ecológicos para algunos productos de construcción como: Pinturas y barnices (UNE 48300:1994); Módulos fotovoltaicos (UNE 206001:1997); Centros de eliminación y valorización de los residuos inertes de derribo y demás residuos de la construcción (UNE 134002:1999).

AENOR Empresa Registrada UNE-EN ISO 9001

AENOR Gestión Ambiental UNE-EN ISO 14001

* https://www.aenor.com/certificacion/medio-ambiente

Distintivo de Garantía de Calidad Ambiental

Creado por la **Generalitat de Catalunya** en 1994, mediante el Decreto 316/1994, de 4 noviembre, como distintivo oficial de "Garantía de calidad ambiental". Promueve el diseño de productos que supongan un ahorro de recursos (materiales, agua, energía) y la minimización de residuos, así como la recuperación y reutilización de los subproductos. Objetivo: otorgar a los consumidores la garantía de calidad ambiental de determinadas propiedades o características de un producto.

Garantía de calidad ambiental

Ecoetiquetato Tipo I

El Ángel Azul

Es una ecoetiqueta otorgada por un organismo alemán que se inició en 1978. Su objetivo es reducir la contaminación ambiental gracias a la innovación tecnológica, una mejor información de los consumidores, e incentivos económicos para la fabricación de productos menos nocivos desde el punto de vista ambiental.

BLUE ANGEL THE GERMAN ECOLABEL

El Cisne Blanco

Tiene su origen en los países nórdicos (Suecia, Noruega, Finlandia e Islandia) y se estableció en 1989.

NORDIC ECOLABEL

NF-Environment

Ecoetiqueta francesa establecida desde 1992. Está gestionada por AFNOR (Asociación Francesa de Normalización).

Otros marcados fuera de Europa

- Korea Ecolabelling Program (Corea del Sur en 1991, está gestionada por KOEKO y está reconocida oficialmente por otros programas de Japón, China, Nueva Zelanda y Australia.

- Australian Good Enviromental Choice "GEGA" (Australia 2001).

- Green Seal (EEUU, 1989).
- Eco-Mark (Japón, 1989).

- Enviromental Choice (Canadá, 1989).

Ecoetiquetato Tipo I

TIPO II: AUTODECLARACIÓN DE PRODUCTO

Con esta etiqueta son los propios fabricantes o distribuidores quienes la desarrollan para transmitir información sobre aspectos ambientales de sus productos o servicios. No se exige una certificación por una tercera parte.

Sus características principales son que **pueden ser realizadas por**:

- fabricantes
- importadores
- distribuidores
- etc.

Se presentan en forma de afirmaciones, símbolos o gráficos en las etiquetas o envases de los productos o en la documentación de los mismos (publicidad, manuales, etc.). A través de estas etiquetas la empresa comunica al mercado las características ambientales de sus productos y habitualmente, expresan una única mejora ambiental. Uno de los puntos negativos de esta ecoetiqueta es la falta de fiabilidad, ya que son elaboradas por el propio fabricante. Se recomienda realizar una verificación correcta por un técnico independiente para darle mayor credibilidad, aunque la normativa no lo exige. El declarante es el responsable de asegurarse de la veracidad de la declaración mediante métodos fiables y reproducibles.

TIPO III: DECLARACIÓN AMBIENTAL DE PRODUCTO (DAP)

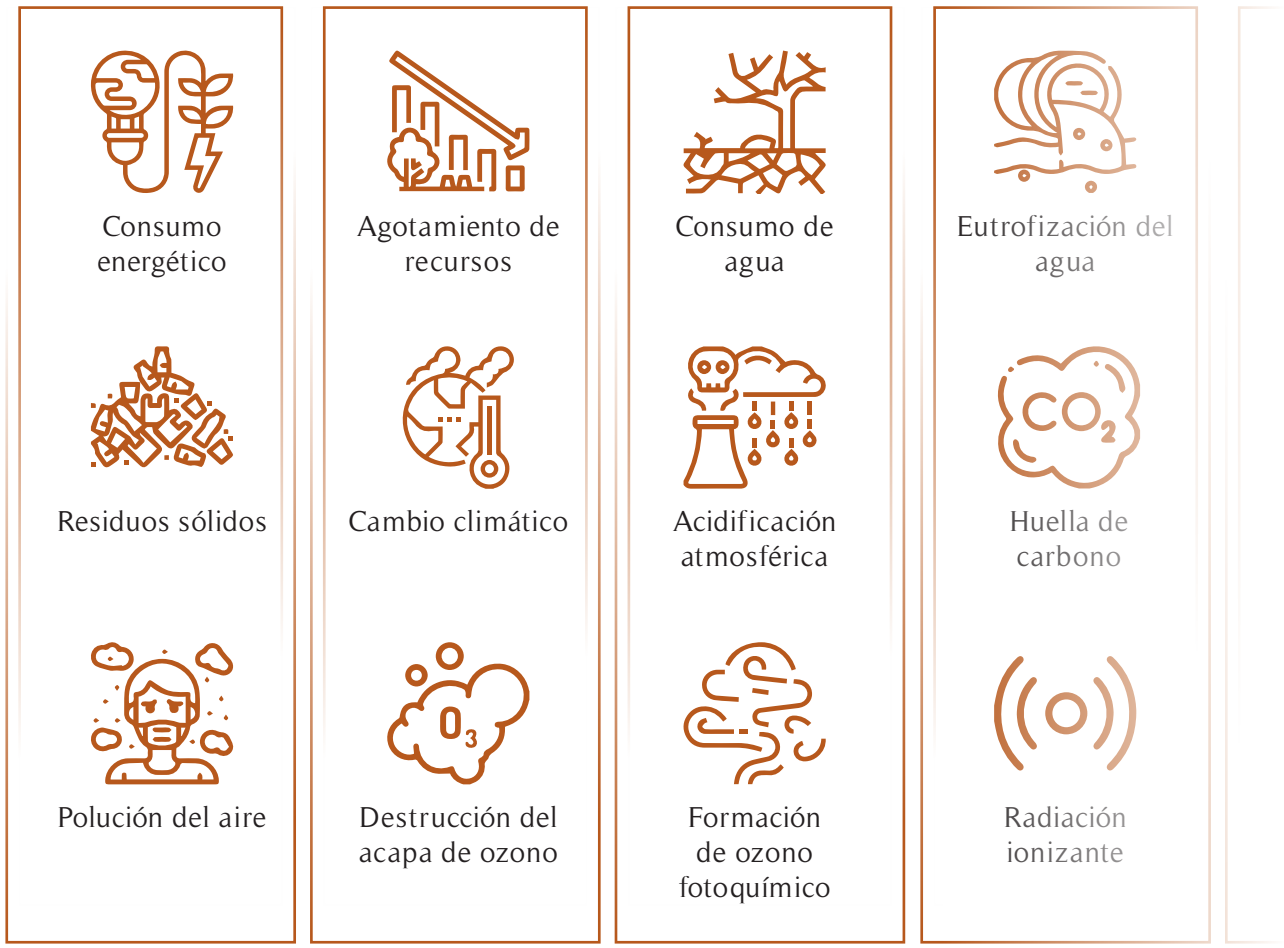
Con esta etiqueta se muestra **información estandarizada basada en el ACV** de un producto o servicio y presenta un conjunto de indicadores ambientales pertinentes, acompañados de una interpretación de la información. A diferencia de las anteriores, la de Tipo III son verificadas por un tercer organismo independiente y además permiten proveer información tanto al usuario dentro de la cadena de suministro como al consumidor final.

Declaraciones Ambientales de Producto, DAP (Environmental Product Declaration, EPD en inglés)

Estas sí **requieren la verificación por una tercera parte** de los datos del estudio de ACV. Facilitan la comunicación objetiva, comparable y creíble del comportamiento ambiental de los productos. No indican criterios sobre la preferencia ambiental de un producto. No establecen requisitos mínimos a cumplir. Sirve para detectar alternativas de mejora ambiental en el producto. Permiten una comparación justa entre distintos productos. Proporcionan datos ambientales cuantificados utilizando parámetros establecidos. La diferencia de este tipo de etiqueta con las anteriores es precisamente que presenta información ambiental cuantificada sobre el ciclo de vida de los productos, de manera que permite la comparación entre productos que desarrollan la misma función.

Etiquetas Tipo III (DAP)

La información contenida en una DAP se basa en la realización de una evaluación global y multicriterio de los impactos medioambientales de un producto desde su origen hasta el final de su vida útil. Esto se hace utilizando el método de Análisis del Ciclo de Vida (ACV), siguiendo las reglas que se establecen para cada Categoría de Producto sobre una base científica y reglamentada. Los parámetros que se analizan son diversos, como:



Paralelamente, se desarrollan **DAP sectoriales**, que muestren los valores medios de un número de productos con características funcionales similares. Éstas resultaran especialmente útiles en la primera etapa de definición del proyecto en la que se requiere conocer el impacto ambiental de un producto tipo sin conocer el modelo ni la marca exacta. Estas DAP sectoriales surgen de dos procedimientos diferenciados:

- Como media de un número determinado de DAP de productos, aglutinando un número determinado de empresas que deseen desarrollar una DAP sectorial sin entrar en el detalle de cada una de ellas.
- Y el Organismo español que tiene desarrollado un programa para la Declaración Ambiental del Producto, **el programa DAPc**, promovido por el Departamento de Medio Ambiente y Vivienda de la Generalitat de Catalunya y el Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Barcelona, cuyo desarrollo técnico realiza el Grupo de Investigación GIGA-ESCI (Universidad Pompeu Fabra). Este programa DAPc está dirigido a cualquier producto o servicio implicado en el proceso constructivo. Cuenta con una base de datos ambientales verificados que podrán ser utilizados por las empresas que quieran desarrollar una Declaración Ambiental de Producto. El sistema cumple con los requisitos de las normas ISO 14025 e ISO 21930 sobre DAP y con las ISO 14040 y 14044 sobre ACV.

En la elaboración de las reglas generales del sistema, sus procedimientos y las distintas Reglas de Categoría de Producto se cuenta con la colaboración de partes interesadas. A través de la web http://www.csostenible.net/index.php/es/sistema_dapc/epd se puede obtener la información para poder certificar el producto.

Actualmente algunos de los productos certificados mediante este programa son paneles de lana mineral y revestimientos cerámicos.

* https://www.eco-platform.org/the-eco-epd-programs.html

Clasificación

La **selección de materiales** tradicionales para su empleo en la construcción se ha de realizar basándose en la identificación de la fuente de materia prima, la evaluación de impactos sobre el medio ambiente ocasionados por la adquisición, el procesamiento y uso del material, y la administración del producto en el final de su ciclo de vida. Se puede dar preferencia por ejemplo a materiales reciclables, pero en cualquier caso la elección de materiales basada en su ciclo de vida es una tarea compleja.

La **reducción del material** puede conseguirse aumentando la eficiencia de los procesos (implica reducción de energía consumida, etc.) y reduciendo la masa utilizada en la construcción. Por ejemplo, aunque la vivienda está (o tendría que estar) relacionada con las necesidades sociales, se puede optar entre tipologías más o menos consumidoras de material y suelo (ciudad compacta frente a ciudad dispersa, etc.).

Con respecto a la **prolongación de la vida del material**, el reciclaje de materiales tras la demolición de edificios permite reducir la deposición en el medio natural y la extracción de nuevos recursos. Aunque presenta desventajas respecto a la reutilización ya que en ese proceso puede haber pérdidas o degradación de materiales, transporte, etc.

Hay que tener en cuenta las **necesidades de transporte** que implica la elección de ciertos materiales. Actualmente, con la globalización, el coste económico que supone el transporte de dichos productos, no refleja el impacto ambiental que genera exceptuando momentos coyunturales. Este impacto se relaciona con las distancias recorridas, la capacidad de los medios de transporte utilizados (medios de mayor capacidad de transporte ofrecen menos consumo por material transportado) y el embalaje necesario (hay productos que no necesitan ser empaquetados, los embalajes pueden ser reutilizables o no, etc.). Con el desarrollo de este proyecto se pretende minimizar este factor con el uso local de los siguientes materiales:

- **Piedra**
- **Morteros**
- **Tierra cruda y BTCs**

Pétreos

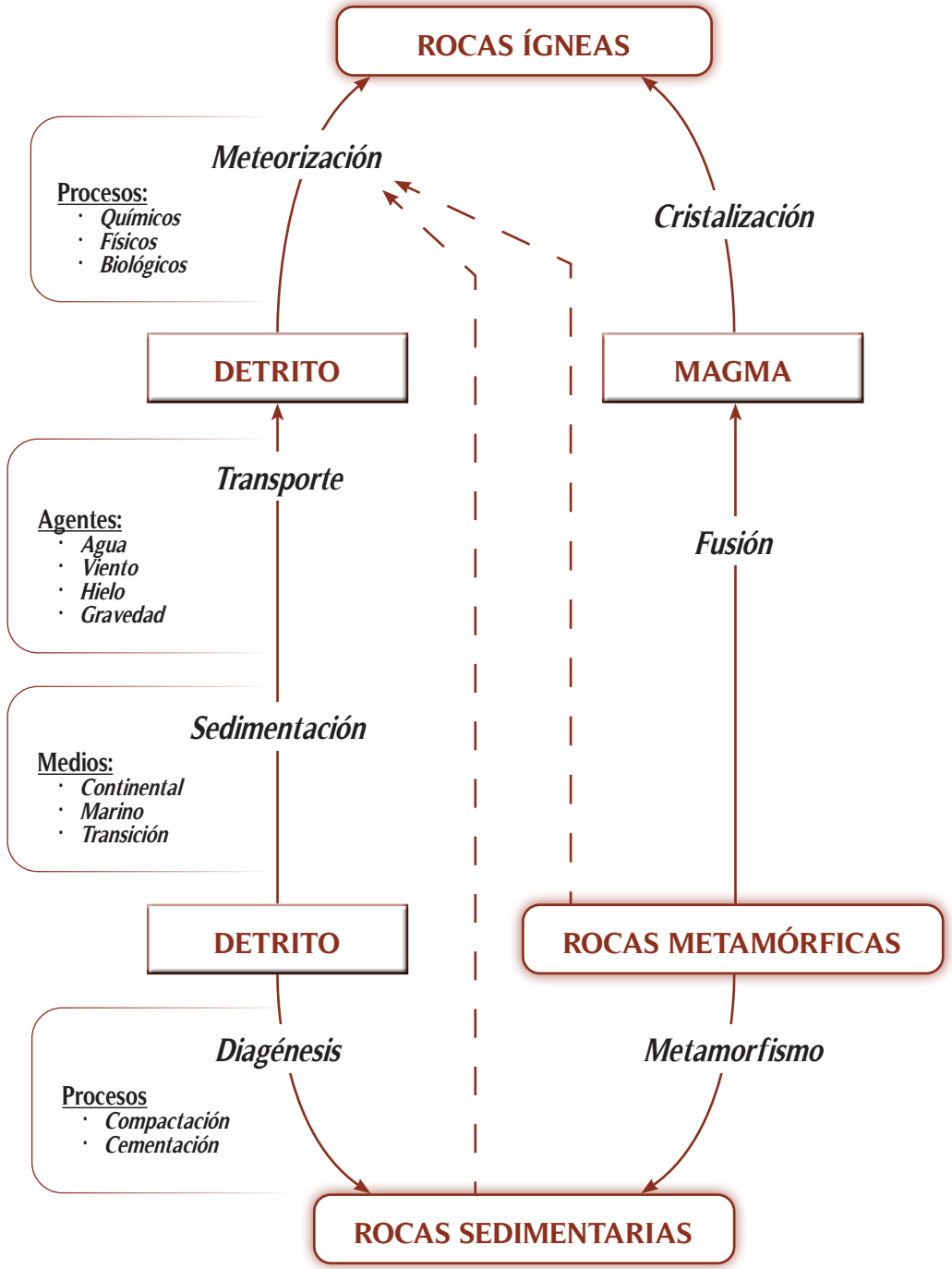
Descripción

Con el nombre de **Piedra Natural** se denominan todas las rocas que puedan obtenerse en bloques o piezas de cierto tamaño que permitan su utilización o comercialización, y por tanto sus propiedades constitutivas permanecen constantes en sus etapas de transformación. Cuando la piedra se usa, mediante simple corte, en la edificación, se denomina roca de construcción. Si las rocas son trabajadas buscando un fin estético se trata de roca ornamental.

Roca Ornamental se define como la piedra natural que ha sido seleccionada, desbastada o cortada en determinada forma o tamaño con o sin superficies elaboradas mecánicamente.

"LA VERACIDAD DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN: HORMIGÓN, LADRILLOS Y PIEDRA, SE MANTENDRÁN EN TODOS LOS EDIFICIOS CONSTRUIDOS O QUE SE CONSTRUIRÁN"

Le Corbusier



Ciclo petrogénico, Manual de prácticas del Departamento de Petrología y Geoquímica de la UCM

Grupos

ROCAS ENDÓGENAS	ÍGNEAS	Plutónicas: granito, diorita, gabro, monzonita, foidolita,...	
		Volcánicas: riolita, dacita, traquita, latita, andesita,...	
	METAMÓRFICAS	Pizarra, filita, esquisto, neis, migmatita, mármol...	
ROCAS EXÓGENAS	DETRÍTICAS	Conglomerados	
		Areniscas	Cuarzoarenitas
			Arcosas
			Litoarenitas
			Grauvacas
		Lutitas	
	QUÍMICAS	Carbonáticas: Calizas y Dolomías	
		Evaporitas: Yeso, Anhidrita, Halita, ...	
		Silíceas: Orgánicas (Diatomitas, Radiolaritas, ...) e Inorgánicas (Sílex)	
		Fosfáticas: Órgánicas e Inorgánicas	
		Depósitos de hierro y manganeso	
	ORGÁNICAS	Carbones	
		Petróleos	
		Todas las orgánicas Químicas(carbonáticas, silíceas y fosfáticas)	

Clasificación de las rocas

Las Rocas Plutónicas son el resultado de la solidificación de un magma fundido muy lentamente en el interior de la tierra. Dentro de este grupo existen distintas variedades, cuyas diferencias radican en el porcentaje de minerales que las constituyen, así por ejemplo, se puede hablar de granito, tonalita, sienita, monzonita, etc. Las Rocas Volcánicas son el resultado de la solidificación de un magma fundido en la superficie terrestre. Dentro de ellas se diferencian las riolitas, dacitas, basaltos, etc. Las Rocas Sedimentarias se forman sobre la superficie terrestre por acción de los agentes atmosféricos y superficiales. Destacan las calizas, dolomías, yesos, etc. Las Rocas Metamórficas se forman a altas temperaturas y presiones, tras procesos de recristalización. Los granitos, mármoles y pizarras, son las variedades más utilizadas como rocas ornamentales.

La piedra natural se ha utilizado ampliamente en el transcurso de la historia como material básico para la construcción. La importancia que se le ha dado a la piedra, sobre todo en determinadas épocas históricas, se refleja en el gran número de edificios de gran valor monumental que nos han llegado [1] [2]. La piedra natural, dada su variedad en cuanto a litotipos y texturas, se ha empleado como material base para levantar muros de piedras, decoración de fachadas, cimentar edificios, decoración de interiores.

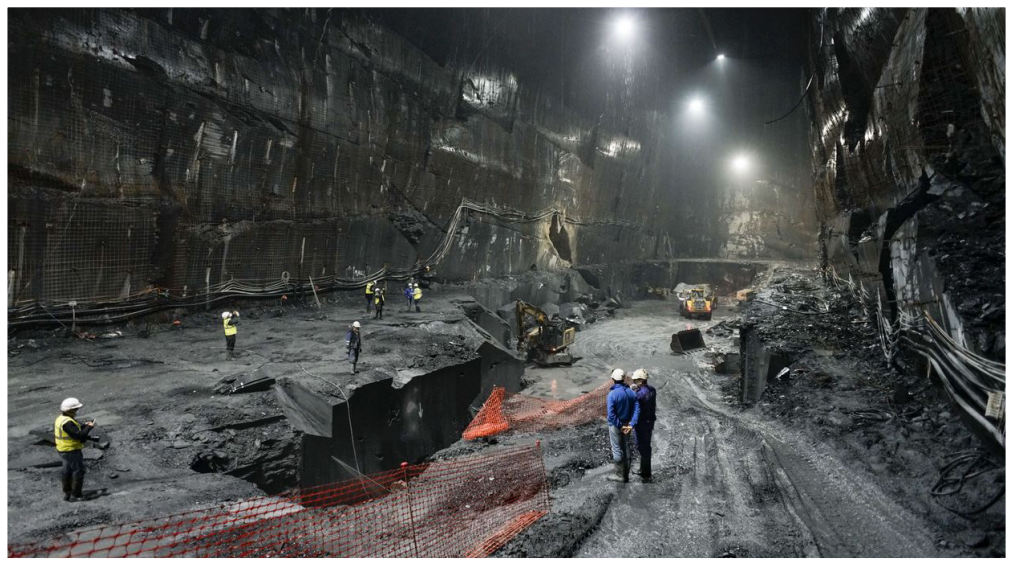
[1] https://doi.org/10.1007/s12520-020-01192-1
[2] http://riteca.gobex.es/es/subproyectos-fase-i/materiales-de-construccion

Proceso de fabricación

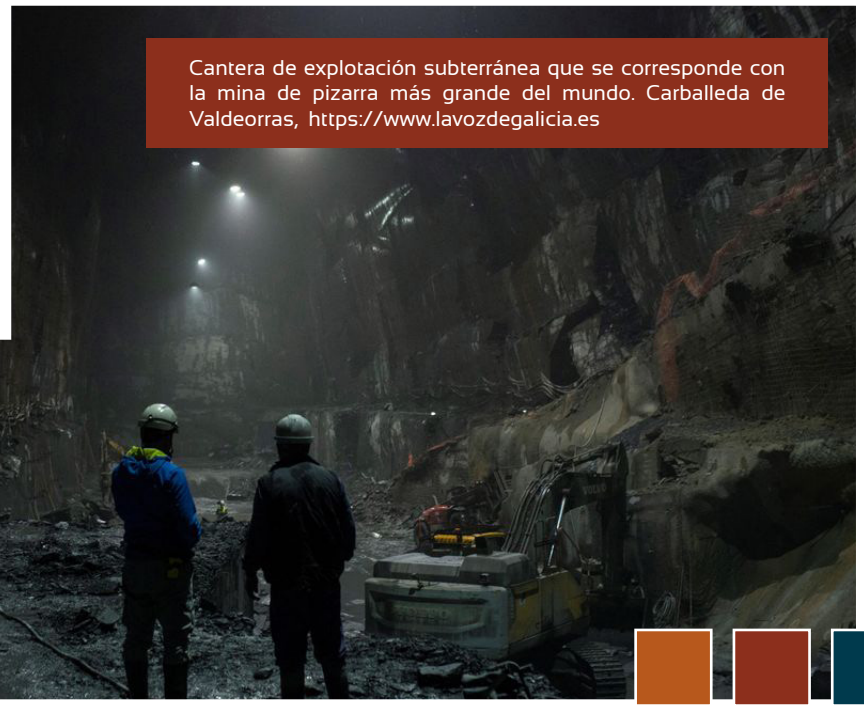
El proceso productivo considera las diferentes características físico-mecánicas y físico-químicas que presenta la piedra natural, como son los granitos, areniscas, calizas, mármoles y pizarras, entre otros, pues condicionan su comportamiento y consecuentemente su sistema de extracción y transformación. Es por ello que las técnicas y equipos utilizados durante las diferentes fases y etapas del proceso productivo, difieren dependiendo de la naturaleza del material explotado, existiendo similitudes generales en los procesos. Los granitos se extraen y transforman con herramientas adaptadas a una mayor dureza y abrasividad, mientras que los mármoles, calizas y areniscas utilizan herramientas menos abrasivas y en el caso de la pizarra las tejas siguen elaborándose de forma manual.

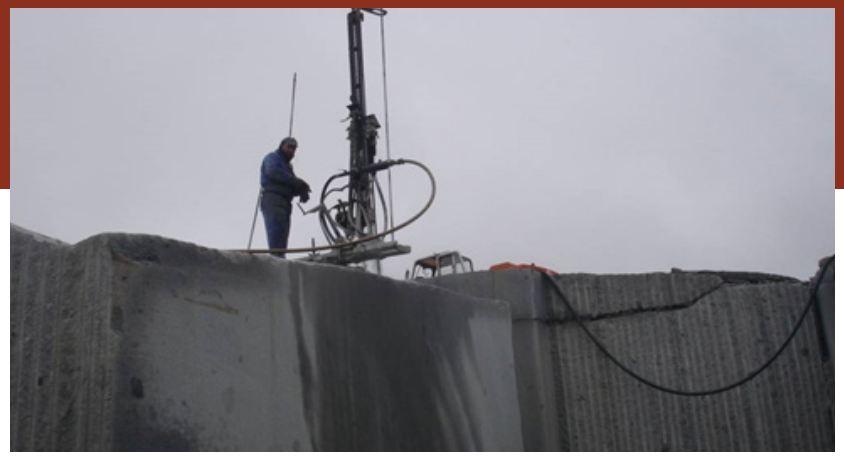
Habitualmente, la piedra natural se extrae en canteras a cielo abierto, aunque en ocasiones la explotación se realiza en **minas subterráneas** [1]. Ambas modalidades requieren minuciosos estudios de la estabilidad del hueco minero abierto, sobre todo en el caso de minas subterráneas, de manera que se garantice la seguridad de las personas que en ella trabajan, frente a posibles desprendimientos locales de material o frente a la estabilidad general. Las **explotaciones subterráneas** generan mucho menos escombros que las canteras a cielo abierto, por el hecho de extraerse directamente la capa de piedra natural que se desea explotar. Por el contrario, requieren una mayor inversión inicial debido a las distintas obras de acondicionamiento en forma de galerías hasta alcanzar el nivel deseado.

[1] https://www.epos.pt/es/proyecto/infraestructura-minera-desde-2012/



Cantera de explotación subterránea que se corresponde con la mina de pizarra más grande del mundo. Carballeda de Valdeorras, https://www.lavozdegalicia.es





Vista general del proceso de perforación, Mª Isabel Mota, INTROMAC

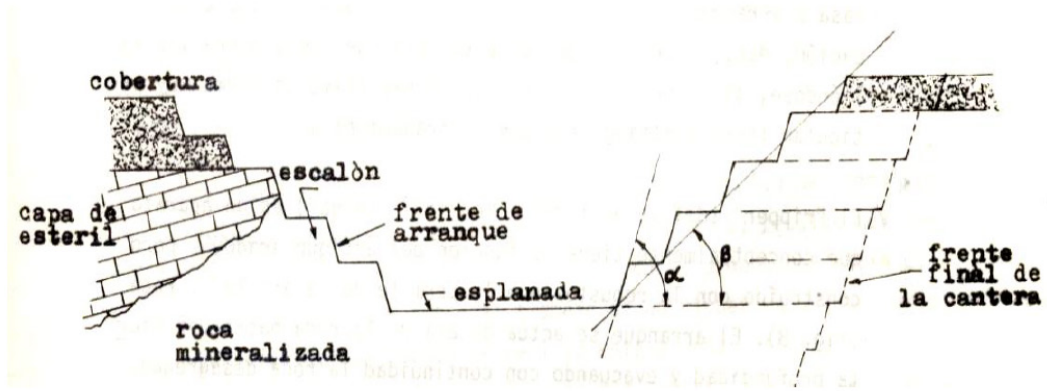
Vista general de la cantera, Mª Isabel Mota, INTROMAC

La explotación de **canteras de manera tradicional**, se realiza con el sistema de perforación y voladura y se basa en la extracción inicial de grandes bloques paralepipédicos de roca, sin afectar al propio material que los constituyen y a los macizos circundantes, y a la posterior subdivisión de éstos hasta llegar a los bloques comerciales.

Se precisan grandes longitudes de perforación, que antiguamente se conseguían con martillos manuales, pero que hoy en día se realizan con equipos completamente mecanizados. El avance tecnológico se consigue cuando se sustituye el accionamiento neumático por el hidráulico, la operación centralizada por conjuntos de varias perforadoras montadas sobre un mismo equipo y manejadas por un solo operador.

En función a las características morfológicas del terreno la explotación a cielo abierto puede realizarse de la siguiente manera:

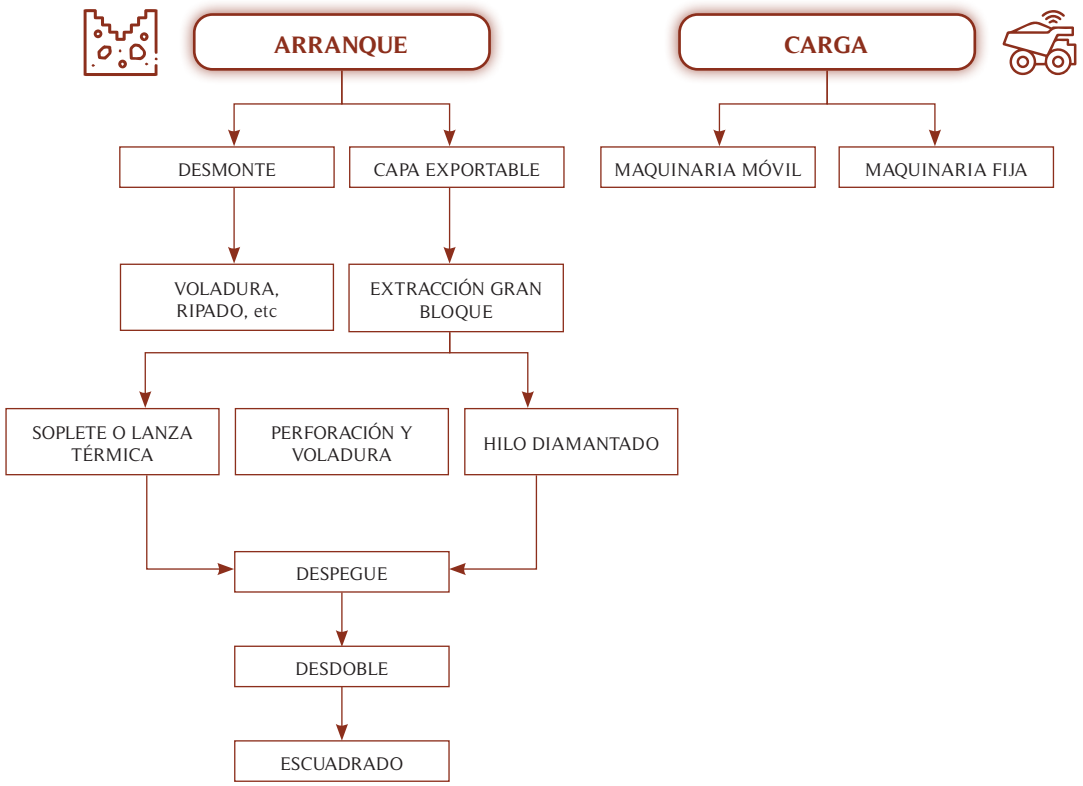
- Frente único.
- Frente en anfiteatro con escalones.
- Frente abierto con escalones.
- Exportación con descubrimiento.



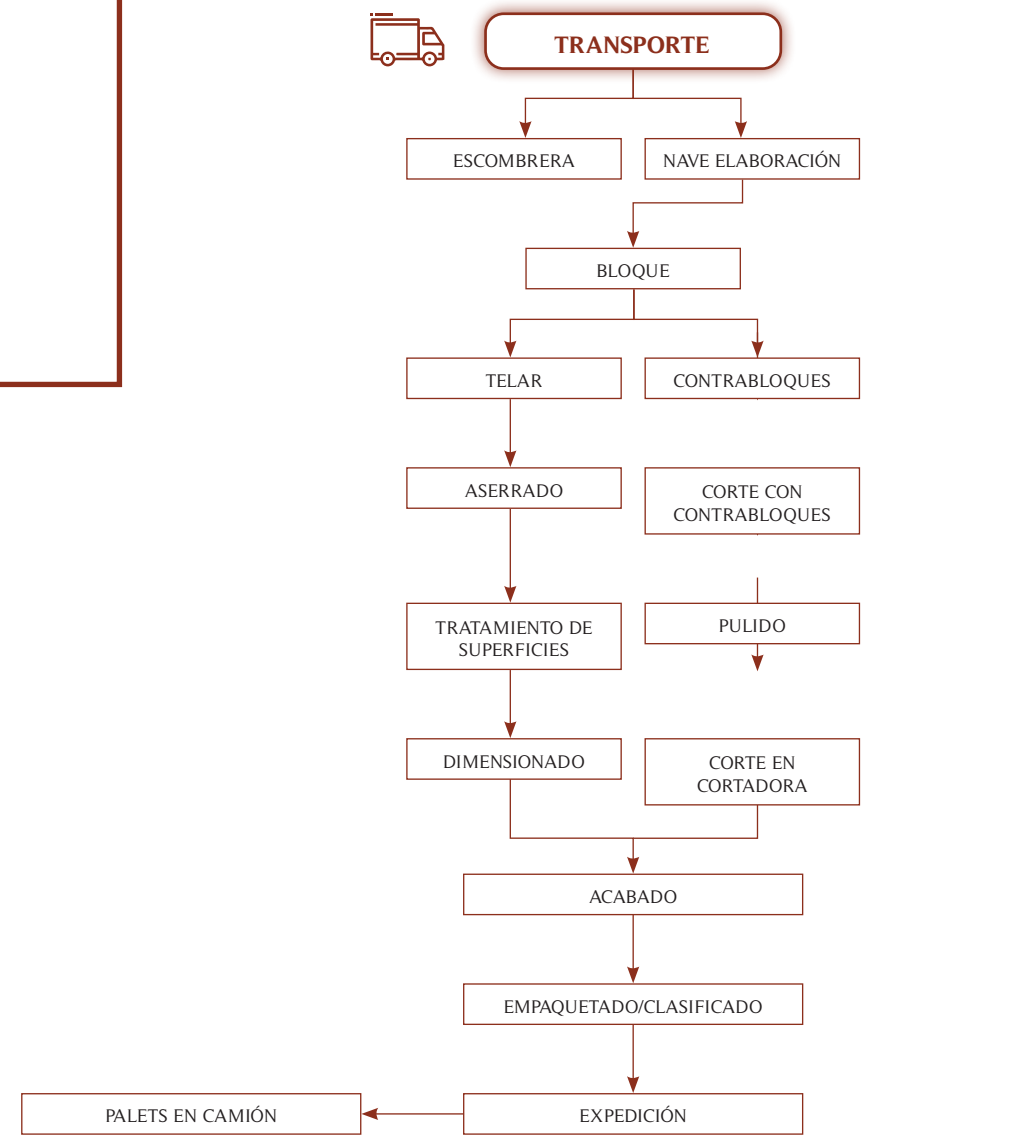
Esquema general de los frentes de cantera. Fuente: López Jimeno, Carlos (ed.). Manual de Rocas Ornamentales: Prospección, Explotación, Elaboración y Colocación. Madrid. España. E.T.S.I. Minas Universidad Politécnica de Madrid.

Una vez alcanzado el frente de explotación, el arranque de la roca se realiza habitualmente con hilo diamantado, u otros artilugios dotados de elementos de corte, que permiten obtener un bloque en forma de prisma recto bien escuadrado que se denomina bloque primario. Posteriormente, el bloque primario se trocea en la cantera en otros bloques más pequeños, cuyos tamaños suelen oscilar entre 5 y 20 t aunque excepcionalmente, para trabajos especiales, pueden obtenerse bloques de hasta 80-90 t de masa. El precio de los bloques de grandes tamaños es proporcionalmente más elevado, debido a la dificultad de obtenerlo intacto. En el caso particular de las pizarras de techar, el bloque primario presenta una forma totalmente irregular, de tamaño más reducido, unas 5 t, que se denomina "**rachón**".

Fases de explotación en una cantera



Proceso de explotación y transformación del material pétreo, López Jimeno, Carlos (ed.). Manual de Rocas Ornamentales: Prospección, Explotación, Elaboración y Colocación. Madrid. España. E.T.S.I. Minas Universidad Politécnica de Madrid



TRANSFORMACIÓN Y ELABORACIÓN: EL CORTE

Los bloques obtenidos en cantera se envían a fábrica para elaborar los productos acabados que se colocan en las obras.

El bloque se recibe en la fábrica y se corta en finas láminas llamadas tablas o tableros. Éstos suelen tener normalmente un espesor de 2 a 4 cm, aunque se pueden elaborar de cualquier grosor.

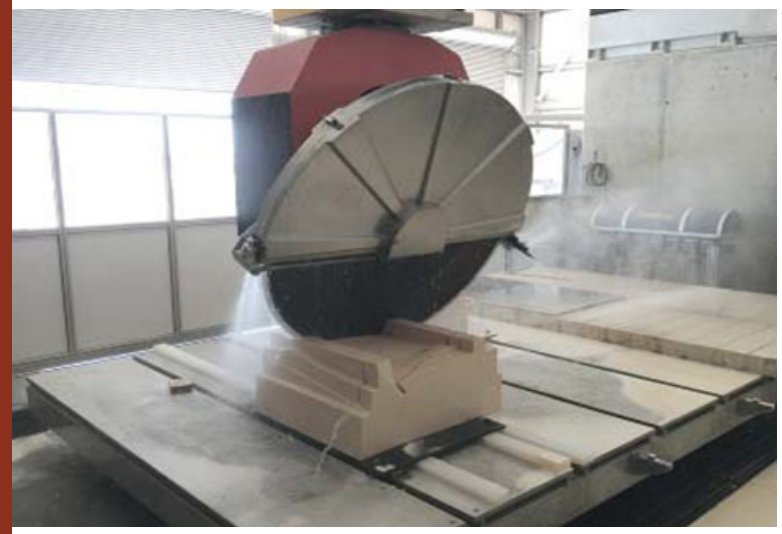
El corte del bloque, cuando tiene el tamaño suficiente, se realiza normalmente en máquinas que se denominan telares. El fundamento básico de los telares se debe al movimiento pendular de un marco portaflejes, entre 70 Y 100. Hay dos tipos de telares:

- telares de flejes diamantados y movimiento rectilíneo horizontal vertical, aplicados al corte de mármoles y calizas.
- telares con flejes de acero con movimiento oscilante entre los cuales y el bloque de granito se aplica un fluido compuesto de una mezcla abrasiva (formado por los flejes y la granalla metálica, hidróxido de cal y agua). De esta manera, el granito se va cortando por fricción. El acabado natural dejado por la sierra es liso, aunque con ligeros surcos y ondulaciones.

El corte con hilo diamantado, se realiza mediante máquinas mono ó mulltihilo, con velocidades de corte variables, que permite realizar cortes verticales, horizontales y con formas curvilíneas, con dispositivos de control numérico.

Máquina de hilo diamantado operada con control numérico computerizado (CNC), con la cabeza de corte giratoria o con la superficie de trabajo móvil, Breton it.

El corte con cortadoras de disco con borde diamantado, utilizan diferentes diámetros de disco, en función del producto a elaborar.



Máquina de hilo diamantado operada con control numérico computerizado (CNC), con la cabeza de corte giratoria o con la superficie de trabajo móvil, Breton it.

Los tableros se trocean a su vez, normalmente bajo pedido, en los productos ya acabados como, por ejemplo, las placas para el revestimiento de fachadas, baldosas para pavimentación, adoquines, encimeras de cocina, lavabos, etc. Para ello normalmente se utilizan discos de diamante, aunque para formatos especiales se puede utilizar el corte con chorro de agua, técnica innovadora que ofrece hoy en día excelentes resultados.

ACABADOS: LOS TRATAMIENTOS

Las tablas que salen de los telares, después de ser lavadas para eliminar los restos de fluido de corte (granalla, fleje…) pasan entonces a la zona de los tratamientos. En ella se consiguen diferentes acabados utilizando una amplia gama de maquinaria. El acabado más frecuente de la superficie de los tableros es el pulido, que permite obtener una superficie lisa y brillante, resaltando la textura y los colores de la roca. También se suelen aplicar otro tratamiento como el flameado, que da a la roca un aspecto rugoso y vítreo, perfecto para instalar sobre pavimentos ya que es antideslizante.

Otros acabados posibles son el abujardado (también conocido como labrado, se consigue golpeando el material manual o mecánicamente con la bujarda, un martillo dentado de acero), apomazado (logrado mediante un proceso de abrasión en trenes de pulido o pulidoras de brazo articulado, sin llegar a conseguir brillo), arenado (conseguido disparando repetidamente arena de sílice contra el material a través de una pistola de aire), envejecido (proceso caracterizado por el desgaste de la superficie de la piedra mediante vibración continua) o escafilado (realizado con herramientas tradicionales, haciendo saltar fragmentos de piedra mediante golpes controlados).

ALMACENAJE Y LOGÍSTICA

Después de recibir el tratamiento correspondiente, los productos elaborados son clasificados por tipo de acabado y material incluyendo un código para garantizar la trazabilidad del producto (procedencia, fecha y proceso de fabricación). A partir de su selección, se procede a su embalaje para su posterior comercialización a través de transporte por carretera o en barco, especialmente para las rocas de exportación. Luego serán los profesionales los encargados de adaptar el material pétreo al tipo de proyecto que se vaya a realizar, según su uso y las características y prestaciones del material.

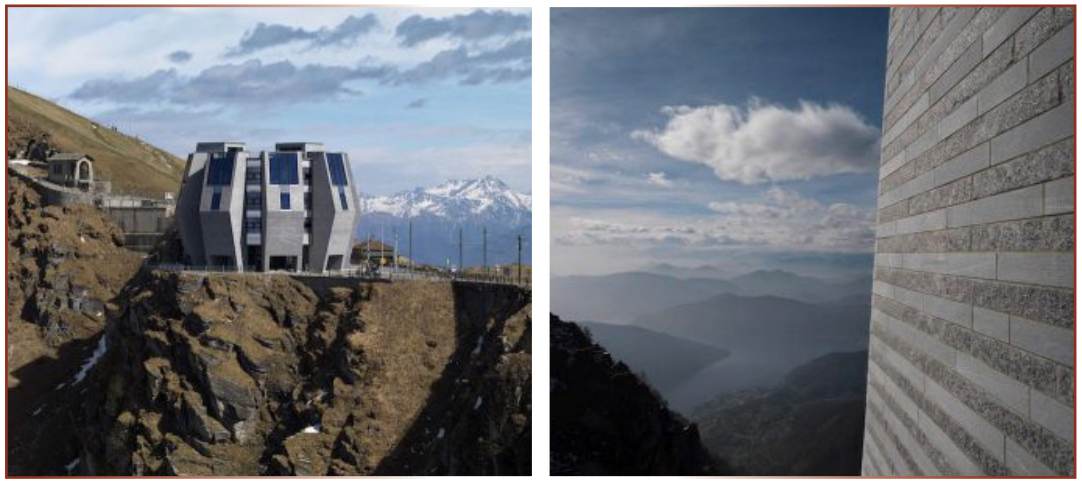
Productos y soluciones constructivas. Referencias

PAVIMENTOS

La utilización de la piedra natural para la construcción de pavimentos, constituye la aplicación más importante de este material. La pavimentación de caminos surge ante la necesidad de adaptar las vías de comunicación a los nuevos sistemas de transporte,

apareciendo así los primeros pavimentos adoquinados, en la época romana, que todavía mantienen su vigencia desde el punto de vista conceptual. Este tipo de aplicación tuvo su crisis al inicio de la segunda mitad del siglo XX, destruyéndose numerosos pavimentos adoquinados en muchas ciudades, quizás por falta de presupuesto, o por un desconocimiento de las técnicas adecuadas de colocación. Afortunadamente la recuperación de los adoquines de piedra es una realidad, de tal manera que, hoy en día, no se concibe la rehabilitación de un casco antiguo en una ciudad sin utilizar la piedra. Pero además de los adoquinados, también se construyen con piedra otro tipo de pavimentos con piezas de mayores dimensiones, tanto en exteriores como en interiores, y que se denominan baldosas.

Calzada Romana, https://pixabay.com



"Fiore di pietra" (flor de piedra). Mario Botta. Altura 1.704 m en el Monte Generoso, frontera entre Italia y Suiza, https://www.stone-ideas.com

APLACADOS PARA REVESTIMIENTOS DE FACHADAS

Estas unidades de obra sustituyen a las tradicionales mamposterías como elemento externo visible de los edificios.Desde el punto de vista tecnológico los aplacados, a diferencia de las mamposterías tradicionales, no tienen una función estructural en el edificio pero sí de aislamiento.

Aunque los aplacados se pueden sujetar al edificio con adhesivos químicos o morteros de cemento, hoy en día, cada vez con más frecuencia, la colocación se realiza por medio de anclajes, constituyendo lo que se conoce como fachadas trasventiladas.
Este sistema constructivo, considerado por muchos como uno de los logros de la arquitectura del siglo XX, utiliza anclajes metálicos de acero inoxidable como elemento de unión entre la piedra y el paramento, manteniendo una cámara de aire entre ambos, que facilita su ventilación, lo que incrementa notablemente la vida útil de la roca. Se suele decir que la piedra natural, como el hombre, necesitan respirar, de ahí la excelencia de este tipo de soluciones.

MAMPOSTERÍA

La mampostería constituye la manera más tradicional del uso de la piedra en la arquitectura. Desde el punto de vista normativo, la mampostería se define como aquellas piezas de piedra con espesores superiores a 80 mm y cuya función es estructural. Si las piezas son de forma irregular, se denominan generalmente mampuestos, y si se trata de bloques escuadrados, sillares.

El trabado de las piezas se realiza con morteros, de cal o mixtos de cal y cemento, para constituir los muros de carga, arcos, contrapuntos, etc., que constituyen los diferentes elementos estructurales de este tipo de arquitectura.

La utilización de la mampostería en piedra ha ido declinando a favor de otros materiales como los ladrillos y el hormigón. No obstante, siguen existiendo reductos locales, en los que la mampostería de piedra ha vuelto a tomar un nuevo impulso, como símbolo de riqueza, durabilidad y confort frente a los otros materiales.

Calzada Romana, https://pixabay.com

CUBIERTAS DE PIZARRA

Las cubiertas o tejados construidos con pizarra es una aplicación más, y muy importante, de la piedra natural. España es el primer país productor del mundo de pizarra de techar, aunque el mercado interior únicamente consume alrededor de un 15 % de la producción, siendo el 85 % restante objeto de exportación, principalmente a países europeos.

La forma de colocación de estas unidades de piedra es bastante compleja, aunque muy eficaz, y requiere mano de obra especializada. Las pizarras se superponen las unas con las otras formando una superficie escamada de placas que se sujetan, bien mediante clavado directo a unos listones de madera, que se denominan rastreles, bien mediante ganchos que abrazan las piezas y que igualmente se clavan sobre dichos rastreles.

Iglesia Saint-Laurent de Langrolay-sur-Rance, Pymouss, CC-BY-SA 3.0

PIEDRAS DIMENSIONADAS

Son las unidades de construcción con un espesor superior a 80 mm y sin una función estructural determinada. Se trata de una industria en auge que ofrece una gran variedad de productos, normalmente de carácter ornamental, como pueden ser, chimeneas de interior, fuentes, tracerías, balaustradas, columnas de ornamentación, lápidas funerarias, etc.

Chimenea, https://pixabay.com

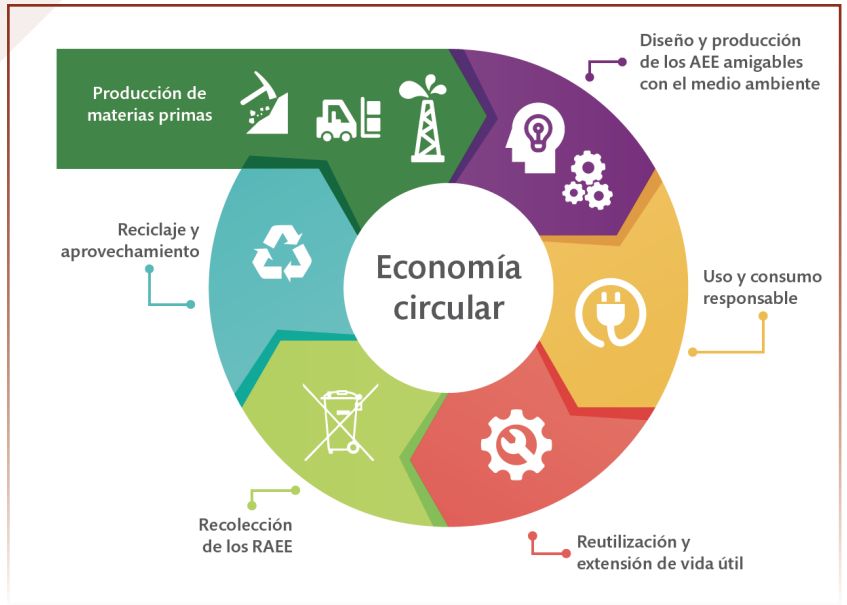
Columnas y capiteles, https://pixabay.com

Balaustradas, https://pixabay.com

NUEVAS APLICACIONES

El desarrollo de la economía circular en la minería representa retos y oportunidades para las empresas del sector. Pretende acabar con la escasez de recursos minerales, el desperdicio de recursos y la contaminación medioambiental a la vez que crea ventajas económicas.

Por un lado se está potenciando el uso de residuos de extracción y elaboración, para la industria en múltiples aplicaciones. Además las piedras naturales, al igual que cualquier otro producto de construcción, no son ajenas al desarrollo de nuevos productos, consecuencia, sobre todo, de los avances tecnológicos en los procesos de corte, los materiales adhesivos, aplicación de nanotecnología y el diseño innovador en sistemas constructivos.



Economía circular de las materias primas, https://www.mexpogdl.com

La reducción del espesor supone ventajas para el almacenamiento, transporte disminución de materia prima ahorrando recursos. En este ámbito, pueden citarse las losetas o paneles constituidos por una lámina de piedra de unos 45 mm de espesor a la que se ha adherido, mediante pegamentos adecuados, un material más económico que le proporciona la rigidez necesaria. Estos materiales que acompañan a la piedra pueden ser de naturaleza cerámica, de fibrocemento, estructuras ligeras de aluminio en forma de nido de abeja, o mallas de nylon con una resina de suficiente espesor.

Estos productos, presentan como característica común un mejor aprovechamiento del recurso minero, al utilizar menos volumen de material pétreo por m2 de superficie cubierta; algunos, como los que utilizan las estructuras en nido de abeja, permiten la fabricación de paneles de grandes dimensiones con muy poco peso, lo que mejora sensiblemente los tiempos de colocación, aunque todavía el coste final no resulta muy atractivo.

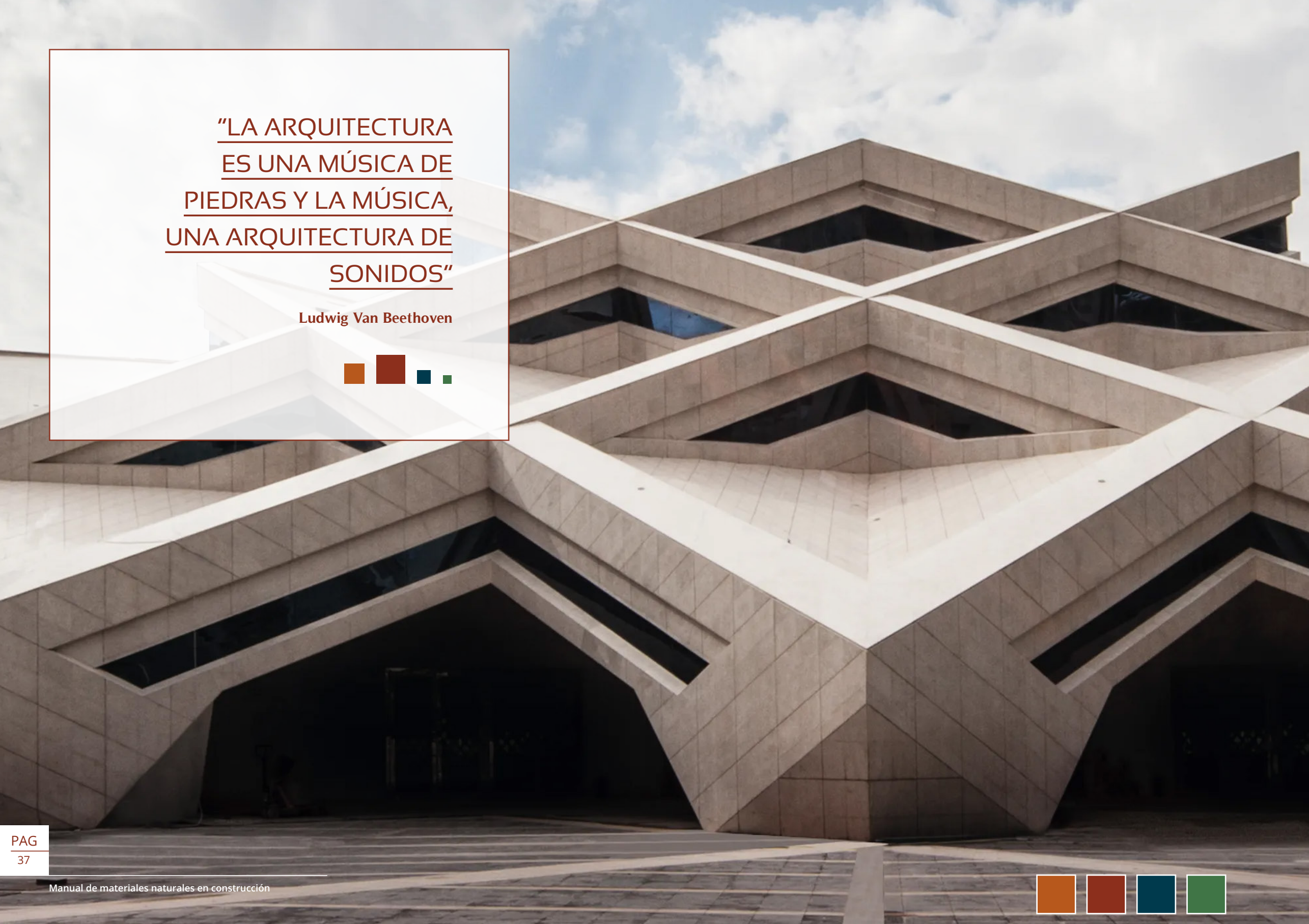
Estructura de piedra pretensada, Santuario del Padre Pío en San Giovanni Rotondo, https://www.pinterest.cl

Stone honeycomb panel, https://www.arrow-dragon.com

Otros productos bastante novedosos, con una penetración creciente en los mercados, son las unidades de piedra envejecida. Se trata de piezas que han sido sometidas a tratamientos de erosión física con abrasivos, como es la proyección de perdigones de acero, o erosión de naturaleza química, lo que les proporciona un aspecto tosco y alterado que se asemeja a materiales degradados por el uso y el paso del tiempo.

A continuación se presentan las tendencias actuales del sector:

- Otras texturas (diseños, salida de luminarias, mezcla de materiales, etc.).
- Tratar la roca como un material flexible.
- Desarrollo de grandes formatos.
- Renovación de la superficie de la roca para cambiar el aspecto de la piedra.
- Los gaviones como una salida alternativa para el aprovechamiento de rocas.
- Transparencia con el material (efecto piedra traslúcida) + vidrio (soporte).



"LA ARQUITECTURA ES UNA MÚSICA DE PIEDRAS Y LA MÚSICA, UNA ARQUITECTURA DE SONIDOS"

Ludwig Van Beethoven

Normalización, ensayos, comportamiento del material

La Normalización es uno de los instrumentos técnicos en los que se apoya la industria para garantizar la calidad de los productos y servicios. Las normas establecen un criterio objetivo que debe tener un producto, bien o servicio. Este criterio nos sirve luego como parámetro de comparación entre diferentes productos y como primer indicador de calidad o idoneidad técnica de un material.

Según el **Reglamento Europeo de Productos de Construcción Nº 305/2011**, desde el 1 de Julio de 2013 es obligatorio el Marcado CE para los diferentes productos de Piedra Natural (anteriormente regidos por la Directiva 89/106/CE). Este marcado es exigible en todo el ámbito del Mercado Único, es decir, no sólo para vender estos productos en nuestro país, sino también para poder comercializarlos en otros países de la Unión Europea.

Entre las exigencias que se requiere, este marcado implica que el fabricante deberá tener implantado un sistema de gestión que conlleva ensayos iniciales y de control, según en qué casos, y elaborar una documentación técnica específica.

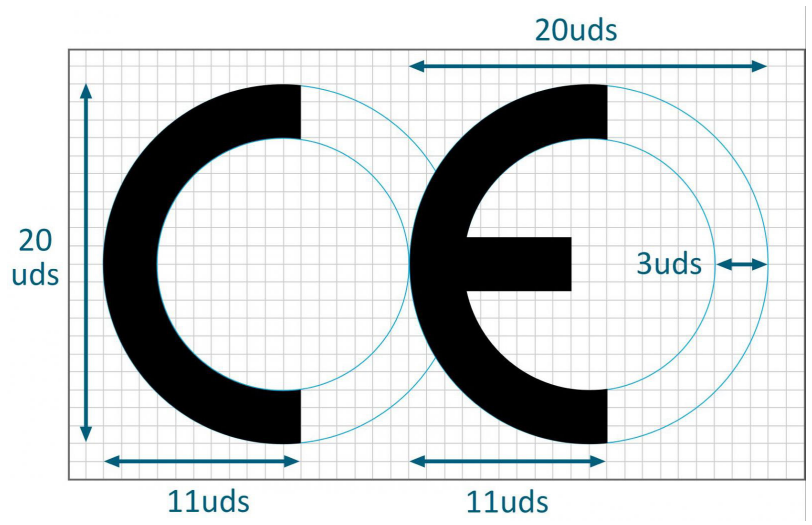
Una vez que el fabricante conoce los requisitos que deben cumplir sus productos y como debe cumplirlos, los documentos esenciales a que debe proporcionar a sus clientes son:

- Declaración de prestaciones.
- Marcado CE del producto, Etiquetado.

La responsabilidad de la colocación del marcado CE es del fabricante

La responsabilidad del Importador consiste en comprobar que el fabricante del producto tiene implantado el Marcado CE, y emitir y distribuir la documentación del producto en su nombre. En el caso de que el fabricante no tuviera implantado el Marcado CE, es el Importador el que debe asumir tal responsabilidad.

El marcado CE aplica en productos no en tipos de piedra natural. La normativa establece los requisitos específicos que deben cumplir las rocas para un uso (baldosas, placa, plaqueta, adoquín, bordillo, pizarra) y ubicación (pavimento/revestimiento, exterior/interior, bóveda y techos) en particular, además define los ensayos que deben llevarse a cabo para determinar que el producto cumple con los parámetros establecidos.



Dimensiones marcado CE, https://www.marcado-ce.com

La normativa también señala los periodos y regularidad con que deben hacerse los ensayos de comprobación o control, después de haber realizado el ensayo inicial.

Por tanto, la obligatoriedad para las empresas de disponer de ensayos de las rocas comercializadas, a fin de permitir a los usuarios la elección de materiales pétreos con características físicas acordes a su utilización en todos los países de la Unión Europea, hace en todo punto necesaria la unificación de la normativa de los distintos países europeos a fin de facilitar la interpretación de los ensayos en todo el territorio de la unión y la posibilidad de comparación de los mismos.

De acuerdo con los procedimientos internos de trabajo en el **Comité Europeo de Normalización (CEN)** para el desarrollo y elaboración de las normas europeas (EN), un comité técnico (TC) puede crear subcomités (SC) y grupos de trabajo (WG), cuya labor sea la de realizar una tarea específica (generalmente la elaboración de un paquete de normas) dentro del campo de actividad del TC y en un plazo dado. Los pasos a seguir en la elaboración de una norma son los siguientes:

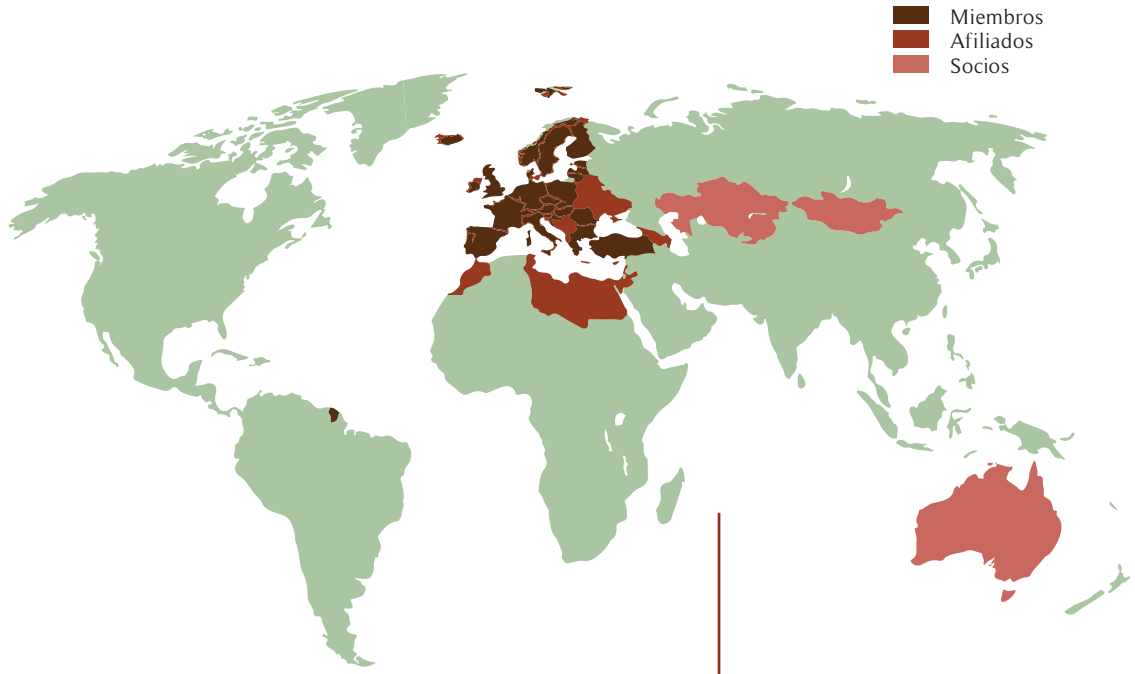
- trabajos preliminares
- iniciación
- elaboración de un borrador, encuesta interna, voto formal, fase de implementación, norma UNE-EN adoptada y publicada

COMITÉS EUROPEOS DE PIEDRA NATURAL

CEN/TC 125/WG 1/TG 6	Albañilería. Productos de albañilería. Piedra natural.
CEN/TC 128/SC 8	Productos de colocación discontinua para cubiertas y revestimientos de muros. Productos para tejados en pizarra y piedra natural.
CEN/TC 178/WG 2	Unidades para pavimentos y bordillos. Piedra natural.
CEN/TC 151/WG 11	Maquinaria y equipos para la ingeniería civil y la fabricación de materiales de construcción. Maquinaria e instalaciones para la extracción y tratamiento de la piedra natural.
CEN/TC 246	Piedra natural.

[1]La codificación empleada indica lo siguiente:

CEN/TC xx	comité europeo de normalización xx
CEN/TC xx/SC yy	subcomité yy del comité europeo de normalización xx
CEN/TC xx WG yy	grupo de trabajo yy del comité europeo de normalización xx



Miembros, socios y afiliados del Comité Europeo de Normalización, De Graden, CC BY-SA 4.0

NORMATIVA VIGENTE PARA PRODUCTOS DE PIEDRA NATURAL

PRODUCTO	NORMA DE REFERENCIA
Baldosas de piedra natural para uso como pavimento exterior	UNE-EN 1341:2013
Baldosas para pavimentos y escaleras	UNE-EN 12058:2015
Adoquines de piedra natural para uso como pavimento exterior	UNE-EN 1342:2013
Bordillos de piedra natural para uso como pavimento exterior y acabado de calzadas	UNE-EN 1343:2013
Placas para revestimientos murales	UNE-EN 1469:2015
Plaquetas	UNE-EN 12057:2015
Productos de pizarra y piedra natural para tejados inclinados y revestimientos	UNE-EN 12326-1:2015 Parte 1: Especificaciones de producto
	UNE-EN 12326-2:2012 Parte 2: Métodos de ensayo
Bloques en bruto	UNE-EN 1467:2012
Tableros en bruto	UNE-EN 1468:2012
Piedra masiva	UNE-EN 12059:2008+A1:2012
Piezas de albañilería de piedra natural. Especificación de piezas para fábrica de albañilería. Parte 6	UNE-EN 771-6:2012+A1:2016

* https://www.une.org/

NORMATIVA VIGENTE PARA PRODUCTOS DE PIEDRA NATURAL

Petrología y mineralogía

- Estudio petrográfico. UNE-EN 12407.

Propiedades estructurales e hídricas

- Determinación de la densidad real y aparente y de la porosidad abierta y total. UNE-EN 1936.
- Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad. UNE-EN 1925.
- Absorción de agua a presión atmosférica. UNE-EN 13755.

Propiedades físico-mecánicas

- Determinación de la resistencia a la compresión. UNE-EN 1926.
- Determinación de la resistencia a la flexión bajo carga concentrada. UNE-EN 12372.
- Determinación de la resistencia a la flexión a momento constante. UNE-EN 13161.
- Determinación de la carga de rotura para anclajes. UNE-EN 13364.
- Determinación del Módulo de Elasticidad Dinámico (con la medida de la frecuencia de resonancia fundamental). UNE-EN 14146.
- Determinación de la Resistencia a la Abrasión. UNE-EN 14157.
- Determinación de la Energía de Rotura. UNE-EN 14158.
- Determinación de la Resistencia al deslizamiento mediante péndulo de fricción. UNE-EN 14231.
- Determinación de la velocidad de propagación del sonido. UNE-EN 14579.
- Determinación del modulo de elasticidad estática. UNE-EN 14580.
- Determinación del coeficiente lineal de expansión térmica. UNE-EN 14581.

Ensayos de envejecimiento artificial

- Determinación de la resistencia a la heladicidad. UNE-EN 12371.
- Determinación de la resistencia al envejecimiento por choque térmico. UNE-EN 14066.
- Determinación de la resistencia a la cristalización de las sales. UNE-EN 12370.
- Determinación de la resistencia al envejecimiento por niebla salina. UNE-EN 14147.

REQUISITOS A DECLARAR POR EL FABRICANTE

UNE-EN 1341/2013: BALDOSAS DE PIEDRA NATURAL PARA USO COMO PAVIMENTO EXTERIOR
Se considera Baldosa a cualquier elemento de piedra natural utilizado como material de pavimento, en el que la anchura nominal es superior a 150 mm y también generalmente, dos veces superior al espesor.

DIMENSIONES (EN 13373: 2003) y TOLERANCIAS (UNE-EN 1341:2013). EN PLANTA: Para baldosas de bordes cortados y para baldosas partidas o de borde labrado, ESPESOR (para baldosas texturadas), IRREGULARIDADDES DE LA CARA, PLANEIDAD Y RECTITUD (para baldosas texturadas), ARISTAS.
RESISTENCIA AL HIELO/DESHIELO. EN 12371. 56 ciclos. Resistencia a flexión: EN 12372 ó en condiciones adversas ensayo de identificación 168 ciclos.
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN BAJO CARGA CONCENTRADA. EN 12372. Declaración: valor inferior esperado .
RESISTENCIA A LA ABRASIÓN. EN 14157. Declaración: valor superior esperado.
RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO SIN PULIDO (USRV). EN 14231. Declaración: en adoquines con textura fina (< 1 mm). Baldosas con textura gruesa y partida, tienen resistencia al deslizamiento satisfactoria. Valores superiores a 35 indican pavimento seguro en superficies horizontales o con una pendiente inferior al 6%.
ASPECTO. PUNTO 4.7.2. UNE-EN 1341:2013. Muestras de referencia dimensiones mínimas 10 cm x 10cm ó 10 cm x 25 cm. Declaración: características específicas como color, textura, huecos, manchas, vetas, etc.
ABSORCIÓN DE AGUA A PRESIÓN ATMOSFÉRICA. EN 13755. Declaración: valor superior esperado.
DENSIDAD APARENTE Y POROSIDAD ABIERTA. EN 1936. Declaración: el valor medio.
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA. EN 12407. Declaración: nombre petrográfico.
SUSTANCIAS PELIGROSAS. Verificación y declaración sobre emisión/contenido según reglamentaciones nacionales del lugar de uso.

UNE-EN 12058/2015: BALDOSAS PARA PAVIMENTOS Y ESCALERAS

Se considera baldosa para pavimento, la pieza plana de piedra natural que se obtiene por corte o exfoliación a un espesor nominal > 12 mm. Se coloca en una estructura por medio de mortero, adhesivos u otros elementos de apoyo. Se considera zócalo la pieza plana de piedra natural que se obtiene por corte o exfoliación a un espesor nominal > 12 mm. Se coloca en cada muro, rodeando un pavimento y en contacto con él. Se considera baldosa para escalera, la pieza plana de piedra natural que se obtiene por corte o exfoliación a un espesor nominal > 12 mm , para construir el tramo horizontal de un peldaño (huella) o el tramo vertical de un escalón (contrahuella).

DIMENSIONES (EN 13373: 2003) y TOLERANCIAS (UNE-EN 12058:2015). ESPESOR, PLANICIDAD, LONGITUD Y ANCHURA, FORMAS ESPECIALES.

DENOMINACIÓN. Se debe declarar siempre de acuerdo con la Norma EN 12440 (es decir su nombre tradicional, familia petrográfica, color típico y lugar de origen). La familia petrográfica se declara de acuerdo con la Norma, Descripción Petrográfica, EN 12407.

APARIENCIA VISUAL. PUNTO 4.2.3. UNE-EN 12058/2015. Se debe declarar siempre. El color, el veteado, la textura, etc., de la piedra se debe identificar por medio de una muestra de referencia de la misma piedra, proporcionada por el suministrador.

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN BAJO CARGA CONCENTRADA. EN 12372. Se debe declarar siempre el valor medio, el valor mínimo esperado y la desviación estándar.

RESISTENCIA A LA ADHERENCIA. Esta característica depende de las condiciones de la capa de mortero, del tipo de adhesivo/mortero y del acabado superficial de la cara posterior.

ABSORCIÓN DE AGUA A PRESIÓN ATMOSFÉRICA. EN 13755. Se debe declarar el valor máximo esperado.

REACCIÓN AL FUEGO. Se debe declarar cuando se requiera.

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DE AGUA POR CAPILARIDAD. EN 1925. Cuando se requiera y se debe declarar el valor máximo esperado. No realizar en roca con porosidad abierta inferior al 1%.

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE Y POROSIDAD ABIERTA. EN 1936. Cuando se requiera y se deben declarar los valores medios.

DURABILIDAD. RESISTENCIA A LA HELADICIDAD. EN 12371 (Flexión posterior 56 ciclos). Declarar el valor medio. En condiciones adversas ensayo de identificación 168 ciclos.

DURABILIDAD. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN. EN 14157. Declarar solo para baldosas para pavimentos y escaleras, cuando se requiera. Declarar el valor máximo esperado.

DURABILIDAD. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN. EN 14157. Declarar solo para baldosas para pavimentos y escaleras, cuando se requiera. Declarar el valor máximo esperado.

RESISTENCIA AL CHOQUE TÉRMICO. EN 14066. Se debe declarar cuando se requiera.

PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA. Se debe declara si se solicita.

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO MEDIANTE PÉNDULO DE FRICCIÓN. EN 14231. Se debe declarar, sólo para baldosas para pavimentos y escaleras, cuando esté sometido a requisitos reglamentarios o si se solicita, y cuando la rugosidad de la superficie sea inferior a 1 mm.

TACTILIDAD. Se debe declarar, sólo para baldosas, para pavimentos y escaleras, cuando esté sometido a requisitos reglamentarios o si se solicita. Es una descripción del relieve de la superficie, obtenido mediante acabado mecánico.

AISLAMIENTO CONTRA EL RUIDO AÉREO DIRECTO. Cuando se requiera debe declarase y debe expresarse como densidad, mediante la Norma EN 1936, como valor medio.

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA. Cuando se requiera debe declarase y debe determinarse mediante la Norma EN 1745, como valor medio.

EMISIÓN DE SUSTANCIAS PELIGROSAS (radioactividad y otras sustancias peligrosas).

UNE-EN 1342/2013: ADOQUINES DE PIEDRA NATURAL PARA USO COMO PAVIMENTO EXTERIOR

Se considera adoquín a una pequeña unidad para pavimentación de piedra natural, con dimensiones nominales comprendidas entre 50 y 300 mm y que, generalmente, no tiene ninguna dimensión en planta que sobrepase el doble del espesor. El espesor nominal mínimo es de 50mm.

DIMENSIONES (EN 13373: 2003) y TOLERANCIAS (UNE-EN 1342:2013). EN PLANTA Y ESPESOR, REBAJE DE CARAS PARTIDAS, IRREGULARIDADES EN LAS CARAS PARTIDAS Y CON TEXTURA GRUESA

RESISTENCIA AL HIELO/DESHIELO. EN 12371. 56 ciclos. Resistencia a la compresión: EN 1926 ó en condiciones adversas ensayo de identificación 168 ciclos.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. EN 1926. Declaración: valor inferior esperado.

RESISTENCIA A LA ABRASIÓN. EN 14157. Declaración: valor superior esperado.

RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO SIN PULIDO (USRV). EN 14231. Declaración: en adoquines con textura fina (< 1 mm). Adoquines con textura gruesa y partida, tienen resistencia al deslizamiento satisfactoria. Valores superiores a 35 indican pavimento seguro en superficies horizontales o con una pendiente inferior al 6%.

ASPECTO. PUNTO 4.7.2. UNE-EN 1342:2013. Muestra de cierto número de adoquines de piedra natural de suficiente tamaño para mostrar la apariencia superficial y la apariencia aproximada en cuanto al color, tipo de veta, estructura física y acabado superficial. Declaración: características específicas como color, huecos, manchas, vetas, etc.

ABSORCIÓN DE AGUA A PRESIÓN ATMOSFÉRICA. EN 13755. Declaración: valor superior esperado.

DENSIDAD APARENTE Y POROSIDAD ABIERTA. EN 1936. Declaración: el valor medio.

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA. EN 12407. Declaración: nombre petrográfico.

SUSTANCIAS PELIGROSAS. Verificación y declaración sobre emisión/contenido según reglamentaciones nacionales del lugar de uso.

UNE-EN 1343/2013: BORDILLOS DE PIEDRA NATURAL PARA USO COMO PAVIMENTO EXTERIOR Y ACABADO DE CALZADAS

Se considera bordillo a un elemento con una longitud > 300 mm, comúnmente utilizado en el borde de calzadas o aceras.

DIMENSIONES (EN 13373: 2003) y TOLERANCIAS (UNE-EN 1343:2013). ALTURA Y ANCHURA TOTAL, BISELADO O REBAJE, TOLERANCIAS DE LAS CARAS (SÓLO PARA BORDILLOS RECTOS), RADIO DE CURVATURA (SÓLO PARA BORDILLOS CURVOS), IRREGULARIDADES SUPERFICIALES.

RESISTENCIA AL HIELO/DESHIELO. EN 12371. 56 ciclos. Resistencia a flexión: EN 12372 ó en condiciones adversas ensayo de identificación 168 ciclos.

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN BAJO CARGA CONCENTRADA. EN 12372. Declaración: valor inferior esperado.

ASPECTO. PUNTO 4.5.2. UNE-EN 1343:2013. Muestra de cierto número de bordillos de piedra natural de suficiente tamaño para mostrar la apariencia superficial y la apariencia aproximada en cuanto al color, tipo de veta, estructura física y acabado superficial. Declaración: características específicas como color, huecos, manchas, vetas, etc.

ABSORCIÓN DE AGUA A PRESIÓN ATMOSFÉRICA. EN 13755. Declaración: valor superior esperado.

DENSIDAD APARENTE Y POROSIDAD ABIERTA. EN 1936. Declaración: el valor medio.

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA. EN 12407. Declaración: nombre petrográfico.

SUSTANCIAS PELIGROSAS. Verificación y declaración sobre emisión/contenido según reglamentaciones nacionales del lugar de uso.

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA. EN 12407. Declaración: nombre petrográfico.

SUSTANCIAS PELIGROSAS. Verificación y declaración sobre emisión/contenido según reglamentaciones nacionales del lugar de uso.

UNE-EN 1469/2015: PLACAS PARA REVESTIMIENTOS MURALES

Se considera placa de revestimiento mural, la placa cortada para formar parte de un revestimiento de un muro y el acabado de bóvedas para uso en el exterior o en el interior, fijada a una estructura bien mecánicamente o por medio de un mortero o adhesivos.

DIMENSIONES (EN 13373: 2003) y TOLERANCIAS (UNE-EN 1469:2005). ESPESOR, PLANICIDAD, LONGITUD Y ANCHURA, ÁNGULOS Y FORMAS ESPECIALES, LOCALIZACIÓN DE ANCLAJES.

DENOMINACIÓN. Se debe declarar siempre de acuerdo con la Norma EN 12440 (es decir su nombre tradicional, familia petrográfica, color típico y lugar de origen). La familia petrográfica se declara de acuerdo con la Norma, Descripción Petrográfica, EN 12407.

APARIENCIA VISUAL. PUNTO 4.2.3. UNE-EN 1469/2005. Se debe declarar siempre. El color, el veteado, la textura, etc., de la piedra se debe identificar por medio de una muestra de referencia de la misma piedra, proporcionada por el suministrador.

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN BAJO CARGA CONCENTRADA. EN 12372. Se debe declarar siempre el valor medio, el valor mínimo esperado y la desviación estándar.

DETERMINACIÓN DE LA CARGA DE ROTURA PARA ANCLAJES. EN 13364. Se debe declarar la carga de rotura característica del anclaje cuando las placas se tienen que fijar mecánicamente utilizando anclajes en las aristas. Se debe declarar el valor medio, el valor mínimo esperado y la desviación estándar.

ABSORCIÓN DE AGUA A PRESIÓN ATMOSFÉRICA. EN 13755. Se debe declarar si se solicita.

REACCIÓN AL FUEGO. Se debe declarar siempre.

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DE AGUA POR CAPILARIDAD. EN 1925. Se debe declara si se solicita y no es necesario en el caso de piedras con una porosidad abierta inferior al 1,0 %.

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE Y POROSIDAD ABIERTA. EN 1936. Se debe declarar siempre.

RESISTENCIA A LA HELADICIDAD. EN 12371 (Flexión 12 ciclos). Se debe declarar cuando esté sometido a requisitos reglamentarios.

RESISTENCIA AL CHOQUE TÉRMICO. Se debe declarar cuando esté sometido a requisitos reglamentarios. Se realiza según la Norma EN 14066.

PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA. Se debe declara si se solicita.

UNE-EN 12057/2015: PLAQUETAS

Se considera plaqueta una pieza plana cuadrada o rectangular, de piedra natural, con dimensiones estándar, generalmente < 610 mm, que se obtiene por corte o exfoliación a un espesor nominal ≤ 12mm.

DIMENSIONES (EN 13373: 2003) y TOLERANCIAS (UNE-EN 12057:2015). ESPESOR, PLANICIDAD (sólo para superficies pulidas y esmeriladas), LONGITUD Y ANCHURA, ESCUADRADO.

DENOMINACIÓN. Se debe declarar siempre de acuerdo con la Norma EN 12440 (es decir su nombre tradicional, familia petrográfica, color típico y lugar de origen). La familia petrográfica se declara de acuerdo con la Norma, Descripción Petrográfica, EN 12407.

APARIENCIA VISUAL. PUNTO 4.2.3. UNE-EN 12057/2015. Se debe declarar siempre. El color, el veteado, la textura, etc., de la piedra se debe identificar por medio de una muestra de referencia de la misma piedra, proporcionada por el suministrador.

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN BAJO CARGA CONCENTRADA. EN 12372. Se debe declarar siempre el valor medio, el valor mínimo esperado y la desviación estándar.

RESISTENCIA A LA ADHERENCIA. Esta característica es responsabilidad del colocador y depende de l tipo de adhesivo/mortero, las superficies a ser unidas y las condiciones climáticas.

ABSORCIÓN DE AGUA A PRESIÓN ATMOSFÉRICA. EN 13755. Se debe declarar el valor máximo esperado.

REACCIÓN AL FUEGO. Se debe declarar cuando se requiera.

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DE AGUA POR CAPILARIDAD. EN 1925. Cuando se requiera y se debe declarar el valor máximo esperado.

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE Y POROSIDAD ABIERTA. EN 1936. Cuando se requiera y se deben declarar los valores medios.

DURABILIDAD. RESISTENCIA A LA HELADICIDAD. EN 12371 (Flexión posterior 14 ciclos para acabados en muros y flexión posterior a 56 ciclos para pavimentos). Se debe declarar cuando esté sometido a requisitos reglamentarios. Disminución menor a 20% no se considera significativa.

DURABILIDAD. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN. EN 14157. Se debe declarar el valor máximo esperado, sólo para plaquetas, para pavimentos y escaleras, cuando se requiera.

DURABILIDAD. RESISTENCIA AL CICLO TÉRMICO Y DE HUMEDAD. EN 16306. La resistencia del mármol a los ciclos térmicos y de humedad debe declarase bajo solicitud, solo para el mármol destinado a revestimiento de fachadas de edificios.

RESISTENCIA AL CHOQUE TÉRMICO. EN 14066. Se debe declarar cuando se requiera.
PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA. Se debe declarar cuando la plaqueta se va a utilizar en una localización sometida a requisitos de control del vapor.
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO MEDIANTE PÉNDULO DE FRICCIÓN. EN 14231. Se debe declarar, sólo para plaquetas, para pavimentos y escaleras, cuando esté sometido a requisitos reglamentarios o si se solicita, y cuando la rugosidad de la superficie sea inferior a 1 mm.
TACTILIDAD. Se debe declarar, sólo para plaquetas, para pavimentos y escaleras, cuando esté sometido a requisitos reglamentarios o si se solicita. Es una descripción del relieve de la superficie, obtenido mediante acabado mecánico.
AISLAMIENTO CONTRA EL RUIDO AÉREO DIRECTO. Cuando se requiera debe declarase y debe expresarse como densidad, mediante la Norma EN 1936, como valor medio.
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA. Cuando se requiera debe declarase y debe determinarse mediante la Norma EN 1745, como valor medio.
EMISIÓN DE SUSTANCIAS PELIGROSAS (radioactividad y otras sustancias peligrosas).

UNE-EN 12326-2:2012: PRODUCTOS DE PIZARRA Y PIEDRA NATURAL PARA TEJADOS INCLINADOS Y REVESTIMIENTOS

Se especifican los métodos de ensayo de las pizarras y otras piedras para uso en tejados y revestimientos de paredes.

DIMENSIONES: Determinación de la longitud y la anchura y de la desviación por comparación con la longitud y la anchura especificada. UNE-EN 12326-2:2012. Ap 5. Determinación de la desviación de los bordes con respecto a la línea recta. UNE-EN 12326-2:2012.. Ap 6. Determinación de la rectangularidad. UNE-EN 12326-2:2012. Ap 7. Determinación del espesor. UNE-EN 12326-2:2012. Ap 8. Determinación de la desviación de la planicidad. UNE-EN 12326-2:2012. Ap 9.
Determinación del Módulo de Rotura y del Módulo de Rotura Característico. UNE-EN 12326-2:2012. Ap 10.
Ensayo de absorción de agua. UNE-EN 12326-2:2012. Ap 11.
Ensayo de hielo – deshielo. UNE-EN 12326-2:2012. Ap 12. Determinación del Módulo de Rotura y del Módulo de Rotura Característico. UNE-EN 12326-2:2012. Ap 10. antes y después del ensayo hielo-deshielo.
Determinación del contenido de Carbonato cálcico y de Carbono no carbonatado por descomposición térmica catalítica. UNE-EN 12326-2:2012. Apdo. 13.
Exposición al dióxido de azufre (SO2) . UNE-EN 12326-2:2012. Ap 14
Ensayo del ciclo térmico. UNE-EN 12326-2:2012. Ap 15.
Estudio petrográfico. UNE-EN 12326-2:2012. Ap 16.

Ficha técnica

El contenido de la declaración de prestaciones y del marcado CE, se explican en los anexos Z de las normas armonizadas que proporcionan también el contenido y ejemplos de la Declaración de Prestaciones y el marcado CE de los productos cubiertos por la norma armonizada. No obstante, algunas normas armonizadas anteriores al Reglamento (UE) Nº 305/2011 han quedado desfasadas, por lo que cuando existan diferencias, debe prevalecer el Reglamento y sus modificaciones posteriores (véase el Reglamento Delegado (UE) Nº 574/2014).

La Declaración de Prestaciones y el marcado CE puede hacerse producto a producto o también puede emitirse para "familias de productos", es decir, para grupos de productos de tipología y características semejantes, a criterio del fabricante. La Declaración de Prestaciones y el marcado CE deben emitirse en español o en el idioma exigido en cada estado miembro de la UE.

Cuando un producto pueda entrar en el campo de aplicación de varias normas armonizadas, por ejemplo, una placa de piedra natural que puede tener uso para suelos (UNE -EN 12058) y paredes (UNE - EN 1469), el fabricante podrá emitir una Declaración de Prestaciones y un marcado CE únicos, que recojan las prestaciones de varias normas.

El contenido de la **Declaración de Prestaciones** para un producto de piedra natural debe incluir la siguiente información, aunque no necesariamente en el mismo orden:

OBLIGATORIA

- Número de la declaración, asignado por el fabricante
- Código de identificación única del producto

  Debe incluir la denominación de la piedra natural de acuerdo con la norma UNE-EN 12440, que comprende las siguientes partes:
  - Nombre tradicional o comercial.
  - Familia o grupo petrológico.
  - Color característico (o rango de colores).
  - Lugar de origen (extracción).

OPCIONAL

- Acabado superficial
- Características naturales que afecten a la apariencia (veteado, etc.)
- Nombre petrográfico
- Edad geológica
- Declaración de responsabilidad y conformidad

  Según el Reglamento (UE) Nº 305/2011, firma por persona autorizada y la fecha
- Prestaciones declaradas

  Mediante una tabla con las características esenciales establecidas por la norma armonizada y los valores de las prestaciones, niveles o clases del producto. Sólo es obligatorio declarar prestaciones sobre las características para las que haya requisitos reglamentarios en el país donde se comercialice. Para las prestaciones no declaradas se utilizarán las siglas "NPD"
- Nombre o marca comercial

  Registrada del fabricante, o en su caso del importador o distribuidor, y su dirección de contacto
- Sistema(s) de evaluación y verificación de constancia de prestaciones
- Número y nombre del organismo notificado

  Cuando haya intervenido en las tareas EVCP (sistemas "1", "2"+ o "3")
- Norma europea armonizada
- Usos previstos

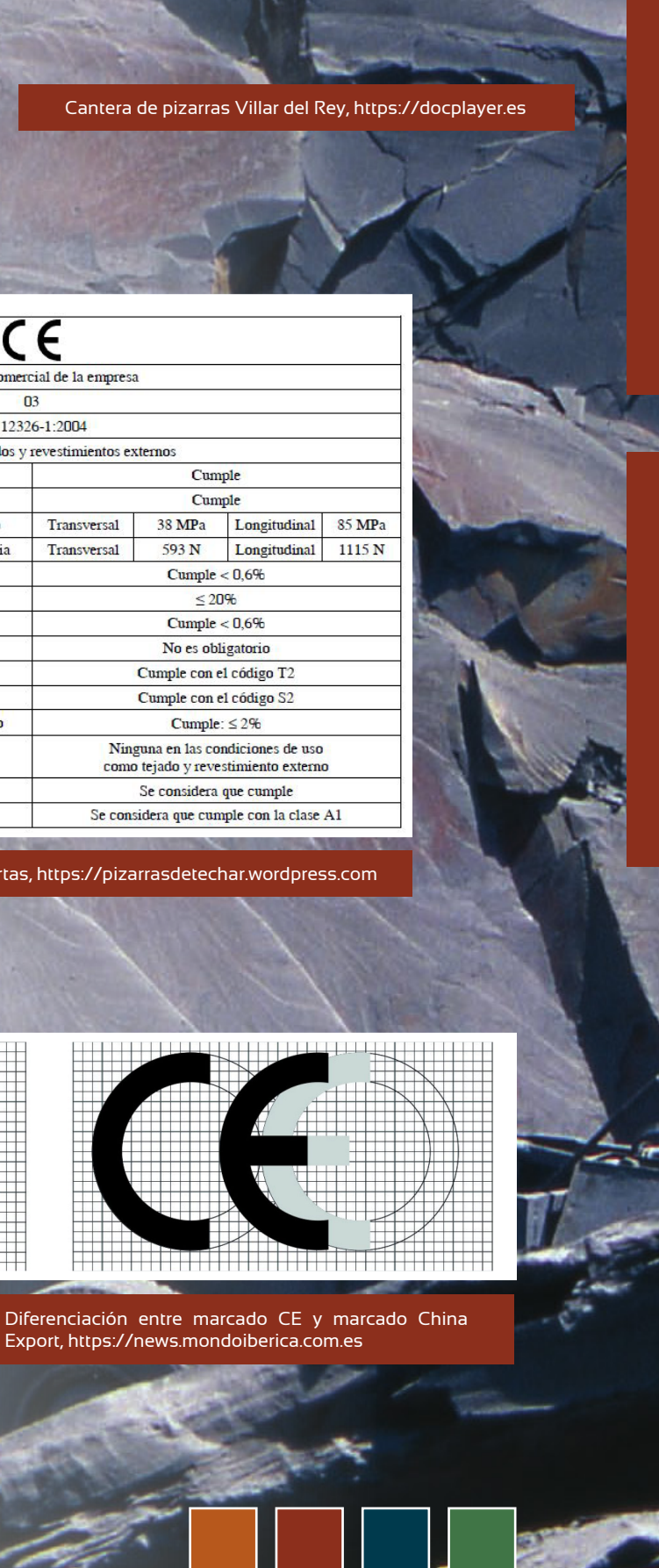
  De entre los que aparezcan expresamente en la norma armonizada

Será posible dar acceso al cliente a la Declaración de Prestaciones a través de una página web gratuita (véase Reglamento Delegado (UE) Nº 157/2014), la cual deberá mantenerse por un período mínimo de 10 años desde la introducción del producto en el mercado.

Junto a la Declaración de Prestaciones se adjuntarán las “fichas de seguridad” de las sustancias peligrosas, según los artículos 31 y 33 del Reglamento Nº 1907/2006” REACH “ (véase el Informe de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo conforme a lo dispuesto en el artículo 67, apartado 1, del Reglamento (UE) N º 305/2011).

El contenido del **marcado CE** para un producto de piedra natural será el siguiente:

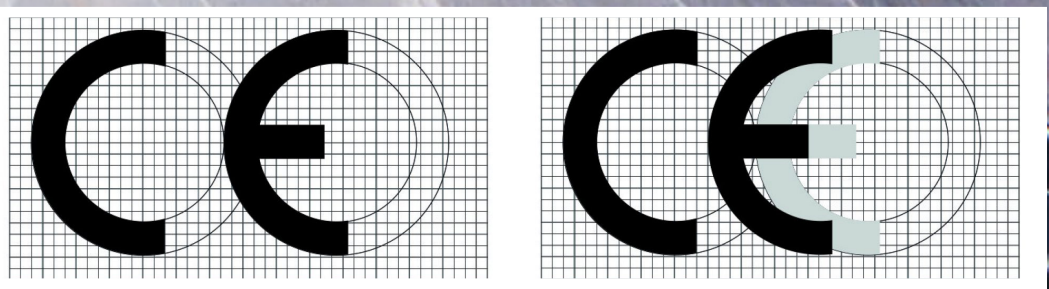
- Logotipo CE
- Código de identificación única del producto
- Dos últimas cifras del año de su primera colocación
  - No se pueden modificar salvo que se modifique el producto y se tenga que realizar un nuevo marcado
- Número de la declaración de prestaciones
- Norma europea armonizada
- Nombre o marca comercial registrada
- Dirección del fabricante
  - O en su caso del importador o distribuidor
- Usos previstos
- Número de organismo notificado
  - Cuando intervenga
- Lista de las características esenciales
  - Características, valores de las prestaciones, niveles o clases declarados, omitiendo aquellas características sobre las que no se declara prestación



Cantera de pizarras Villar del Rey, https://docplayer.es

CE					
Dirección comercial de la empresa					
03					
EN 12326-1:2004					
Pizarras para tejados y revestimientos externos					
Dimensiones y variación dimensional		Cumple			
Espesor nominal y variación		Cumple			
Resistencia mecánica	MoR característico	Transversal	38 MPa	Longitudinal	85 MPa
	Carga de rotura media	Transversal	593 N	Longitudinal	1115 N
Permeabilidad al agua/absorción de agua		Cumple < 0,6%			
Contenido en carbonatos		≤ 20%			
Durabilidad, absorción de agua		Cumple < 0,6%			
Durabilidad, ciclo de hielo-deshielo		No es obligatorio			
Durabilidad, ciclo térmico		Cumple con el código T2			
Durabilidad, exposición al SO_2		Cumple con el código S2			
Durabilidad, contenido de carbono no carbonatado		Cumple: ≤ 2%			
Emisión de sustancias peligrosas		Ninguna en las condiciones de uso como tejado y revestimiento externo			
Comportamiento frente al fuego externo		Se considera que cumple			
Reacción al fuego		Se considera que cumple con la clase A1			

Etiquetado CE de pizarras para cubiertas, https://pizarrasdetechar.wordpress.com



Diferenciación entre marcado CE y marcado China Export, https://news.mondoiberica.com.es

EJEMPLO DE DECLARACIÓN DE PRESTACIONES

DECLARACIÓN DE PRESTACIONES

RQ12345

Producto: *Placas de mármol Rojo Quípar 12345*
Caliza-mudstone / Biomicrita
Rojo / gris claro con vetas blancas
Cehegín (Murcia) España
Apomazado

Usos previstos: *Revestimientos murales para acabados interiores o exteriores*

Fabricante (1): *Razón social de la empresa*
Dirección social de la empresa
Email de la empresa

Sistema de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones: **4**

Norma armonizada: **EN 1469:2015**

Prestaciones declaradas:

Características esenciales	Prestaciones
Reacción al fuego	*Clase A1*
Permeabilidad al vapor de agua	*Factor de resistencia al vapor de agua en seco μ: 10.000* *Factor de resistencia al vapor de agua en húmedo μ: 10.000*
Resistencia mecánica (resistencia a la flexión)	*Valor inferior esperado: 7,9 MPa* *Valor medio: 12,6 MPa* *Desviación estándar: 1,2 MPa*
Resistencia a los anclajes	*Valor inferior esperado: 2650 N* *Valor medio: 2150 N* *Desviación estándar: 150 N*
Resistencia al choque térmico	*Después de 20 ciclos:* *Variación de la resistencia a la flexión: -8 %* *Variación del módulo de elasticidad dinámico: -5 %*
Aislamiento contra el aéreo directo	*Valor medio de la densidad aparente: 2720 kg/m³*
Resistencia térmica	*Valor medio de la densidad aparente: 2720 kg/m³*
Durabilidad de la resistencia a la flexión frente al hielo/deshielo	*Valor medio antes de hielo/deshielo: 12,6 MPa* *Valor medio después de 14 ciclos hielo/deshielo: 11,9 MPa*
Resistencia del mármol a los ciclos térmicos y de humedad	*NPD*
Emisión de radioactividad	*NPD*
Emisión de sustancias peligrosas	*NPD*

Las prestaciones del producto identificado anteriormente son conformes con el conjunto de prestaciones declaradas. La presente declaración de prestaciones se emite, de conformidad con el Reglamento (UE) nº 305/2011, bajo la sola responsabilidad del fabricante (1) arriba identificado.

Firmado por y en nombre del fabricante (1) por: *Nombre de la persona autorizada*

Lugar y fecha de emisión

(1) Cuando el producto es comercializado por el distribuidor o el importador con su nombre, deberá indicarse éste con sus datos.

EJEMPLO DE MARCADO CE

CE

Razón Social de la Empresa
Dirección Social de la Empresa
Email de la empresa

16

RQ12345

EN 1469:2015

Placas de mármol Rojo Quípar 12345
Caliza-mudstone / Biomicrita
Rojo / gris claro con vetas blancas
Cehegín (Murcia) España
Apomazado

Revestimientos murales para acabados interiores o exteriores

Reacción al fuego: *Clase A1*
Permeabilidad al vapor de agua:
Factor de resistencia al vapor de agua en seco μ: 10.000
Factor de resistencia al vapor de agua en húmedo μ: 10.000
Resistencia a la flexión:
Valor inferior esperado: 7,9 MPa
Valor medio: 12,6 MPa
Desviación estándar: 1,2 MPa
Resistencia al anclaje:
Valor inferior esperado: 2650 N
Valor medio: 2150 N
Desviación estándar: 150 N
Resistencia al choque térmico:
Variación de la resistencia a la flexión: -8 %
Variación del módulo de elasticidad dinámico: -5 %
Aislamiento contra el ruido aéreo:
Valor medio de la densidad aparente: 2720 kg/m³
Resistencia térmica:
Valor medio de la densidad aparente: 2720 kg/m³
Durabilidad de la resistencia a la flexión frente al hielo/deshielo:
Valor medio antes de hielo/deshielo: 12,6 MPa
Valor medio después de 14 ciclos de hielo/deshielo: 11,9 MPa

NOTA: Opcionalmente se podrá incluir la página web en la que se puede consultar la DdP.

Morteros

Conceptos generales

Introducción. Origen y desarrollo

El uso del **mortero** supuso un avance importante en la técnica de construcción y se consiguió cuando tuvo lugar el descubrimiento de los conglomerantes y su mezcla con otros componentes (áridos, aditivos, agua, etc.), con lo que se obtenía un material capaz de endurecer y comportase como un material pétreo natural. Estos componentes deben estar en una proporción que permita que la mezcla sea trabajable, cuando esté fresca, con propiedades físico-mecánicas aceptables, durable al endurecer y con buena adherencia al transformarse en un material coherente.

Los morteros han cubierto una etapa fundamental en la construcción desde la antigüedad, motivo por el cual, lo encontramos formando parte de innumerables construcciones arqueológicas e históricas en la actualidad. Aunque es poco lo que se sabe sobre este tipo de morteros históricos, sí que se pueden establecer a priori las características que deben cumplir los morteros de restauración. Estos deben ser lo más similares posibles al mortero que se va a sustituir, compatibles con los demás elementos de fábrica (piedra, ladrillo, etc), de fácil trabajabilidad, rapidez y seguridad en su colocación de características físico-mecánicas semejantes al resto de la fábrica, de compatibilidad, docilidad y mínima retracción, adherencia adecuada permeabilidad baja así como duraderos y resistentes a los agentes externos.

Estuco, puerta de madera y mosaicos de un muro en La Alhambra de Granada, Jebulon, CC 0 1.0

Fuerte Amber, Praddep Kumar Chatterjee, CC 0 1.0

CRONOLOGÍA GENERAL

3000 a.C.

Civilización egipcia
Empleo de morteros de yeso y cal en las construcciones monumentales

s. VIII a.C.

Civilización Helena
Fabricación de morteros de cal y uso de aditivos (cenizas volcánicas)

Norte de Chile
Paredes de chozas realizadas con piedras unidas con mortero hidraúlico procedente de la calcinación de algas

s. II a.C.

Hasta el siglo XVIII sólo se utilizan los morteros de cal, yesos y materiales puzolánicos (tierra de diatomeas etc.)

Imperio Romano
Fabricación de morteros hidraúlicos por la mezcla de caliza, áridos y cenizas volcánicas (puzolanas - ciudad de Puzzoli)

1750 - 1800

Se investigan mezclas calcinadas de cal y arcilla

1818

Vicat
Vicat realizó una serie de investigaciones que describían el comportamiento hidráulico de las mezclas de caliza y arcilla, y propuso en 1818 el sistema de fabricación que se sigue empleando en la actualidad. Este sistema es de vía húmeda y orientó el inicio del actual proceso de fabricación

1824

Cemento Portland
James Parker y Joseph Aspdin patentan el Cemento Portland dándole este nombre por motivos comerciales, en razón de su color y dureza que recuerdan a las piedras de Portland, materia que obtuvieron de la calcinación a alta temperatura de una Caliza Arcillosa.

Finales s. XIX

Cemento Portland
Perfeccionamiento del proceso de fabricación

s. XX

Cemento Portland
Industrialización y tecnificación de los morteros

DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS MORTEROS

Los morteros se definen como mezclas de uno o más conglomerantes inorgánicos, áridos, agua y a veces adiciones y/o aditivos. Entendemos por mortero fresco el que se encuentra completamente mezclado y listo para su uso.

Contrariamente a otros materiales constructivos, el mortero tiene la peculiaridad de ser empleado en muy distintas aplicaciones en edificación. Estas posibilidades vienen determinadas por los siguientes factores:

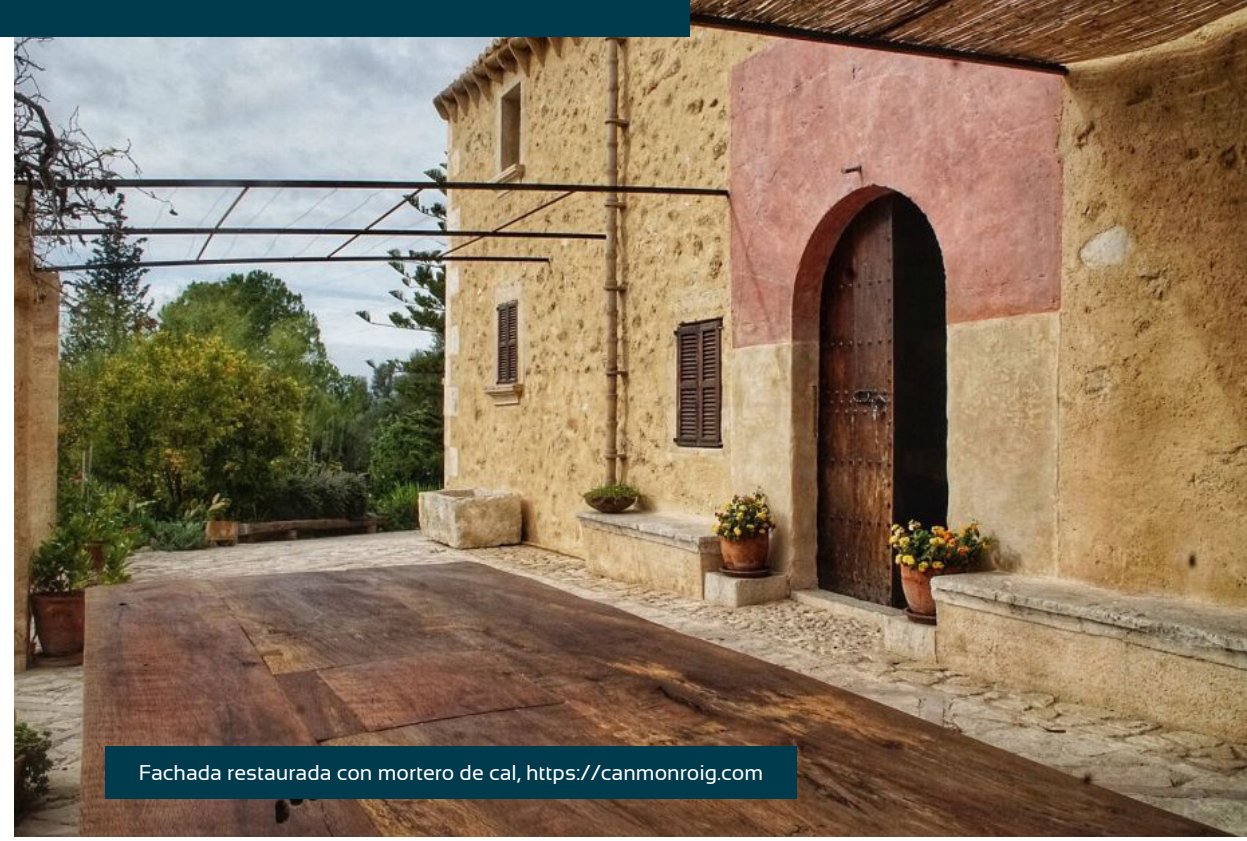
Adaptabilidad formal. El mortero se puede adaptar a cualquier superficie y volumen,forma e intersticio. Tampoco requiere tolerancias dimensionales.

Facilidad de aplicación. A diferencia de otros materiales los morteros no requieren especial aparamenta o sofisticación para su puesta en obra. Pueden ser aplicados manualmente o por proyección.

Prestaciones diseñables. El mortero ofrece la posibilidad de adaptar sus propiedades a las exigencias que se deseen conforme a la composición y dosificación precisas.

"LA ARQUITECTURA COMIENZA CON PONER DOS LADRILLOS JUNTOS CUIDADOSAMENTE"

Ludwig Mies van der Rohe



Fachada restaurada con mortero de cal, https://canmonroig.com

Los morteros principalmente tienen un uso enfocado hacia la albañilería común, si bien pueden tener otras aplicaciones derivadas de las prestaciones específicas de los morteros especiales.

- Morteros para formación de fábricas.
- Morteros de revestimiento.
- Morteros para solados.
- Morteros cola.
- Morteros de reparación.
- Morteros impermeabilizantes.

Morteros según aplicación

Todas estas posibilidades dan origen a una diversa gama de productos designados bajo la acepción de morteros especiales. Podemos establecer una primera clasificación de acuerdo con su aplicación constructiva en la que diferenciamos:

Esta clasificación puede diversificarse e incrementarse pero las clases de morteros señaladas cubren la mayor parte de las aplicaciones edificatorias.

Clinker caliente, https://www.facebook.com

Morteros según concepto

El desarrollo industrializado de los morteros ha facilitado la capacidad de producir morteros a la medida del cliente, tanto en lo relativo a las propiedades que tendrá el mortero servido como en la afinada composición y proporción de sus componentes. Conforme a esto cabe otra clasificación definida según el concepto, bien de prestación (propiedades a obtener), bien de receta (composición y proporciones de la mezcla). La Norma UNE-EN-998-2 diferencia en este sentido:

- **Morteros diseñados**: son morteros cuya composición y sistema de fabricación se han elegido por el fabricante con el fin de obtener unas propiedades demandadas específicamente por el cliente.
- **Morteros de receta o prescritos**: son morteros que se fabrican con unas composiciones determinadas y cuyas propiedades dependen de las proporciones de los componentes declarados.

Usualmente se denominan según las proporciones de sus componentes según el orden:

Conglomerante / arena

En el caso de morteros mixtos, al existir más conglomerantes se suele ordenar:

Cemento/ cal / arena

UN MORTERO AL QUE DEMANDAMOS UNA DETERMINADA RESISTENCIA ES UN MORTERO DISEÑADO

UN MORTERO EN EL QUE PRESCRIBIMOS LA PROPORCIÓN DE CEMENTO / ARENA ES UN MORTERO DE RECETA

Lógicamente es obligado atenerse a uno u otro concepto a la hora de demandar el producto. **No es consecuente exigir a un mortero cuya proporción de mezcla preestablecemos que alcance una determinada resistencia.**

Morteros según método de fabricación

La tecnología de fabricación de los morteros y su llegada a obra ha evolucionado y se ha diversificado considerablemente en los últimos años. Desde los tradicionales morteros in situ a los actuales morteros industriales suministrados desde fábrica, se establece otra clasificación según su forma de fabricación.

En este sentido la **Norma UNE-EN-998-2** distingue tres grandes grupos:

Morteros hechos "*in situ*": estos morteros están compuestos por los componentes primarios, dosificados, mezclados y amasados con agua en la obra.

Morteros industriales semiterminados:
Dentro de este grupo existen los morteros predosificados y los morteros premezclados de cal y arena.

- Morteros predosificados: son aquéllos cuyos componentes básicos (conglomerante o conglomerantes y áridos) dosificados independientemente en una fábrica, se suministran al lugar de su utilización, donde se mezclan en las proporciones y condiciones especificadas por el fabricante y se amasan con el agua precisa hasta obtener una mezcla homogénea para su utilización. Estos morteros pueden tener aditivos y/o adiciones en sus correspondientes compartimentos.
Los componentes básicos de estos morteros se presentan -por regla general- en un silo que tiene un compartimento para cada material (conglomerante o conglomerantes, por una parte, y áridos, por otra); de aquí que estos morteros también se conozcan como "morteros de dos componentes".

- Morteros premezclados de cal y arena: son aquellos cuyos componentes se han dosificado y mezclado en fábrica para su posterior suministro al lugar de construcción, donde se les puede añadir otro u otros componentes especificados o suministrados por el fabricante (por ejemplo, cemento). Se mezclan en las proporciones y condiciones especificadas por el fabricante y se amasan con el agua precisa hasta obtener una mezcla homogénea para su utilización.

Morteros industriales: son aquéllos que se han dosificado, mezclado y, en su caso, amasado con agua en una fábrica y suministrado al lugar de construcción.

Estos morteros pueden ser "morteros secos" o "morteros húmedos".

- Morteros húmedos: son mezclas ponderales de sus componentes primarios (conglomerante o conglomerantes, áridos y aditivos). Además pueden tener adiciones en proporciones adecuadas. Se amasan en una fábrica con el agua necesaria hasta conseguir una mezcla homogénea para su utilización. Los morteros húmedos precisan añadir retardadores para prolongar su trabajabilidad.

- Morteros secos: son mezclas ponderales de sus componentes primarios (conglomerante o conglomerantes y áridos secos). Además pueden tener aditivos y/o adiciones en proporciones adecuadas preparadas en una fábrica. Se suministran en silos o en sacos y se amasan en la obra, con el agua precisa, hasta obtener una mezcla homogénea para su utilización.

Actualmente los morteros secos industriales han desarrollado una alta tecnología que permite satisfacer las exigencias del proyectista y constructor tanto en puesta en obra como en sus requerimientos constructivos bajo una alta fiabilidad. Son los morteros con mayor carga tecnológica, enfocada a lograr la garantía de calidad que requiere su utilización. Por su importancia veamos en detalle esta última tipología.

Fabricación de mortero "*in situ*", https://www.maquituls.es

Morteros secos

Una ventaja significativa de los morteros secos consiste en que por su forma de suministrarse –silos o sacos– se protege perfectamente el contenido a mezclar. El mortero que se fabrica es el que realmente va a ser consumido, de modo que no se desaprovecha ninguna cantidad. El mortero no precisa, por tanto, retardantes que demoren el fraguado hasta que vaya a ser utilizado evitando su sobreaditivación.

Mortero seco en silos

El sistema de morteros secos en silos o a granel ha cobrado un auge exponencial desde su desarrollo industrial en nuestro país la década pasada. La excelente respuesta del producto, la estructura de servicio añadida y la garantía de un elevado estándar de calidad, no alcanzable desde un proceso de fabricación en obra o por otros sistemas, son algunos de los factores claves que han catapultado a la primera línea de consumo a los morteros secos.
El procedimiento seguido por este sistema es altamente sencillo, limpio y racional en los consumos. El fabricante aporta uno o más silos con su logística de aplicación y el tipo exacto de mortero definido por el prescriptor, de acuerdo con unos exhaustivos procesos y controles diseñados en la planta de fabricación. El contenido de los silos puede reponerse mediante el suministro de mortero seco transportado en camiones cisterna. En la obra sólo es necesario aportar el agua indicada para amasar la mezcla. Se evitan así tiempos de mano de obra dedicados a:

- acopio de ingredientes.
- dosificación.
- amasado, etc.

Silo de mortero, https://daswellmaquinaria.pe

Mortero seco ensacado

El otro canal de distribución de morteros secos es vía ensacado. Podemos encontrar desde los morteros más convencionales para albañilería, normalmente clasificados en función de su resistencia y color (blanco, gris, pigmentados), hasta morteros especiales para aplicaciones.

Se diversifican aquí, desde morteros para proyectar como revestimientos, morteros cola, morteros de restauración, morteros de impermeabilización, morteros de reparación estructural (tixotrópicos), morteros autonivelantes, morteros monocapa, etc.

Sacos de mortero, https://caosa.com.mx.pe

La alta gama de soluciones existente responde al elevado grado de investigación y experiencia del sector, permitiendo encontrar siempre la solución más idónea para el proyectista.

Además, como morteros preparados en factorías gozan de la garantía y control de calidad alcanzables solamente mediante un proceso industrial.

Su puesta en obra es muy sencilla al evitar cualquier dosificación o selección de componentes en obra. Basta con su amasado manual o mecánico con amasadoras siguiendo las instrucciones del suministrador.

Componentes, características y normativa

Conglomerantes

Entendemos por conglomerante, un material capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por efecto de transformaciones químicas en su masa, que origina nuevos compuestos.

Los conglomerantes utilizados en la fabricación de morteros son productos artificiales de naturaleza inorgánica y mineral. Se obtienen a partir de materias primas naturales y, en su caso, de subproductos industriales. Se distinguen dos tipos:

Cal viva, https://www.jardineriaon.com

CALES

Las cales utilizadas en los morteros pueden ser aéreas o hidráulicas. Sus especificaciones están contempladas en la Norma UNE-EN 459-1.

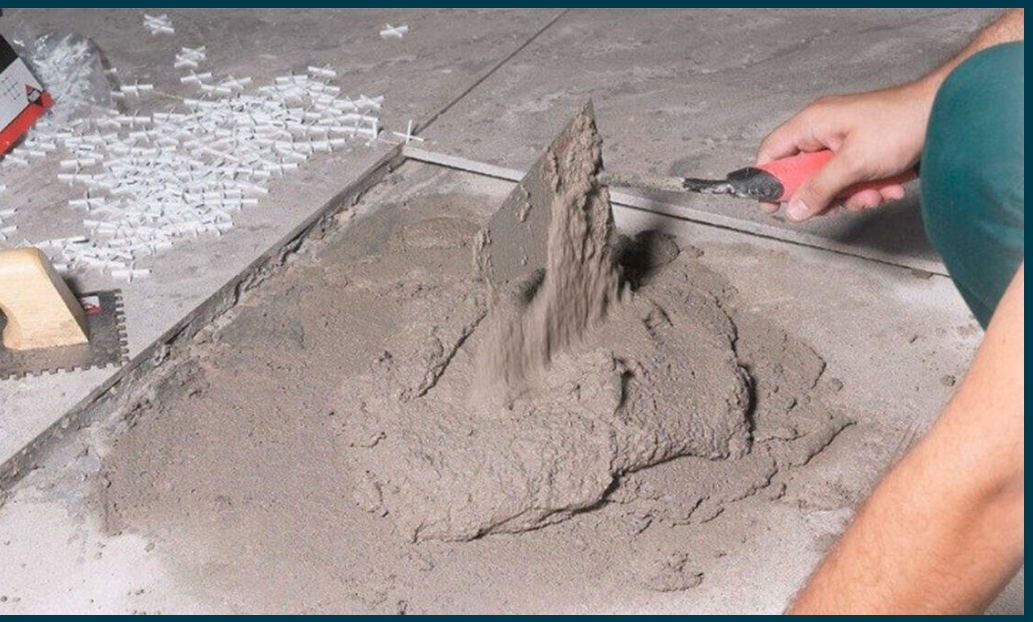
Cal Aérea
Las cales aéreas hidratadas (apagadas) endurecen únicamente con el aire. Esta cal, amasada con agua y expuesta a la acción del aire, primero fragua por cristalización del hidróxido cálcico y luego endurece al carbonatarse los cristales por acción del CO_2 atmosférico. El proceso es lento y el producto resultante poco resistente a la acción del agua.

Cal Hidráulica
Las cales hidráulicas, amasadas con agua forman pastas que fraguan y endurecen a causa de las reacciones de hidrólisis e hidratación de sus constituyentes. El proceso es más rápido que en el caso de la cal aérea y da lugar a productos hidratados, mecánicamente resistentes y estables, tanto al aire como bajo el agua. En general, la cal se usa para mejorar la plasticidad del mortero y aclarar su color.

CEMENTOS

Son los conglomerantes hidráulicos más empleados en la construcción debido a estar formados, básicamente, por mezclas de caliza, arcilla y yeso que son materiales muy abundantes en la naturaleza. Su precio es relativamente bajo en comparación con otros materiales y tienen unas propiedades muy adecuadas para las especificaciones que deben alcanzar.

En los morteros mixtos se utiliza además la mezcla con cal. Las características de los cementos vienen reguladas por la instrucción de Recepción de Cementos RC-97 (en proyecto RC-03). Se distinguen cementos comunes (CEM), blancos (BL), resistentes a sulfatos (SR) y/o al agua del mar (MR). La selección y clasificación de los cementos se realiza en función de la aplicación del mortero, si bien las mejores prestaciones y fiabilidad se obtienen en los morteros industriales frente a los elaborados *in situ*.



Mezcla de cemento, https://www.rubi.com

ÁRIDOS

Los áridos que forman parte de morteros son materiales granulares inorgánicos de tamaño variable. Su naturaleza se define como inerte ya que por sí solos no deben actuar químicamente frente a los componentes del cemento o frente a agentes externos (aire, agua, hielo, etc.). Sin embargo, sí influyen de forma determinante en las propiedades físicas del mortero, al unirse a un conglomerante. En general, no son aceptables áridos que contengan sulfuros oxidables, silicatos inestables o componentes de hierro igualmente inestables.

Según su procedencia y método de obtención, los áridos pueden clasificarse en:

Áridos naturales
Son los procedentes de yacimientos minerales obtenidos sólo por procedimientos mecánicos. Están constituidos por dos grandes grupos:

- **Áridos granulares**
  Se obtienen básicamente de graveras que explotan depósitos granulares. Estos áridos se usan después de haber sufrido un lavado y clasificación. Tienen forma redondeada, con superficies lisas y sin aristas, y se les denomina “áridos rodados”. Son principalmente áridos de naturaleza silícea.

- **Áridos de machaqueo**
  Se producen en canteras tras arrancar los materiales de los macizos rocosos y someterlos posteriormente a trituración, molienda y clasificación. Presentan superficies rugosas y aristas vivas. Son principalmente áridos de naturaleza caliza, aunque también pueden ser de naturaleza silícea.

Áridos granulares,
https://www.romainfraestructures.com

Áridos de machaqueo,
https://imecosa.com

Áridos artificiales

Están constituidos por subproductos o residuos de procesos industriales, resultantes de un proceso que comprende una modificación térmica u otras. Son las escorias siderúrgicas, cenizas volantes de la combustión del carbón, fílleres, etc.

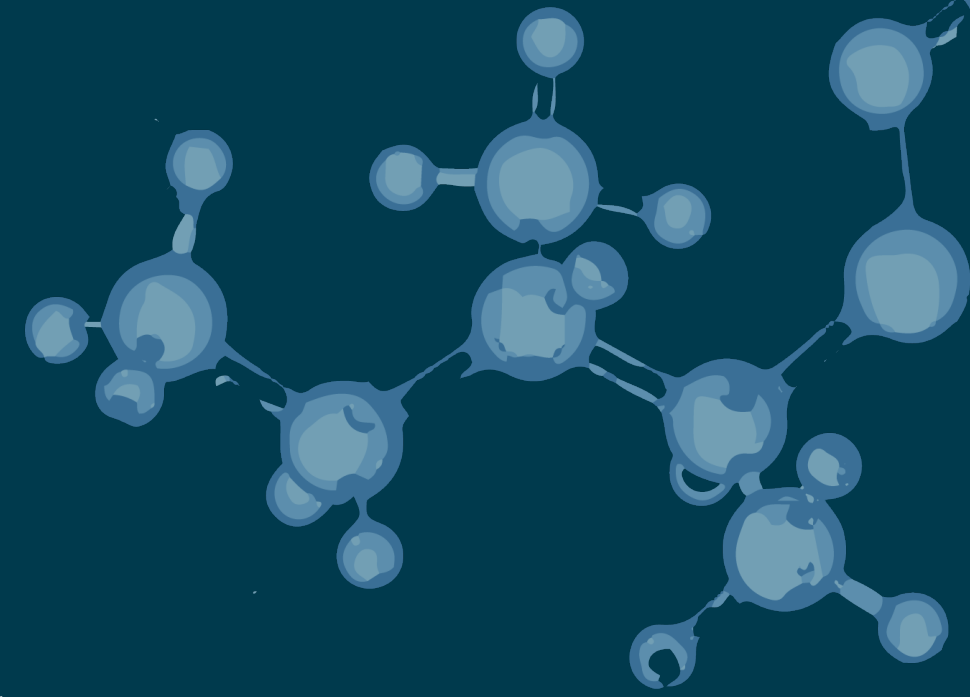
Áridos artificiales, https://runesanoia.com

Áridos reciclados

Resultan de un tratamiento del material inorgánico que se ha utilizado previamente en la construcción, por ejemplo, los procedentes del derribo de edificaciones, estructuras de firmes, etc.

Aunque las arenas no toman parte activa en el fraguado y endurecimiento del mortero, desempeñan un papel técnico muy importante en las características de este material, porque conforman la mayor parte del volumen total del mortero. Por ello, podríamos decir que la arena es la esencia del mortero. De ahí la importancia de conocer algunas de sus características tanto físicas como químicas.

Áridos reciclados, https://hormigonaldia.ich.cl



ADITIVOS

Son sustancias o materiales añadidos, antes o durante la mezcla del mortero, en pequeñas cantidades con relación a la masa del cemento (su proporción no supera el 5% en masa del contenido de cemento). Su función es aportar a las propiedades del mortero, tanto en estado fresco como endurecido, determinadas modificaciones bien definidas y con carácter permanente.
Los aditivos aptos para morteros deben cumplir las exigencias prescritas en la **Norma UNE-EN 934 y en el prEN 934-3**.

Estos componentes pueden producir una única modificación en las características del mortero (Función principal); o bien, además, modificaciones adicionales (Función secundaria). Los aditivos más comunes se clasifican según las propiedades que confieren:

- Aireantes: modificadores del contenido en aire.
- Plastificante: modificadores de la reología en estado fresco.
- Retardantes: Modificadores del tiempo de fraguado y/o endurecimiento (Retardadores del fraguado).
- Hidrofugantes
- Retenedores de agua
- Resinas

Para que la función de todos estos aditivos sea realmente eficaz y para evitar efectos no deseados, es imprescindible asegurar cuantitativa y cualitativamente una adecuada mezcla de todos los componentes.

ADICIONES

Las adiciones son materiales inorgánicos que finamente divididos se pueden utilizar en la fabricación de morteros con el fin de mejorar ciertas propiedades o conseguir propiedades especiales. Son preferentemente materiales inorgánicos tales como: pigmentos, filleres minerales, puzolánicos, cenizas volantes, escorias, de sílice, etc.

Los **colorantes** son **pigmentos**, que añadidos a la mezcla del mortero en el momento de su fabricación, tienen por finalidad dar al mismo una coloración distinta a la gris o blanca que normalmente presenta, de acuerdo con unos requerimientos estéticos.

Los pigmentos empleados deben presentar gran estabilidad frente al paso del tiempo, variaciones térmicas y radiación solar.

El efecto de los pigmentos es diferente en el mortero fresco que en el endurecido. Generalmente, en este último, los tonos se aclaran por lo que es conveniente realizar pruebas previas cuando se quieran conseguir tonalidades de color determinadas.

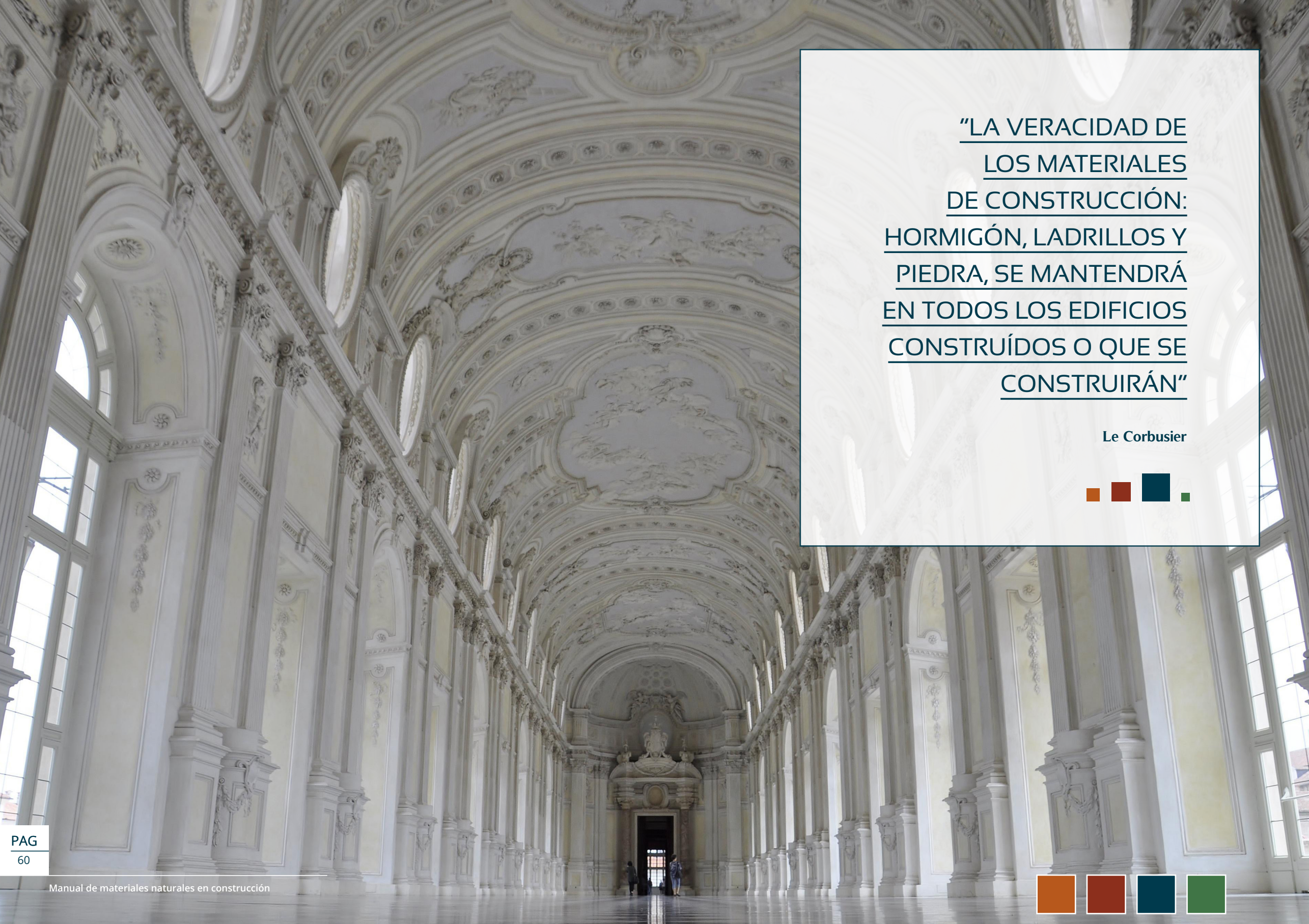
Otro destacado material entre las adiciones son las **cenizas volantes**. Su empleo, ya sea al incorporar las cenizas en suspensión directamente en el seno de la mezcla, modifica alguna de las características más importantes de los morteros. Se registra una mejora entre las prestaciones que son frecuentemente exigidas tales como: la trabajabilidad, la resistencia, la retracción de fraguado, el calor de hidratación, la impermeabilidad, la durabilidad y la reacción álcali-árido.

LAS ADICIONES SON MATERIALES INORGÁNICOS QUE FINAMENTE DIVIDIDOS SE PUEDEN UTILIZAR EN LA FABRICACIÓN DE MORTEROS CON EL FIN DE MEJORAR CIERTAS PROPIEDADES O CONSEGUIR PROPIEDADES ESPECIALES

AGUA

El agua utilizada, tanto en el amasado como durante el curado en obra, debe ser de naturaleza inocua. No contendrá ningún agente en cantidades que alteren las propiedades del mortero, tales como sulfatos, cloruros, etc. De lo contrario pueden derivarse, por ejemplo, eflorescencias si el contenido en sales solubles es elevado. O bien, en el caso de morteros armados, se cuidará especialmente que no porte sustancias que produzcan la corrosión de los aceros.

En general, se pueden emplear todas aquellas aguas cuya experiencia práctica se haya contrastado favorablemente. En otros casos es necesario proceder a su análisis.



"LA VERACIDAD DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN: HORMIGÓN, LADRILLOS Y PIEDRA, SE MANTENDRÁ EN TODOS LOS EDIFICIOS CONSTRUÍDOS O QUE SE CONSTRUIRÁN"

Le Corbusier

Morteros de revestimiento

Introducción

Por el término revestimiento se entiende el material de construcción que se aplica o sitúa sobre la superficie externa de otro elemento o sistema constructivo, con el fin de cubrirlo por razones funcionales o simplemente estéticas. Es precisamente dentro del ámbito de los revestimientos donde los morteros encuentran uno de los usos comúnmente más extendidos.

Tradicionalmente dos funciones primordiales caracterizan desde los orígenes constructivos la utilización de estos revestimientos: la protección de la fachada de los agentes externos; y su acabado de acuerdo a su textura, color, despiece, etc.

Aunque los revestimientos de mortero constituyen un sistema tradicional profundamente elaborado a lo largo de siglos, gozan de un gran auge en la construcción actual. Suman a su elección final del acabado de las obras de nueva planta, el creciente desarrollo de las obras de rehabilitación y, en particular, de restauración de fachadas.

La denominación de los tipos de revestimiento de mortero es muy extensa y heterogénea. Puede atender: a los componentes del mortero; a su posición respecto al soporte; a la textura o relieve de su superficie; a la terminología local, etc.

Se habla con frecuencia de enfoscados, enlucidos, guarnecidos, revocos o revoques, etc. sin ser aceptada una frontera precisa entre estas acepciones y variable según la tradición local. La Norma de referencia de estos materiales UNE EN 998-1:2004 Morteros para albañilería: Morteros para revoco exterior y enlucido interior, no aclara este aspecto, opta por asociar los términos revoco y enlucido a la posición relativa del revestimiento [1].

Con todo, esta norma supone una profunda revisión y marca la transición hacia los nuevos morteros de revestimiento: introduce un sistema de designaciones novedoso y eleva unas exigencias más consecuentes con la función de estos materiales.

[1] https://www.une.org/

Propiedades

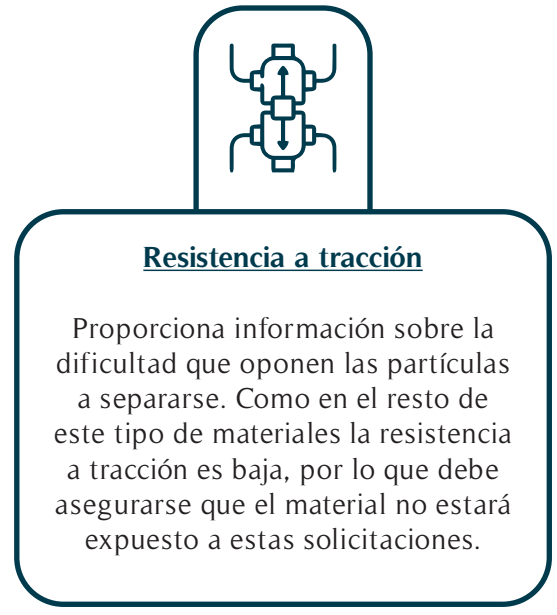
RESISTENCIA

Las resistencias mecánicas de los morteros destinados a revestimiento deben atender fundamentalmente en su respuesta a las tensiones provocadas por pequeños movimientos diferenciales del soporte, tensiones generadas por cambios ambientales e impactos o agresiones externas.

Distinguimos dos tipos de resistencias relacionadas con las solicitaciones que deberá de soportar el mortero: **compresión y tracción**.

Resistencia a compresión

Proporciona una idea de la cohesión interna del mortero.
Indica, así, su capacidad de soportar presiones sin disgregarse. La cohesión también se relaciona con el grado de estanqueidad que será capaz de alcanzar una vez dispuesto.



Resistencia a tracción

Proporciona información sobre la dificultad que oponen las partículas a separarse. Como en el resto de este tipo de materiales la resistencia a tracción es baja, por lo que debe asegurarse que el material no estará expuesto a estas solicitaciones.

Estas resistencias mecánicas de los morteros de revestimiento no deben ser superiores a la de los soportes. El mortero debe ser lo suficientemente flexible para acompañar leves movimientos del soporte por causas térmicas o estructurales. Una excesiva rigidez provocaría la aparición de fisuras o agrietamientos.

Ensayo de resistencia a flexión y compresión de morteros, INTROMAC

La clasificación nos viene reflejada en la Tabla 1 de la **Norma EN-998-1:2003** siguiente, en la que se muestran los diferentes criterios de designación de los morteros de revestimiento. Se establecen cuatro grupos diferenciados por intervalos de resistencia:

	Categorías	Valores
Intervalo de resistencia a compresión	CSI	0,4 a 2,5 N/mm²
	CSII	1,5 a 5,0 N/mm²
	CSIII	3,5 a 7,5 N/mm²
	CSIV	6 N/mm²

Categorías de resistencia para mortero de revoco y enlucido

Los moteros de clases CS I y CS II, se destinan a uso interior. Son morteros menos cohesionados, no adecuados para soportar cambios ambientales bruscos o extremos.

Los morteros de clase III y clase IV, son aptos para el uso exterior. Su dosificación rica en conglomerante facilita una masa mejor cohesionada y mayor respuesta a cambios ambientales.

ADHERENCIA

La adherencia es la capacidad del mortero de absorber tensiones normales o tangenciales a la superficie del soporte. Es, posiblemente, la principal propiedad que se debe exigir al mortero de enfoscado-revoco pues de ella depende la estabilidad del recubrimiento. Una adherencia correcta impedirá que el mortero se despegue del soporte como consecuencia de sus variaciones dimensionales. Dichas variaciones son consecuencia de la acción de los agentes externos a que se encuentran sometidos (lluvia, hielo, frío-calor, etc.) y que dan lugar a contracciones, dilataciones y movimientos del soporte. Igualmente deberá soportar los esfuerzos mecánicos y tensionales entre revestimiento y soporte.

LA ADHERENCIA ES UNA PROPIEDAD TANTO DEL MORTERO FRESCO COMO DEL ENDURECIDO:

Adherencia mortero fresco

Se basa en las propiedades reológicas de la pasta de cemento.

Para comprobarlo basta con aplicar una capa de mortero entre dos piezas a unir y separarlas al cabo de unos minutos. Una buena adherencia del mortero se manifiesta al permanecer adherida pasta del mismo a la superficie de las dos piezas una vez separadas.

Adherencia mortero endurecido

En el mortero endurecido la adherencia depende fundamentalmente de la naturaleza de la superficie del soporte, de su porosidad y rugosidad, así como de la granulometría de la arena empleada.

Cuando se coloca mortero fresco sobre la superficie del soporte, parte del agua de amasado es absorbida por el mismo penetrando en su interior a través de sus poros. El fraguado del mortero ocasiona procesos físico-químicos en su interior, responsables del fenómeno de anclaje con el soporte

Propiedades del soporte — Compatibilidad

Los soportes deberán de reunir una serie de características que permitan la perfecta adherencia con el mortero así como la durabilidad de dicha unión.

Química
No deberá reaccionar con ningún componente del mortero como ocurriría si soporte incluyese yeso que podría reaccionar con el cemento.

Mecánica
La resistencia del mortero y su coeficiente de dilatación no deben ser nunca superiores a los del soporte, especialmente si éste es antiguo, para evitar fenómenos de fisuración

Estabilidad
Evitando que se degraden o deformen. Un suficiente curado garantizará que hayan experimentado la mayor parte de las retracciones. Se debe esperar el tiempo necesario para conseguir esta estabilidad del soporte

Limpieza
Para evitar la falta de contacto con el mortero, debida a la existencia en la superficie. Es imprescindible la limpieza previa de la superficie ya sea por cepillado o empleando chorros de arena o agua a presión

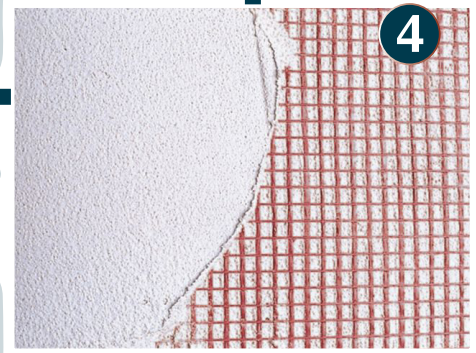
Rugosidad
Suficiente para facilitar la adherencia del mortero fresco permitiendo el anclaje del mismo.
Si fuese necesario se recurriría al picado de la superficie con cuidado de no aumentare las diferencias de relieve; o bien colocar mallas ancladas

Planicidad
Los desniveles no deben superar 3 mm con regla de 1 m en morteros de revoco maestreados ni 5 mm sin maestrear. En caso contrario se podría aplicar una capa de mortero de regulación antes del enfoscado

Porosidad
Si el soporte es poco poroso debe valorarse disponer un puente de adherencia que permita una buena adhesión del mortero

Absorción
Absorción de agua limitada para que no se produzca una desecación prematura de la pasta que podría originar fenómenos de afogaramiento

Humedad
Cierto grado de humedad por lo que, de ser necesario, se deberá mojar previamente y esperar a que deje de estar saturado antes de aplicar el mortero



Ejemplo de aplicación de mortero sobre superficies dañadas. Los pasos en este caso serían los siguientes: 1) limpieza del mortero dañado, 2) retirada de elementos sueltos, 3) relleno de coqueras, 4) mortero de regularización, 5) malla de sujeción, 6) mortero de terminación, https://www.es.weber

ESTANQUEIDAD

Una de las funciones principales de un revoco-enlucido es evitar la penetración del agua de lluvia hasta el interior. La elección de los materiales para la ejecución de la fábrica, la toma en consideración de elementos arquitectónicos para la protección de la capa de revoco enlucido y la adecuada composición de los morteros utilizados en los revestimientos, han permitido a los muros soportar las agresiones de los agentes externos mejorando el acabado del revoco-enlucido. Se evita, así, el deterioro posterior de los materiales que conforman el interior.

Con respecto a la elección del mortero para paliar los efectos derivados del agua, la **Norma UNE-EN 998-1:2003** clasifica, de acuerdo a tres intervalos, la permeabilidad al agua según la siguiente tabla:

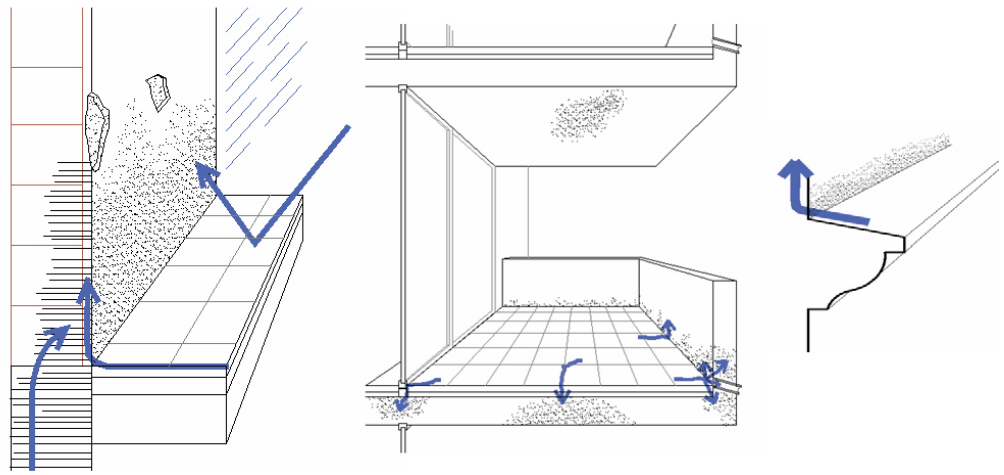
	Categorías	Valores
Absorción de agua por capilaridad	W0	No especificado
	W1	C≤ 0,40 kg/m² · min 0,5
	W2	C≤ 0,20 kg/m² · min 0,5

Al mismo tiempo, un buen nivel de permeabilidad al vapor, permite la salida de agua del interior de la estructura al exterior en forma de vapor, para evitar acumulaciones internas por condensación con la consiguiente aparición de manchas por causas higrotérmicas. Esta característica se tratará con más detalle en el apartado relativo a humedades.

El agua tiende a penetrar por capilaridad en un muro, recubierto o no, sometido a lluvia prolongada o en zona de alta condensación de humedad. La mayor o menor permeabilidad depende de la porosidad de los materiales (ladrillo, bloque, mortero, etc.), y el tipo de ejecución.

La resistencia a la absorción de agua por capilaridad (resistencia a la penetración del agua) de revocos-enlucidos, aumenta de manera importante con el empleo de aditivos hidrofugantes.

Estos repelen el agua, al conformar una barrera por fuerzas de repulsión, entre la parte hidrófoba del aditivo hidrofugrante y el agua. La parte hidrófoba del aditivo impedirá mediante repulsión química el avance de entrada del agua líquida desde exterior al interior del cerramiento.



Humedades por capilaridad, https://www.arrevol.com

Para **mejorar la estanqueidad** existen diferentes recomendaciones:

- **Diseñar y construir**, de forma que se mantenga lo más seca posible durante la construcción y después, disponer elementos o detalles arquitectónicos, para evitar el contacto directo continuado del revoco-enlucido con el agua, como en el caso de desagües.

- **Aplicar capas bien compactadas** de revoco-enlucido, con el objeto de reducir la red capilar interna.

- En caso de **aplicaciones en varias capas** (caso de los morteros puros de cal hidratada), es muy importante humedecer la capa anterior para evitar la aparición de fisuras por retracción (falta de agua para un correcto fraguado del mortero) y que las capas hayan sido bien compactadas.

- **Utilizar morteros puros de cal hidratada o mixtos**. La cal hidratada se carbonatará por reacción con el anhídrido carbónico gaseoso existente en nuestra atmósfera, transformándose en carbonato cálcico, que también actuará como barrera de protección.

- **Asegurar una suficiente retención de agua**. Entre otros aditivos retenedores de agua, el hidróxido cálcico, evitará un secado en exceso de la masa de mortero fresco, de forma que todo el cemento presente pueda fraguar. Las causas de un excesivo secado del revoco-enlucido fresco aplicado, se pueden deber a un alto grado de succión de los elementos de albañilería, o por motivo de altas temperaturas, o un alto nivel de aireación.

  Por tanto, una buena retención de agua, redundará en un óptimo nivel de plasticidad que posibilitará una buena adherencia, de forma que se reduzca el número de microfisuras en el interior de la estructura, además de alcanzar la resistencia esperada.

- **Sellar**, en caso de que se produzcan, **fisuras y sobre todo grietas**, en la superficie del revoco-enlucido para impedir la entrada de agua.

Los morteros hidrófugos, monocapas o no, son aquellos que tienen mejorada considerablemente la impermeabilidad al agua. Los aditivos de la familia de los hidrofugantes colmatan los capilares (hidrófugo en masa) y actúan en superficie del mortero dando lugar a un mortero repelente al agua y/o menos humedecible. Los morteros hidrofugados no son morteros impermeables (para ello hay que recurrir a imprimaciones especiales), sino que su capacidad de absorción frente al agua a baja presión (agua de lluvia) es sustancialmente menor que un mortero de cemento fabricado sin aditivo.

Es necesaria una dosificación muy precisa y controlada en la elaboración del mortero o acudir a una mezcla ya preparada, como es el caso de los morteros mixtos secos industriales con propiedad hidrofugante.

El aspecto más relevante, relativo a la estanqueidad, en relación con la puesta en obra del mortero, radica en la buena ejecución del revoco o enfoscado, con una cuidada compactación para facilitar la adherencia al soporte y evitar futuros problemas de humedades.

Aplicación de monocapa, https://realider.es

DURABILIDAD

Para prever el adecuado comportamiento de los morteros de revocos y enlucidos en una determinada clase de exposición debe conocerse el tipo de agresión que han de soportar durante la vida útil prevista y elegir el mortero adecuado para resistirla.

En general la elección del mortero de revocos y enlucidos se basa en la experiencia de otros morteros de características conocidas que se han comportado correctamente frente a los agresivos a considerar. Ayuda también en la elección el conocimiento del mecanismo por el que se produce la agresión, tema esbozado en estos apartados.

De entre las agresiones que afectan a la durabilidad del mortero de albañilería por ataques físico-químicos se han considerado aquí someramente las debidas a: ciclos hielo-deshielo, iones sulfato, iones cloruro y dióxido de carbono.

El mecanismo de la agresión en el primer caso consiste en los cambios de estado físicos que experimenta el agua con los cambios de temperatura y los consiguientes cambios de volumen, que tienen efectos perjudiciales sobre el mortero.

Las otras agresiones se producen por difusión del agresivo en el mortero. En el caso de los iones sulfato se produce además una reacción química expansiva. No así en los dos casos restantes, que propician la corrosión de las armaduras.

ACCIÓN HIELO-DESHIELO

La acción del frío en un mortero durante las primeras horas de su colocación es la de retardar o incluso anular su endurecimiento al disminuir la velocidad de hidratación del cemento o, incluso, destruir la incipiente red cristalina producida durante la hidratación, si el agua de amasado llega al punto de congelación.

La acción destructiva de estos ciclos se debe al aumento de volumen que sufre el agua en estado líquido contenida en los poros del mortero al pasar al estado sólido cuando desciende la temperatura. El agua en estado líquido puede provenir del agua de amasado sobrante de la hidratación del conglomerante o provenir del exterior. Al congelarse el agua el aumento de volumen que experimenta es del orden del 9% y tiende a ocupar los huecos accesibles del mortero endurecido (poros), por lo que cuanto más saturado de agua esté el mortero con más facilidad se producirá este tipo de agresión. La facilidad con que el agua al congelarse ocupe los poros del mortero, depende de los citados poros en cuanto a su distribución (que debe ser homogénea), de sus tamaños (que deben estar comprendidos en un estrecho margen) y de su conectividad (que debe ser lo mayor posible).

El **tipo de ambiente agresivo** se clasifica de grado:

- **Despreciable**, cuando la fábrica está expuesta de modo excepcional a la acción de la humedad y a ciclos hielo-deshielo.
- **Severo** cuando hay un alto riesgo de saturación de humedad acompañado de heladas.
- **Moderado** cuando las condiciones son intermedias entre las dos anteriores.

IONES SULFATO

Estos iones pueden provenir de sales solubles en agua o de gases sulfurosos presentes en atmósferas contaminadas. Tienen la propiedad de reaccionar con el aluminato del clinker de cemento pórtland en presencia de iones calcio originando ettringita compuesto muy expansivo.

Para que se produzca esta reacción es preciso cierta concentración de aluminatos y de agua, la menor presencia de dichos compuestos previene que aquella se produzca.

En este sentido el uso de cementos bajos en aluminatos (SR según **UNE 80303**) y el evitar agua circulante en el mortero (evitar la evaporación o la acción capilar) ayudan a prevenir este tipo de agresión. En morteros cuyo conglomerante no contenga aluminatos, no se contempla la formación de ettringita.

También debe considerarse la posible expansión a que daría lugar la cristalización con gran cantidad de agua por sobresaturación en los poros del mortero de sulfatos solubles en agua (como por ejemplo el de sodio). La presión ejercida sobre las paredes del poro podría dar lugar a fisuras en el mortero.

LOS IONES SULFATO PUEDEN PROVENIR DE SALES SOLUBLES EN AGUA O DE GASES SULFUROSOS PRESENTES EN ATMÓSFERAS CONTAMINADAS

Eflorescencia, Achim Hering, CC BY-3.0

Eflorescencia, Huhu Uet, CC BY-3.0

EFLORESCENCIAS

La aparición de eflorescencias es un fenómeno muy frecuente en las obras realizadas con materiales que contengan sales solubles. Se denominan "Eflorescencias" a cristales de sales, generalmente de color blanco, que se depositan en la superficie de la obra.

Las eflorescencias se consideran como un problema de carácter puramente estético cuando aparecen en superficies destinadas a quedar vistas, como pueden ser por ejemplo, los revocos coloreados o las obras de ladrillo cara vista. El efecto y mecanismo de formación de estas eflorescencias, que se conocen desde tiempo inmemorial, comenzaron a estudiarse de forma científica a principios del siglo pasado. Existen actualmente infinidad de trabajos sobre este tema en la literatura.

El origen del fenómeno de las eflorescencias puede encontrarse no sólo en las características de los materiales constructivos, sino también en otros elementos en contacto, como el propio terreno donde se asienta la obra, que puede aumentar el contenido de las sales solubles de la misma.

Según el proceso por el que se han formado podemos considerar varios tipos de eflorescencias:

Eflorescencias alcalinas

Son las más habituales y son debidas a la cristalización de sales solubles como sulfatos o cloruros. Aparecen con mayor frecuencia en fábricas de ladrillo.

Carbonataciones o eflorescencias cálcicas

Debidas a la acción del CO_2 atmosférico sobre la cal producida durante la hidratación del clinker del cemento, que da lugar a la formación de carbonato insoluble sobre la superficie. Aparecen con más frecuencia sobre revocos y revestimientos de mortero.

Eflorescencias del árido calizo

La probabilidad de aparición de este tipo es muy baja. Con el CO_2 y en presencia de humedad se forma una sal ácida soluble que posteriormente se insolubiliza en forma de carbonato.

Factores para la formación de eflorescencias

Humedad

El agua es el medio que solubiliza y transporta las sales a través de los sistemas constructivos hacia el exterior. Esta agua puede provenir de varias fuentes:

- Amasado de los morteros o humectación de los soportes o de las unidades de la fábrica. Esta agua es imprescindible para el proceso de ejecución y para la hidratación de los ligantes. En su mayor parte queda como agua libre que será eliminada por evaporación.

- La lluvia y el viento, que al incidir en la obra pueden infiltrarse hacia el interior del muro disolviendo las sales, incluso después de fraguado el mortero.

- Agua de condensación. Si bien los muros pueden estar aislados, a veces el agua se produce por condensación intersticial dentro de los mismos.

- Tránsito capilar del agua de zonas en contacto con los materiales a través del sistema poroso de los mismos. Estas zonas son el terreno, terrazas, salientes, etc.

Sales

Son las sales las que transportadas a través de la red porosa salen a la superficie donde vuelven a cristalizar al evaporarse el agua de arrastre. Las eflorescencias puede provocarlas cualquier sal soluble en agua. El origen de estas sales es muy variado:

- Materiales cerámicos. Los mismos ladrillos, pisos y tejas pueden contener sales en función de las materias primas utilizadas en su proceso de fabricación y de las temperaturas utilizadas para su cocción. Las eflorescencias provocadas por las sales de esta procedencia son las más habituales y frecuentes.

- Suelo. El terreno puede contener sales. El contacto directo entre el terreno y el muro sumado a la humedad del suelo es otra de las causas frecuentes de eflorescencias.

- Cemento. Es el ligante principal de la mayoría de los morteros. Durante el proceso de fraguado e hidratación se liberan sales, de las cuales una determinada fracción es soluble en agua. La presencia de sulfatos, solubles o no, en los cementos Portland es necesaria como regulador del fraguado, encontrándose limitada su cantidad en la normativa armonizada de cementos.

- Arena. Las arenas de playas y las procedentes de dragados suelen contener sal, además en ocasiones, la utilización de arenas con impurezas orgánicas provoca la aparición de eflorescencias características de color pardusco. La cantidad de sales permitida en las arenas para la fabricación de morteros para revoco se encuentra limitada en la correspondiente normativa armonizada. Puesto que las eflorescencias dependen de la presencia de sales y de la humedad, el crecimiento de los cristales puede continuar mientras ambos estén presentes.

- Porosidad. Cuantitativamente, el alcance de las eflorescencias no solo depende de la proporción de las sales existentes, sino de su transmisión a través del material. Los materiales (morteros, ladrillos, etc.) muy porosos, con un alto índice de absorción, facilitarán la entrada y el arrastre de las sales catalizando su transporte hasta la superficie. Las características de la porosidad de estos materiales, como diámetro de poro, capilaridad, etc. influyen decisivamente en el paso a través de ellos de las disoluciones de sales.

- Porosidad. Cuantitativamente, el alcance de las eflorescencias no solo depende de la proporción de las sales existentes, sino de su transmisión a través del material. Los materiales (morteros, ladrillos, etc.) muy porosos, con un alto índice de absorción, facilitarán la entrada y el arrastre de las sales catalizando su transporte hasta la superficie. Las características de la porosidad de estos materiales, como diámetro de poro, capilaridad, etc. influyen decisivamente en el paso a través de ellos de las disoluciones de sales.

- Condiciones ambientales. El mayor riesgo de aparición de eflorescencias se produce con tiempo frío y húmedo. En estas condiciones la evaporación de la humedad se realiza muy lentamente, dando tiempo a su migración hasta la superficie donde se evapora, depositando los compuestos solubles que contiene, en lugar de realizarlo en el interior del material, como ocurriría en condiciones que favorecieran un secado rápido.

Para reducir en lo posible la aparición de eflorescencias, y teniendo en cuenta que no es siempre posible eliminar completamente el contenido de sales de todos los elementos a utilizar, debemos considerar el otro factor que las provoca, la humedad. Para ello se deben tomar en cuenta varias consideraciones tendentes a evitar su presencia en exceso dentro de los materiales, que van desde el diseño del propio proyecto constructivo, a las condiciones de ejecución del mismo. Algunas recomendaciones son utilizar materiales con baja absorción de agua como morteros hidrófugos, ladrillos impermeabilizados, etc.

Si aparecen eflorescencias se recomienda dejarlas secar y determinar las causas y el origen de las sales. Cuando se ha comprobado que ya no hay aporte de humedad se pueden eliminar por lavado con cualquiera de los productos comerciales existentes en el mercado para este fin, observándose exactamente las indicaciones que en él figuran respecto del método de empleo para no dañar los materiales. Siempre es conveniente después de la limpieza evitar la aparición de nuevas eflorescencias debidas al aporte de humedad por efecto de la lluvia con la aplicación de hidrofugantes superficiales.

FISURAS Y DESPRENDIMIENTOS

Fisuras

Se denomina fisura a toda apertura longitudinal que afecta sólo a la parte exterior del elemento constructivo. Por contra, grietas engloba la apertura que afecta al elemento en todo su espesor.

Todos los problemas relacionados con fisuraciones, se derivan del hecho de que los materiales se mueven. Este movimiento puede deberse a causas mecánicas, higrotérmicas o químicas. Si los materiales que trabajan juntos en un elemento constructivo tienen movimientos armónicos, o sea del mismo tipo, orden y magnitud, como reacción a las causas citadas, dicho movimiento será similar en todos ellos y no afectará su durabilidad; pero si los movimientos son inarmónicos, los materiales del mismo elemento se moverán de diferente modo y antes o después se producirá la fisura.

Podemos agrupar el origen de las fisuras en tres grandes tipos:

- Acciones mecánicas.
- Esfuerzos higrotérmicos.
- Deficiencias de proyecto o ejecución.

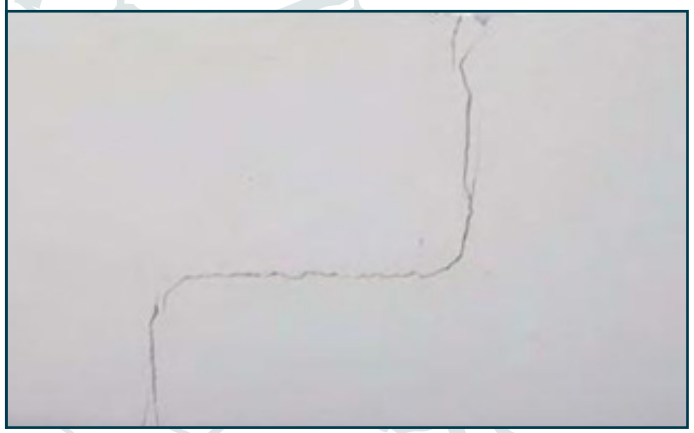
Acciones mecánicas

Consideramos aquí todos aquellos esfuerzos transmitidos al revoco desde el soporte al que está unido, que como consecuencia de sus movimientos introduce esfuerzos de tracción en el revestimiento. Estos movimientos pueden a su vez tener su origen en acciones mecánicas sobre el propio soporte o en variaciones dimensionales del mismo por cambios de humedad o temperatura.

Variaciones higrotérmicas

Afectan de una forma radical e inmediata a los revocos debido a su situación más expuesta, de ahí que ésta sea una de las causas más importantes de la aparición de las fisuras. Naturalmente, la variación dimensional por cambios de temperatura y humedad dependerá, por una parte, de los coeficientes de dilatación de los materiales que constituyen la capa de acabado y, por otra, de la situación climática, la orientación y la exposición de la fachada en cuestión.

Fisura, Morteros de revestimiento, Asociación Nacional de Fabricantes de Mortero (AFAM)



Deficiencias en el proyecto de ejecución

Constituyen el conjunto de errores de diseño y obra que introducen defectos constructivos que actúan como causas indirectas. Son normalmente problemas de aditividad, es decir, de unión excesivamente rígida entre elementos constructivos diferentes que necesitan cierta independencia de movimientos o, en general, ausencia de juntas que permitan esa libertad de movimientos.

Desprendimiento

Se denomina desprendimiento a la separación, incontrolada, de un material de acabado del soporte sobre el que está aplicado. Dicha separación puede ser sólo incipiente, manifestándose por simples fisuras o abombamiento, o definitiva, desprendiéndose el acabado parcial o totalmente hasta dejar desnudo el soporte.

Siempre están causadas por una falta de adherencia motivada por un proceso defectuoso en la ejecución del revestimiento, que haya impedido la debida penetración de la pasta o del mortero, en estado plástico antes del fraguado, por la red capilar del soporte. Esta falta de penetración se puede deber a exceso de humedad, falta de limpieza o gran compacidad en la base.

La falta de adherencia también puede deberse a un envejecimiento motivado por movimientos diferenciales cíclicos sucesivos, por variaciones de la humedad o de temperatura. Normalmente se produce en primer lugar una fisuración ramificada o en cuarteo, que progresa hasta aumentar de forma notable los labios de las fisuras, que se comban produciendo abultamientos, que terminan por desprenderse.

Desprendimientos, Fisura, Morteros de revestimiento, Asociación Nacional de Fabricantes de Mortero (AFAM)

La humedad afecta con mucha frecuencia a las construcciones y puede darse tanto porque ascienda por capilaridad por las paredes, sobre todo en las plantas inferiores, como por efecto de las condiciones climáticas, tanto en exteriores como en interiores, o incluso por averías o problemas de fontanería. Es un problema que da lugar a procesos de tipo químico, tales como manchas blancas o disgregación del material, o de tipo biológico, como por ejemplo manchas blanquecinas o negras, que pueden debilitar la estructura y producir fisuras, fracturas o desprendimientos de elementos constructivos.

HUMEDADES

La humedad afecta con mucha frecuencia a las construcciones y puede darse tanto porque ascienda por capilaridad por las paredes, sobre todo en las plantas inferiores, como por efecto de las condiciones climáticas, tanto en exteriores como en interiores, o incluso por averías o problemas de fontanería. Es un problema que da lugar a procesos de tipo químico, tales como manchas blancas o disgregación del material, o de tipo biológico, como por ejemplo manchas blanquecinas o negras, que pueden debilitar la estructura y producir fisuras, fracturas o desprendimientos de elementos constructivos.

Las humedades en las edificaciones pueden deberse a varios factores, como son:

Humedades de lluvia

Cuando la lluvia incide directamente sobre cualquier superficie se produce un ingreso de agua hacia el interior del edificio. En consecuencia, deben escogerse los materiales más adecuados al tipo de ambiente y diseñar detalles constructivos que garanticen el adecuado escurrimiento y drenaje del agua de lluvia.

Humedades de capilaridad

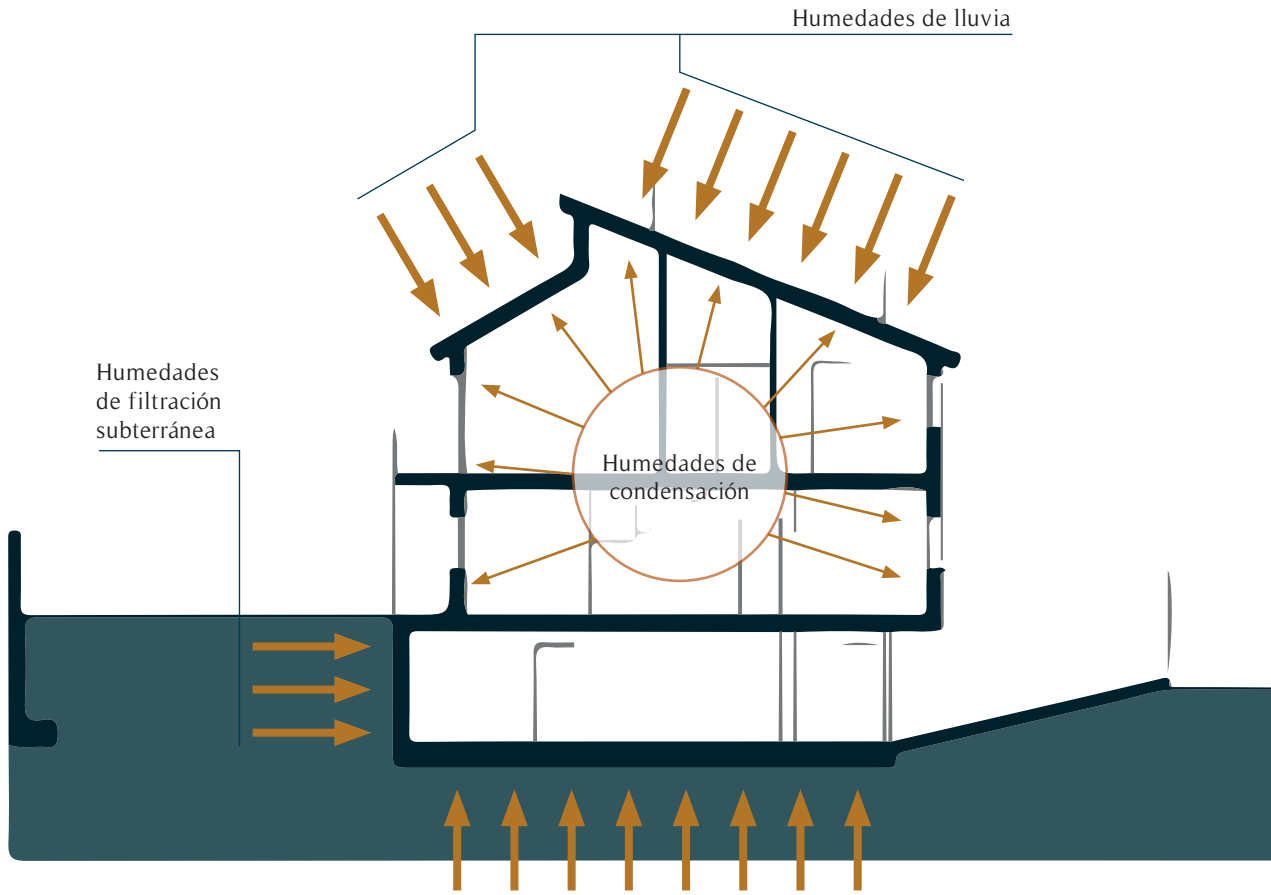
Este tipo de humedad se relaciona con el fenómeno de ascensión de fluidos, hasta alcanzar distintas alturas, cuando se sitúan en el interior de tubos de pequeño diámetro o capilares. Se diferencia de los demás tipos de humedades porque es difícil encontrarla en un solo sector o en manchones separados, ya que generalmente forma una franja oscura en la pared, cuyo borde superior es irregular y de polvo blanquecino y además crece en altura a medida que el muro es más ancho. Su aspecto es similar a la humedad producida por roturas de tuberías o por humedades en sótanos pero un análisis minucioso de la trayectoria permite identificarlo con exactitud.

Humedad de filtración subterránea

Es la humedad que se encuentra en construcciones que están bajo el nivel del terreno natural y que puede ocasionar infiltraciones o pequeñas corrientes de agua, eflorescencias de sales, manchas o despegue de revestimientos, hongos debidos a capilaridad y condensación, etc.

Humedades de condensación

El vapor de agua migra desde una de las caras de la pared, donde la temperatura es mayor, hacia la otra cara donde la temperatura es menor. Si el plano frío es el interior, se observa condensación en forma de pequeñas gotas sobre la pintura, incluso palpables, pero si el plano frío es el exterior no es visible la humedad aunque la pared quede empapada y permanezca en el interior del muro. El resultado sería la aparición de colonias de hongos, bacterias, ampollas en pinturas, etc.



Efectos de la humedad en la construcción

Existen diversos efectos sobre las construcciones, entre los que se destacan los siguientes:

Manchas negras, producidas por colonias de hongos en zonas frías de paredes y techos.

Manchas negras, https://www.salud180.com

Manchas blancas, https://montopinturas.com

Manchas blancas, producidas por las sales que contienen los materiales de construcción y que son arrastradas desde el interior de la obra hacia fuera. Estas sales, en contacto con el agua actúan de forma expansiva produciendo la desintegración del material, siempre y cuando la cantidad de agua sea suficiente como para permitir la reacción química.

Verdín. Se produce cuando una cantidad de agua permanece durante un largo período de tiempo acumulada en materiales con alta porosidad y en zonas poco expuestas al sol o poco ventiladas.

Verdín, https://neoquim.com

Despegado de piezas de revestimientos. Aparece al quedar atrapada la humedad bajo los revestimientos de las fachadas y reacciona, en el caso de los climas templados, o se congela en climas fríos. En este caso, al aumentar de volumen provocan el desprendimiento de los revestimientos.

Despegado de piezas, https://www.salud180.com

Manchas sobre las piedras, proceso que se da cuando la humedad que está en el interior de las piedras provoca reacciones químicas que expulsan sales hacia el exterior.

Manchas sobre piedras, https://radonalfa.com

Abultamientos, https://humedadcontrolada.com

Abultamientos, producidos por una cantidad importante de humedad presente en la pared. Es un ataque químico por efecto de las sales presentes en los materiales de construcción, que reaccionan con la cal y los aluminatos de calcio del cemento formando compuestos expansivos que aumentan su volumen y empujan el revestimiento que tienen encima.

Morteros de revestimiento con corcho

El sector de la construcción es responsable de importantes impactos ambientales, principalmente en términos de consumo de materias primas no renovables, emisión de gases de efecto invernadero y producción de residuos. El diseño y caracterización de materiales de construcción innovadores y ecológicos se ha convertido, por tanto, en una prioridad. Una respuesta a este desafío ambiental puede ser el uso de morteros más sostenibles y eficientes como son los morteros de revestimiento con corcho en su composición. En relación a estudios relativos a morteros con corcho en su composición destantas lsos de Panesar y Shidman (2012) Brás *et al.* (2013)

Panesar y Shidman (2012) examinaron el impacto del corcho granulado utilizado como reemplazo de arena o piedra en las propiedades plásticas, mecánicas, de transporte, microestructurales y térmicas del mortero y el hormigón estructural. Las variables del diseño de la mezcla incluyen el porcentaje de corcho granulado, el tamaño del corcho granulado y la mezcla de corcho granulado. Las variables de mezcla de mortero y hormigón examinadas incluyeron el porcentaje de corcho granulado como arena, piedra o ambos (0%, 10% y 20% en masa). Todas las mezclas de mortero se prepararon como morteros 1:2 (es decir, 1 parte de cemento por 2 partes de arena en masa) con una relación de agua a aglutinante (p / b) de 0,40. Las mezclas de concreto se diseñaron en base a un contenido de cemento de 400 kg / m^3, una relación a / b de 0,40 y un contenido de agregado grueso del 35% en volumen. Se utilizaron tanto un agente reductor de agua (WR) como un superplastificante (SP) para los diseños de mezcla de hormigón. Estos investigadores concluyeron que el porcentaje de corcho granulado utilizado como reemplazo de arena o piedra tiene un efecto más significativo en las propiedades mecánicas, microestructura y de resistencia térmica de los compuestos de hormigón-corcho que el tamaño del corcho granulado o la gradación del corcho granulado. Las propiedades de endurecimiento y la resistencia térmica de los compuestos de corcho de hormigón están controladas por la densidad del corcho granulado, que está directamente relacionada con la densidad del hormigón. La influencia de la gradación del corcho granulado en la densidad del hormigón es mínima en comparación con el porcentaje de corcho granulado. En consecuencia, no se observaron beneficios aparentes para las propiedades del hormigón cuando se utilizaron mezclas de arena o piedra sobre mezclas que solo constaban de un tamaño de corcho granulado.

Mortero con corcho realizado por UEx, https://www.unex.es

Brás *et al.* (2013) demostraron la ventaja de los morteros de corcho para revoques en comparación con los morteros de EPS. Para un mortero a base de cemento, se probaron diferentes dosis de corcho granulado (de 0% a 80%) (como reemplazo de arena por masa). La trabajabilidad disminuye a medida que aumenta la dosificación de corcho granulado en un mortero a base de cemento y es más expresiva que para los morteros de cemento-EPS. La conductividad térmica presenta una disminución lineal para una dosis creciente de corcho granulado en morteros. En cuanto al efecto sobre el retardo térmico, los morteros de corcho parecen comportarse mejor que los morteros de EPS. La absorción capilar de agua muestra una clara mejora a medida que se agrega corcho granulado hasta al menos la proporción máxima probada (80%).

Actualmente la empresa SECIL comercializa diferentes productos de morteros de revestimiento con granulado de corcho en su composición:

- RHP-ECOCORK
- SECIL ECOCORK LIME

* https://www.seciltek.com/produtos/ecocork

Tierra cruda

Descripción

La tierra, material natural, abundante y accesible, ha sido usada por el hombre desde tiempos prehistóricos, entre otras funciones, para darle cobijo. Junto con la piedra y la madera, ha sido la base de la construcción de edificios en todas las civilizaciones, con técnicas que han ido adaptándose a las necesidades, y a cada suelo y clima a lo largo del tiempo. Como manifestación cultural, es una de las más antiguas de la historia de la humanidad, y es mucho el patrimonio aún existente hoy.

EN LA ACTUALIDAD, CERCA DE UN TERCIO DE LA POBLACIÓN MUNDIAL VIVE EN CASAS DE TIERRA, PRINCIPALMENTE EN PAÍSES DE ÁFRICA, ORIENTE MEDIO Y AMÉRICA LATINA

Tomando la definición de Patrick Bardou (Bardou *et.al.*, 1979), la arquitectura con tierra es el conjunto de edificios construidos con tierra sin cocer, excluyendo la arquitectura de ladrillo (tierra cocida) y las cavidades abiertas en terrenos blandos (tierra excavada, casas cueva).

En el ámbito científico se entiende la tierra como la mezcla de arcilla, arena y limos, y puntualmente agregados mayores como gravas o piedras. La proporción de cada uno de ellos tiene una influencia directa en las propiedades físicas y mecánicas de la tierra, y según su componente principal, se habla de suelos arcillosos, limosos, arenosos o gravosos.

Es no obstante la arcilla el componente principal en la tierra empleada como material de construcción, pues por su plasticidad y cohesión actúa como conglomerante aportando la solidez y la resistencia mecánica que se requiere para soportar los esfuerzos a los que como elemento estructural se verá sometida.

Plaza de la ciudad de Chan Chan, Perú, Martin St-Amant, CC BY-SA 3.0

Desde que la Humanidad empezó a construir ciudades, hace unos 10.000 años, la tierra fue y sigue siendo un material de construcción básico con la que se han levantado urbes enteras. Los primeros vestigios de construcción en tierra datan del Neolítico (6.000-10.000 años de antigüedad) y se ubican en Mesopotamia, entre el Tigris y el Éufrates. A lo largo de la historia y hasta el siglo XX hay ejemplos singulares como la gran torre de Tak-e-kesra del siglo VI a.C. en Irak, el Chan-Chan, capital del reino Chimú, cerca de la actual Trujillo (Perú); también Tombouctou en Malí o Marrakesh en Marruecos. Otros ejemplos reseñables son el palacio del rey Minos, en Creta, construido alrededor del año 2.000 a.C.; el de los gobernantes de Santa Fe, en EEUU (1609), o la mezquita de Mopti, en Malí, un impresionante bastimento público levantado con tierra cruda en el siglo XX.

Las primeras referencias de edificaciones construidas con barro en España se deben a Plinio (siglos I y II), quien en su Historia Natural menciona que “en España se ven torres y atalayas hechas de tierra de antigüedad remotísima”. No obstante, hay pruebas de yacimientos y edificaciones en varios poblados calcolíticos de la Edad de Bronce (9.000-1.000 a.C.) probablemente con técnicas introducidas por los fenicios alrededor del siglo XII a.C. En la época romana (siglos I a V), los romanos extendieron la arquitectura con tierra por todo el Imperio, entre ellas el adobe y la tapia.

Gran mezquita de Djenné, Mali, BluesyPete, CC BY-SA 3.0

Fueron los musulmanes no obstante quienes perfeccionaron esta técnica y levantaron edificaciones singulares con tierra: castillos con tapial, y murallas en ciudades como Sevilla, Niebla, Andújar, Cáceres y Badajoz; incluso las primeras murallas de la Alhambra de Granada, que comenzaron a construirse alrededor del siglo VIII, son de tapial.

Ya en la Edad Media, durante la Reconquista esta técnica fue también usada por los cristianos para reconstruir castillos y fortalezas., como el castillo del Puig ordenado por el rey Jaume I.

Finalmente, en la época moderna esta manera de construir se traspasó como parte de la arquitectura tradicional española al ámbito civil para levantar viviendas y edificios auxiliares (cuadras, corralas, etc.) por constructores anónimos no solo en el ámbito rural, sino en las propias ciudades, hasta bien entrado el siglo XX, cuando el hormigón y el cemento pasaron a tener un papel preponderante que llega hasta nuestros días.

No obstante, desde las décadas de los 70 y 80, y especialmente desde que comienza el siglo XXI, hay un interés creciente por recuperar la construcción con tierra como una alternativa sostenible, de bajo impacto ambiental y gran capacidad expresiva. Los cada vez más numerosos proyectos de investigación y de construcción alrededor de este material, han llevado a una modernización de las técnicas tradicionales, que mediante la industrialización permiten no solo adaptarse a las necesidades constructivas actuales, sino mejorar las características intrínsecas del material, garantizando además su calidad, y acelerando los tiempos de ejecución y puesta en obra.

Muro de tapial de la Torre del Horno, Cáceres, https://enelarandel.blogspot.com

Palomar de adobe, Villarín de Campos, Zamora, https://www.turismodeobservacion.com

Alhambra de Granada, Jebulon, CCO

Ventajas e inconvenientes de la construcción con tierra

VENTAJAS

Materia prima disponible y económica
Material autóctono que refuerza su valor estético y cultural, no requiere de técnicas avanzadas ni de transporte para su extracción, evitando la explotación de otros yacimientos naturales (canteras o graveras), lo que limita su impacto y hace más barata la construcción.

Bajo impacto ambiental
No contamina; es 100% reciclable; su extracción tiene un bajo coste energético, y su fabricación también, ya que no requiere cocción; absorbe contaminantes (limpia el aire); y es saludable, ya que es inerte y facilita la reducción del uso de aire acondicionado en entornos cerrados.

Buen comportamiento bioclimático
Gracias a sus características higroscópicas es capaz de regular la humedad y la temperatura, absorbe olores y es antibacteriano, lo que mejora de manera significativa los niveles de confort interior. Por su capacidad de almacenar calor y por su inercia térmica, tiene la capacidad de generar un desfase térmico que mantiene la temperatura interior más o menos constante. Tiene un buen comportamiento frente al fuego y es un buen aislante acústico, sobre todo en lo que se refiere al ruido aéreo.

* https://www.dehesatierra.es/

INCONVENIENTES

Durabilidad
La tierra, en particular si no se estabiliza, es muy susceptible a la acción del viento y del agua; por ello especialmente en climas húmedos es fundamental protegerlos mediante aleros, recubrimientos, etc., frente a la lluvia, el viento y el hielo. En México una técnica ancestral de origen prehispánico consiste en recubrir las paredes de adobe o tapial con una mezcla de baba del nopal (conocida en otros sitios como chumbera o tunera) y cal para dotarla de capacidad impermeable. Hay un dicho popular que reza: “el muro de tierra necesita unas buenas botas y un buen paraguas”. Necesita también de un adecuado mantenimiento, ya que puede ser sensible al paso del tiempo.

Limitaciones estructurales
Debido al grosor necesario para cumplir con los requerimientos mecánicos, sobre todo a esfuerzos de flexión, tracción y torsión, hay una reducción considerable del área útil de las edificaciones. En áreas con riesgo de terremotos, el material debe ser reforzado, con bambú o acero. Además, las construcciones con tierra son vulnerables frente a inundaciones. Hay igualmente una limitación en altura por las resistencias máximas que puede ofrecer la tierra.

Falta de estandarización y de aceptación social
Las diferentes características y procedencias de las tierras empleadas dificultan su estandarización o normalización de la preparación de la tierra, y exige algunos conocimientos específicos sobre el tema, para aplicar, en su caso, los aditivos precisos. Además sigue existiendo aún el concepto extendido popularmente de que la construcción con tierra es para pobres, y cierto desprestigio tecnológico, frente a la construcción actual altamente tecnificada. Si bien, como se comentaba previamente, se ha empezado a industrializar y a prefabricar los materiales, todavía queda mucho por andar.

La tierra se agrieta cuando se seca
Debido a la evaporación del agua de la mezcla, la tierra puede agrietarse, más en mezclas húmedas (para morteros o ladrillos de tierra) que en mezclas secas (tapial). Este agrietamiento puede limitarse mediante la reducción de la arcilla y del contenido de agua, además de optimizando la granulometría y usando aditivos estabilizantes como cal, cemento, paja o fibras.

Palomar de adobe, Villarín de Campos, Zamora, https://www.turismodeobservacion.com

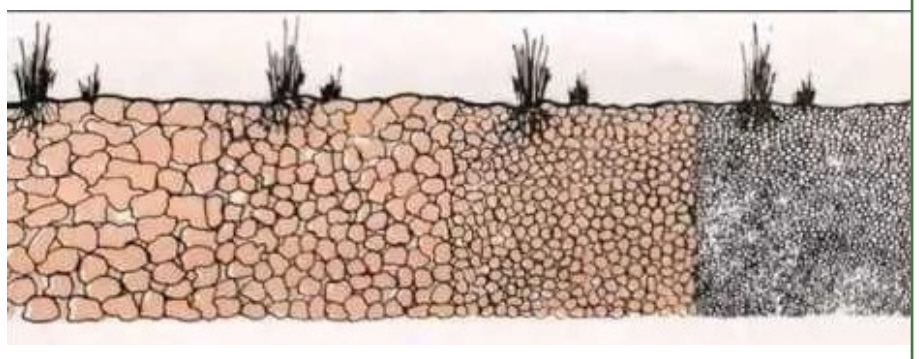
La tierra como material de construcción

No todas las tierras son adecuadas como material de construcción; por tanto, es importante seleccionar un suelo adecuado también para cada técnica constructiva.

El suelo es mezcla orgánica e inorgánica, de vida y de roca, con proporciones variables de aire y agua, con características físico-químicas muy diversas.

Una tierra adecuada debe extraerse descartando la capa de estrato fértil del suelo, libre de raíces y restos vegetales, e idealmente con unas proporciones aproximadas de 0-15% grava, 40-65% arena, 18-35% limos y 15-20% arcilla.

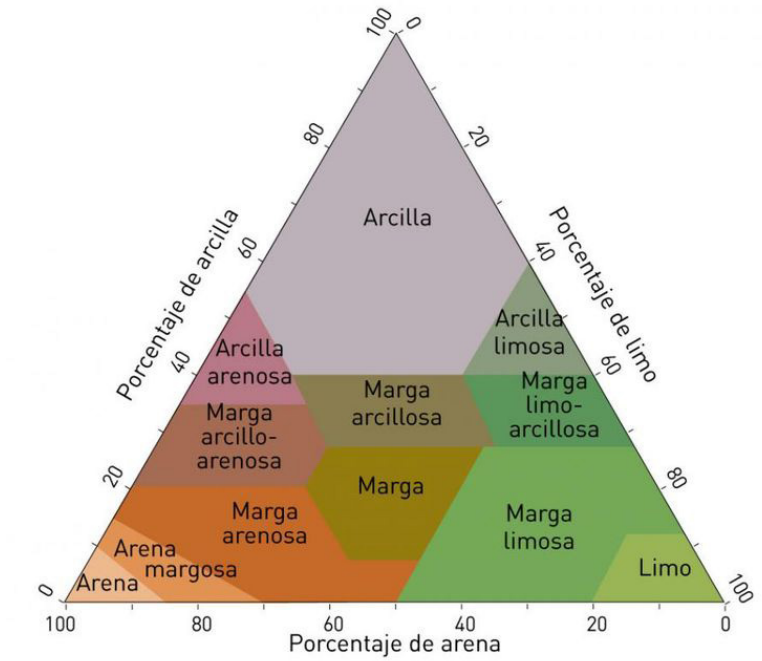
Textura del suelo, según clasificación DIN, https://elhuertodeeli.wordpress.com



GRAVA	ARENA	LIMO	ARCILLA
0-15%	40-65%	18-35%	15-20%

"MI ARQUITECTURA HA SEGUIDO LOS EJEMPLOS ANTIGUOS, LA BELLEZA PREVALECIENDO SOBRE SOBRE LAS LIMITACIONES DE LA LÓGICA CONSTRUCTIVA"

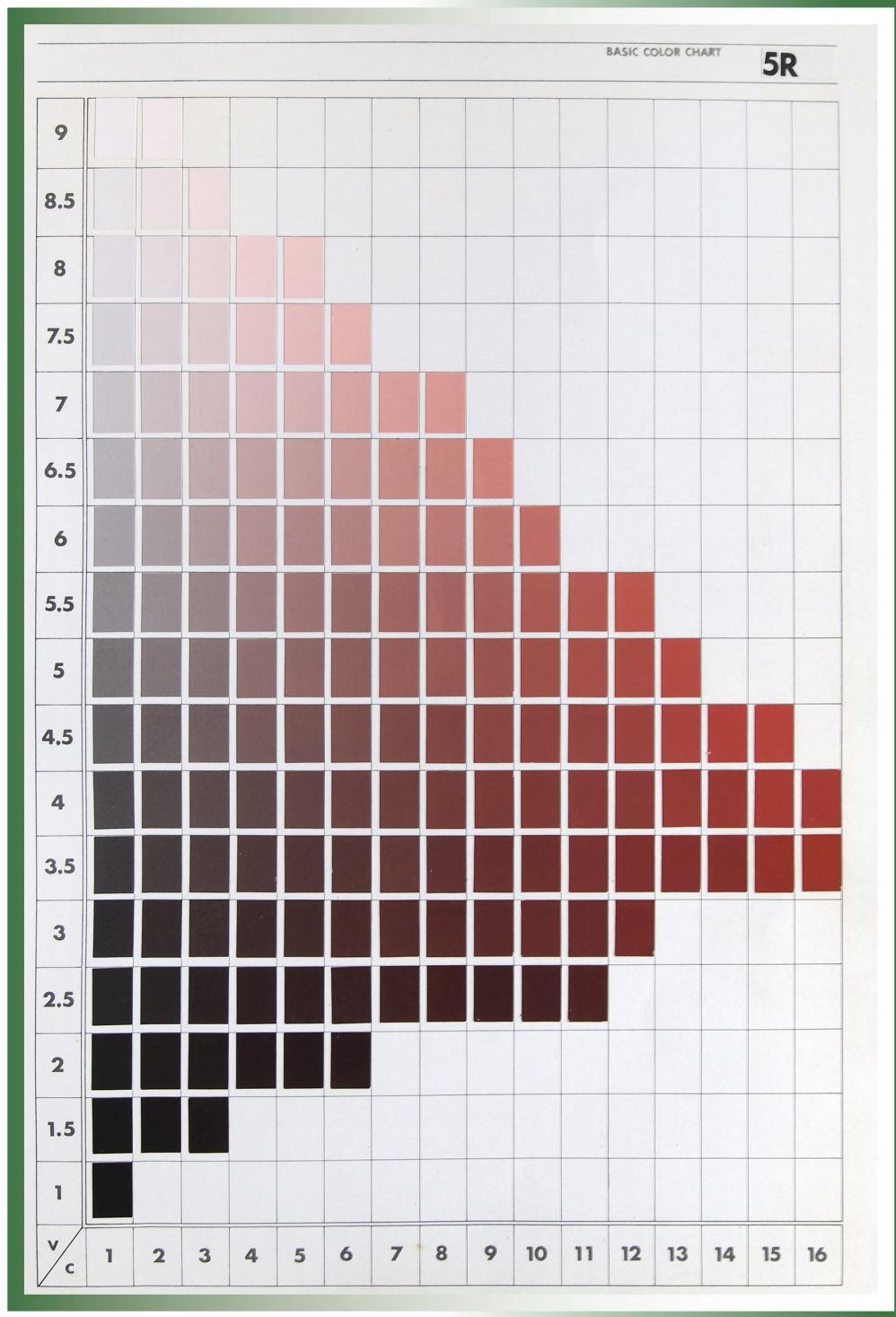
Oscar Niemeyer



Triángulo de Ferret de la composición de suelos, FAO/CUP

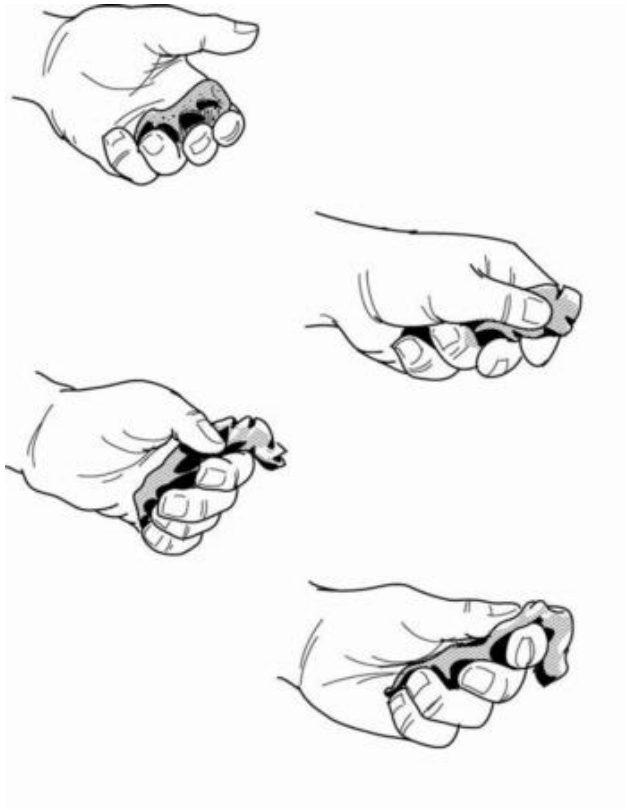
No deben utilizarse tierras con cantidades de materia orgánica (UNE 103204, 1993) y sales solubles (UNE 103205, 2006) por encima del 2% en ambos casos. Existen una serie de ensayos organolépticos iniciales de identificación, tales como el olfato (la materia orgánica cuando se calienta o se humedece desprende mal olor), gusto por ensayo de mordedura (arenosa: sensación desagradable y se mueve en la boca; arcillosa: sensación harinosa y se pega a la lengua) o tacto (al humedecerla, la tierra arenosa no tiene cohesión, mientras que la limosa es áspera con cierta cohesión, y la arcillosa es plástica y pegajosa). Un análisis visual también ayuda a identificar zonas agrietadas por retracción, que indica presencia de arcillas, o a estimar una distribución granulométrica de las partículas del suelo. Por último, a través del color y su comparación con los colores estándar de las **tablas Munsell** (Hernández Pocero, J., 2016), se pueden inferir características relacionadas con el origen geológico y la composición de los suelos.

Tabla de color Munsell, https://onlinelibrary.wiley.com

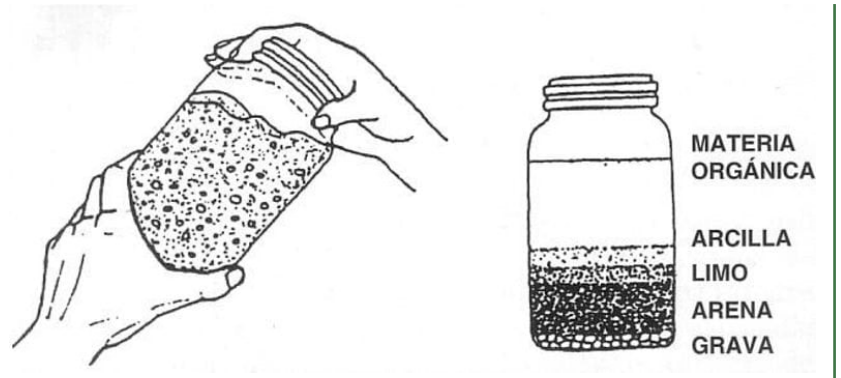


Hay ensayos simples de caracterización in situ que nos ayudan a predecir el comportamiento de la tierra para la fabricación de elementos constructivos. Entre ellos podemos mencionar: test de retracción mediante cajas de madera engrasadas o anillos; ensayo de caída de bola para estimar la humedad adecuada; ensayos de sedimentación para definir la distribución granulométrica o el test de ribbon para estimar la proporción de arcilla y cohesión de la tierra.

Obviamente, para realizar una construcción con tierra hoy día, resulta fundamental proceder adicionalmente a la realización de un buen muestreo en el sitio de la obra y a los pertinentes análisis de laboratorio mediante ensayos normalizados, tales como: ensayo Próctor (grado de compactación), ensayo de Casagrande (plasticidad), ensayo de corte directo (cohesión, rozamiento interno, ángulo de rotura), ensayo Lambe (hinchamiento, retracción) y análisis químicos para descartar elementos perjudiciales para la construcción (J.A. Jimenez Salas, J.L. DE JUSTO ALPAÑEZ, 1975).



Test ribbon, https://ucanr.edu



Test de sedimentación, https://www.igmapacheco.com

Ensayo de caída de bola, https://galicia.asfes.org

En cualquier caso, son la **granulometría** y la **plasticidad** los factores principales a tener en cuenta, y que van a definir la manera de construir, o dicho de otro modo, tenemos que acotar las propiedades de nuestra tierra para la técnica constructiva que deseamos utilizar.
Así, la granulometría tiene que ser variada para dejar los menos huecos posibles. La mezcla tiene que ser cohesiva, compacta y estable frente a los cambios de la humedad, y durable frente a la acción de los agentes atmosféricos.

Ejemplos

Tapial
Requiere de una proporción muy equilibrada de gravas, arenas, limos y arcillas para lograr una buena compactación.

Adobe
No requiere de grava, lo que facilita la mezcla, pero sí de la cantidad adecuada de arena para que no haya fisuración al secarse la masa plástica.

Quincha (armazón de madera cubierto con cañas entrelazadas y un revoque de barro)
La tierra tiene que ser fina para tener adhesión a la estructura secundaria, pero esto hace que se fisure con facilidad, por lo que debe estabilizarse.

Revestimientos y morteros
Se utiliza una tierra con arena fina y proporciones equilibras de limo y arcilla a fin de evitar fisuraciones.

ES LA ARCILLA AL HUMEDECERSE LA QUE APORTA LA COHESIÓN A LAS MEZCLAS, PERO ES ESTA MISMA ARCILLA LA QUE SE RETRAE AL SECARSE

Por eso es básico asegurar una cantidad óptima de arcilla y una humedad adecuada tal que garantice la cohesión del conjunto controlando la retracción, pero sin perder capacidad portante por el exceso de arena y limo. No obstante, estas proporciones dependen mucho del tipo de tierra y de la solución constructiva, por lo que resulta complicado establecer una mezcla tipo.

También el grado de humedad óptima y la consistencia son aspectos a considerar. De este modo:

- para construcciones con **una fase de compactación** (tapial, BTC); la mezcla debe ser más bien seca,
- en **conformados por moldeo sin compactación** (adobe, cob), la consistencia debería ser plástica,
- para **revestimientos o morteros**, la mezcla tiene que ser viscosa tirando a líquida.

Revoco de arcilla, https://briznabioconstruccion.es

Soluciones constructivas y productos

Las técnicas y los sistemas constructivos tradicionales para trabajar la tierra cruda han ido evolucionando a lo largo de la historia en función de costumbres locales, el entorno, el clima y las condiciones de la tierra local disponible.

Las técnicas más utilizadas en la actualidad, pueden agruparse como siguen:

Albañilería

Adobe
Bloques de tierra comprimida (BTC)

Fabricación de pequeños elementos individuales que se unen con mortero para realizar una obra de fábrica

Muros monolíticos

Tapia
COB

Amasado y moldeo de muros que dan lugar a una construcción monolítica

Técnicas mixtas

Bajareque
Quincha

Recubrimiento o relleno de tierra en una estructura de un material distinto; en este caso, la tierra no es portante

Cabe mencionar también los morteros de tierra, o de barro, que en función del sistema constructivo usado, sirven tanto para el acabado como para la impermeabilización de la obra.

Entramado de bahareque, https://www.nuevamujer.com

Muro de quincha, https://www.plataformaarquitectura.cl

Adobe

El adobe es una pieza para construcción hecha de una masa de barro (arcilla y arena) mezclada con paja, moldeada en forma de ladrillo y secada al sol; con ellos se construyen paredes y muros de variadas edificaciones. La técnica de elaborarlos y su uso están extendidos por todo el mundo, encontrándose en muchas culturas que nunca tuvieron relación.

La más antigua ciudad conocida, **Çatalhöyük**, en Anatolia, del VII milenio antes de Cristo, tenía las casas construidas con adobes. En el Antiguo Egipto se empleó frecuentemente el adobe, elaborado con limo del Nilo, en la construcción de casas, tumbas (mastabas), fortalezas, e incluso palacios, aunque los egipcios también fueron los primeros en emplear la piedra tallada para erigir templos, pirámides y otras edificaciones monumentales.

En Perú existe la ciudadela de **Chan Chan**, la ciudad de barro más grande de América, perteneciente a la Cultura Chimu (1200-1480). Chan Chan se ubica en el valle de Moche, frente al mar, a mitad de camino entre el balneario de Huanchaco y la ciudad de Trujillo, capital de la región de La Libertad en la costa norte de Perú. El sitio arqueológico cubre un área aproximada de veinte kilómetros cuadrados. La zona central está formada por un conjunto de diez recintos amurallados (llamados “ciudadelas”) y otras pirámides. Este conjunto central, cubre un área de seis kilómetros cuadrados, aproximadamente. El resto, está formado por una multitud de pequeñas estructuras mal conservadas, veredas, canales, murallas y cementerios.

Ciudad de Çatalhöyük, Anatolia, https://www.dailysabah.com

En España, es característico, entre otras, **la región de Castilla y León donde se añade paja al barro**. Las construcciones de adobe se suelen remozar con una capa del mismo barro con lo que dan ese aspecto tan curioso de las casas típicas de Tierra de Campos. También es usual en regiones semi-desérticas de África, América Central y América del Sur (rancho.)

En México, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Argentina y en el sur y norte de Chile las casas de adobe son aún patrimonio de muchas familias humildes, que conservan esta tradición desde tiempos inmemoriales. Mezclar pasto seco con el barro permite una correcta aglutinación, gran resistencia a la intemperie y evita que los bloques una vez solidificados tiendan a agrietarse. Posteriormente los bloques se adhieren entre sí con barro para levantar muros.

Actualmente algunos arquitectos siguen utilizando muros de adobe en combinación con cimientos, columnas y losas de hormigón debido a sus características. En muchas ciudades y pueblos de Centro y Sur de América la construcción con adobes se mantiene viva aunque amenazada por las imposiciones del mercado formal o por la mala fama de los sismos.

CONSTRUCCIÓN CON ADOBE

Actualmente algunos arquitectos siguen utilizando muros de adobe en combinación con cimientos, columnas y losas de hormigón debido a sus características. En muchas ciudades y pueblos de Centro y Sur de América la construcción con adobes se mantiene viva aunque amenazada por las imposiciones del mercado formal o por la mala fama de los sismos.

La **reactivación de una arquitectura** en adobe en gran medida se debe al **ahorro de energía** que las edificaciones con este material suelen implicar, en efecto el adobe resulta un **excelente aislante térmico** motivo por el cual se reducen las demandas de energía para refrescar o calentar las viviendas. Por otra parte, uno de los problemas típicos del adobe es su absorción de la humedad del suelo por capilaridad, para esto una solución bastante frecuente es utilizar un cimiento hidrófugo o impermeable de hasta aproximadamente un metro de altura sobre el nivel del suelo, tal cimiento suele ser de piedras ó de hormigón.

Las dimensiones adecuadas deben ser tales que el albañil pueda manejarlo con una sola mano, normalmente son de proporciones de 1:2 entre el ancho y el largo, variando su espesor entre 6 y 10 cm, medidas que permiten un adecuado secado. **Las proporciones más comunes** de encontrar son de 6x15x30 cm, 10x30x60 cm, 7x20x40 cm; esto depende de la región del mundo y sus condiciones. En España, el tamaño típico es de 35x20x10 cm.
El agua ablanda el barro seco, por lo que se debe proteger de ésta en distintas circunstancias: de aguas de lluvias, infiltraciones por malas instalaciones, inadecuado mantenimiento (al regar exteriores, etc); la protección elemental es hacer aleros de suficiente vuelo hacia la zona desde donde proviene la lluvia y correcta construcción de los cimientos. Se requiere un mantenimiento continuo, que debe hacerse con capas de barro (revocos de barro). No es correcto hacerlo con mortero de cemento, puesto que la capa resultante es poco permeable al vapor de agua y conserva la humedad interior, por lo que se desharía el adobe desde dentro e incluso podría provocar desprendimiento del estuco de mortero de cemento por separación con el muro. Lo mejor para las paredes externas es la utilización de enlucido con base de cal apagada en pasta, con arcilla o arena, para la primera capa, en la segunda, solamente pasta de cal y arena. Para las internas se puede hacer una mezcla de arcilla, arena y agua, o con revoques de terminación fina de tierra estabilizada con arena, a la que se le pueden agregar impermeabilizantes en el agua de amasado.

Actualmente en la fabricación de adobe se suele emplear una proporción arcilla/limo 1, arena 55-64% y paja 1%, aunque variable en función de la composición del suelo, cuanto más arcilloso más arena se agrega, sin agregar paja u otros elementos a la mezcla. Las investigaciones han demostrado que la inclusión de fibras vegetales puede servir como atracción para las termitas y además, si el secado del adobe sin fibras ocurre en la sombra, la retracción es menor.

Tiene una gran inercia térmica, debido a los espesores necesarios para construir, por lo que sirve de regulador de la temperatura interna; en verano conserva el frescor, y durante el invierno el calor. Frente al tapial, que es semejante pero puesto en obra en masa, con encofrados, tiene la ventaja de que requiere mucho menos tiempo de preparación.

La construcción con adobes presenta la ventaja de su **similitud formal, constructiva y estética con el ladrillo de campo cocido**. En el caso de disponer de mucha mano de obra, especializada o no, esta técnica es muy adecuada en función de los procesos de fabricación que permiten la integración de gran cantidad de personas durante el pisado y moldeado, aunque se debe tener en cuenta aquí el control durante la producción, para minimizar la variación de las dimensiones y la forma irregular de las piezas. Los muros de adobes presentan muy buenas condiciones de aislamiento acústico y térmico debido a las características del material y los espesores utilizados.

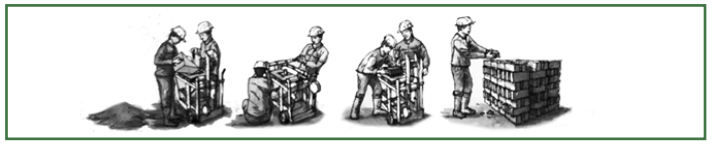
Las desventajas de esta técnica están en función del propio proceso de fabricación que puede resultar lento ya que se requieren dos o tres semanas para poder utilizar las piezas en caso de que la producción se haga en obra. El proceso también depende de las áreas de pisado, secado y acopio, que dirigirán la continuidad de producción mientras se espera que se sequen las piezas anteriores. Por lo tanto, esta técnica requiere cierta previsión de infraestructura para contar con superficies horizontales y limpias, y zonas protegidas para evitar que el agua de lluvia afecte a la producción.

Los fallos comunes en las construcciones con adobes pueden ser reducidos mediante los controles de la tierra y los estabilizantes utilizados, el dimensionado adecuado de las piezas y los muros, el dimensionado adecuado de la estructura, tanto de la cimentación como del muro portante, o las vigas y pilares y la protección frente a la lluvia y a la humedad natural del terreno. Tanto las ventajas o desventajas se deben tener en cuenta como datos de la realidad pero las condicionantes propias de la obra serán las que determinen la viabilidad de los procesos o no.

Como variantes del adobe simple, se pueden distinguir:

- **Adobe estabilizado**: con otros materiales como cemento, emulsiones asfálticas o similares, para mejorar su estabilidad frente al agua.
- **Adobe armado**: para mejorar el comportamiento antisísmico, se incluyen en la junta horizontal y vertical, refuerzos de acero, bambú, eucalipto, etc., dispuestos adecuadamente para reforzar la estructura.

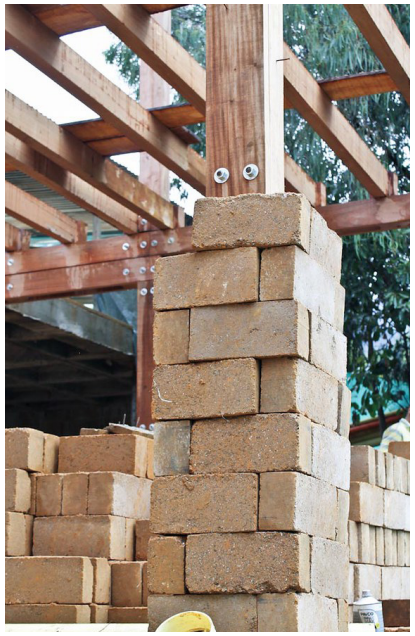
Adobes estabilizados con emulsión asfática, https://docplayer.es



Bloques de tierra comprimida (BTC)

Según **UNE 41410**, los BTC (bloques de tierra comprimida) son piezas para fábrica de albañilería con forma de paralelepípedo obtenida por compresión de tierra húmeda, seguida de un desmolde inmediato, y que puede contener estabilizantes o aditivos para alcanzar o desarrollar las características particulares del producto.

Los bloques de tierra comprimida son, por tanto, bloques de construcción uniformes y crudos de tierra comprimida, adecuada para el uso en muros de carga, en muros normales, en muros que acumulen calor, en muros de calor y en hornos Finnoven.



Bloques de tierra comprimida, https://www.flickr.com

Se producen a partir de tierra arcillosa tamizada para evitar la presencia de piedras y gravas. Ésta se introduce en una prensa, que puede ser manual o mecánica, que produce un bloque que no necesita ser cocido, a diferencia de los ladrillos convencionales. Para que el BTC pueda resistir cargas importantes, es necesario añadir a la mezcla un ligante (normalmente cemento o cal) en una proporción que varía entre el 3% y el 9% (Incógnita T., 2008).

EL ESTABILIZANTE TIENE LAS FUNCIONES DE AUMENTAR LA RESISTENCIA FÍSICA DE EROSIÓN SUPERFICIAL Y LA CAPACIDAD DE CARGA

Su producción, requiere un **coste energético bajo**, ya que este bloque no se cuece, sino que se utiliza crudo, esto supone que no es necesario un proceso de combustión para su conformación, por lo que las emanaciones de CO_2 se reducen drásticamente. De las técnicas que se exponen es la que más tarde fue desarrollada, a mediados del siglo XX, por Raúl Ramírez en Colombia, y se ha extendido ya a numerosos países en todo el mundo.

Tabiques de BTC en una casa de madera y paja en Peradela de la Mata (Cáceres), Bioconstrucciones Prefabricadas, ACTYVA S.Coop, 2018

Vivienda de bloques BTC, http://www.ecocreamos.com

PROCESO DE FABRICACIÓN

Identificación y preparación

Se realiza un análisis y conocimiento de las propiedades físicas y químicas a través de ensayos de laboratorio o campo, acopio y secado de la tierra. En la fase de preparación dependiendo de la tierra se realizará un cribado y triturado de la tierra.

Mezclado

Esta fase de producción se realiza en dos etapas, la mezcla seca, en la que se incorporan los demás componentes que conforman el BTC (arcillas, arenas, estabilizantes o colorantes) si estos son necesarios, y la mezcla húmeda, en la que se incorpora el agua en la cantidad adecuada y de manera homogénea siendo un factor decisivo para un adecuado prensado posterior.

Prensado

Operación principal en el proceso de fabricación del BTC, sin embargo, la calidad final del bloque dependerá en gran medida del resto de las fases. El rendimiento productivo viene determinado principalmente por la velocidad de trabajo de la prensa.

- Se pueden utilizar prensas mecánicas (máquinas tipo cinva-ram) o prensas hidráulicas (máquinas Oskam (http://www.oskam-vf.com, 2012)). Estas últimas prensas mayoritariamente necesitan de un aporte de energía eléctrica o combustibles para su funcionamiento consiguiendo elevados grados de compactación y bloques con resistencia inicial suficiente para ser colocados en obra inmediatamente a su fabricación, sin necesidad de curado. La posible utilización de maquinaria "portátil" permite un aprovechamiento del terreno obtenido de la propia excavación de la obra.

Secado

Tiene una especial incidencia en la calidad final de los bloques, por lo que debe realizarse de manera controlada. Se diferencian dos etapas: período de curado (si se incorporan estabilizantes) y período de secado. En cualquier caso, se trata de evitar un secado demasiado rápido (por lo que hay que mantenerlos al abrigo del sol y del viento) ya que se producirían fisuras de retracción, lo que afectaría a la resistencia final de los bloques.

Almacenamiento

Transcurridas veinticuatro horas ya pueden manipularse los bloques para su colocación en palés, que deben ser embalados con plástico para mantener las condiciones de humedad adecuadas (en el caso de haber sido estabilizados) y pueden ser almacenados en pilas de hasta 1,5 metros de altura. Si los bloques no son estabilizados a los 20 días ya son aptos para su colocación en obra.

Un estudio realizado por **INTROMAC- Instituto Tecnológico de Rocas Ornamentales y Materiales de Construcción** – en 2015, ha desarrollado tres aditivos naturales a partir de chumbera (*Opuntia ficus indica*) y ha comprobado sus efectos en la durabilidad e impermeabilidad de bloques de tierra comprimida empleados en la bioconstrucción y arquitectura bioclimática. Se pudieron verificar las mejoras que se consiguen en aspectos como la impermeabilidad, absorción de agua y resistencia a la humectación/ secado de los mismos.

Este servicio, con el título de **"Desarrollo de un aditivo o estabilizante a partir de chumbera (Opuntia ficus indica) para la fabricación de Bloques de Tierra Comprimida (BTC)"**, se ha financiado gracias al Vale tecnológico concedido a la empresa **CONSTRUCCIONES ÁNGEL REYES S.L.**, de Aceuchal (Badajoz), que entre otras actividades fabrica BTCs bajo la denominación comercial de **Solbloc**, por parte de la Junta de Extremadura a través de la empresa pública Extremadura Avante. La ayuda ha estado enmarcada en el Plan de Innovación en la PYME RIS3–AGROTECH, Programa Bonos de Innovación y Vales Tecnológicos 2015, dentro del Modelo Regional de Innovación INNOVEEX y cofinanciada por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional-FEDER.

Proceso de fabricación de BTC con chumbera, INTROMAC

"TODA TÉCNICA DE CONSTRUCCIÓN LOGRA AL FIN SU FORMA ETERNA, SU EXPRESIÓN FUNDAMENTAL QUE A PARTIR DE ENTONCES SE PERFECCIONA Y AFINA "

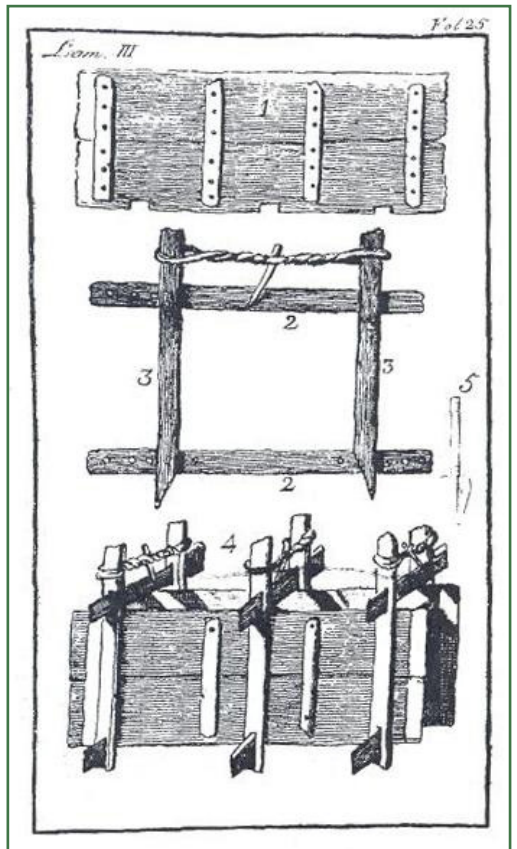
Ernst Neufert

Vivienda Tecla realizada con impresión 3D y mortero de tierra cruda, https://arquitecturaviva.com

Tapia

Técnica basada en la compactación de la tierra mediante apisonado manual de grandes masas de tierra, empleando un encofrado o molde desmontable de madera. Se denomina tapia en España, tapial o apisonado en Latinoamérica o tapia de pilao en Brasil.

La tapia es un muro macizo constituido con arcilla y arena apilada y prensada. Para darle la forma de muro al barro y evitar que este se desmorone, así como para facilitar el prensado, se emplea una cajonera denominada tapial. Una vez colocado el tapial sobre el cimiento, se vierte el barro en su interior y se prensa.



Grabado del XIX representando la estructura del cajón (tapial) para formar la tapia. http://www.sitiosolar.com/la-construccion-con-tierra-cruda-el-adobe-y-la-tapia/

Ejemplo de fabricación de muro de tapial, https://arquitectura-sostenible.es

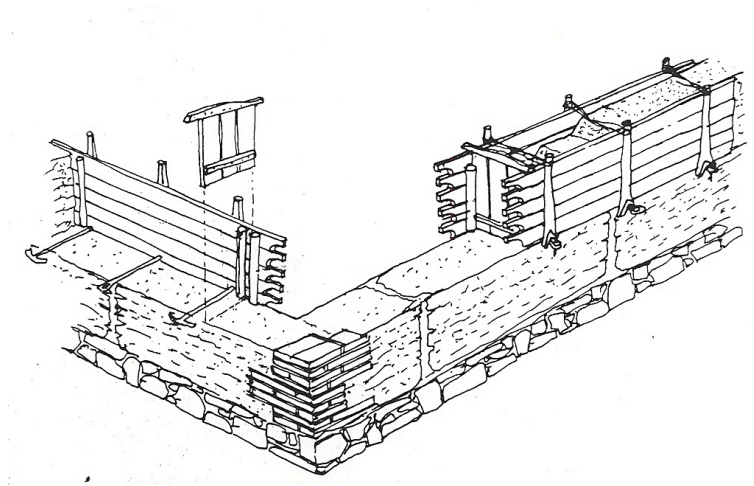
Cuando está formado el muro, la cajonera se retira y se deja secar al aire libre. La tapia puede conformar enteramente el muro o bien quedar entre pilares de otros materiales.

Los muros levantados en tapial gozan de un gran poder aislante. Tienen la ventaja de poder combinarse con otros materiales como pueden ser, la piedra, el ladrillo o las piezas de adobe.

Primeramente las operaciones que hay que realizar antes de comenzar con el levantamiento de un muro de tapial, es la limpieza y allanado del suelo. Seguidamente, se colocan pilares de piedra en los extremos de la edificación, que servirán como guía para comenzar la construcción.

Almacén de libros construido con muros portantes de tapia en Valverde de Burguillos (Badajoz) en el marco de proyecto Erasmus+ LearnBION, Asociación Dehesa Tierra, 2018.

UN ASPECTO QUE OFRECE EN COMÚN EL TAPIAL, ES LEVANTARSE SIEMPRE LA OBRA SOBRE UNA SOLERA QUE, SUELE SER DE CANTO RODADO CON MORTERO DE CAL O BARRO



Estructura para la construcción de muros de tapia, http://lamejortierradecastilla.com

Este cimiento alcanza una altura aproximada de 40 o 50 cm., y un ancho semejante al del muro que se desea levantar. El ancho usual es alrededor de los 50 o 60 cm., no siendo, salvo contadas excepciones, el espesor inferior a los 45 cm., pudiendo llegar a los 2 m. En función de la zona, el tapial suele ser simplemente barro, de barro mezclado con cal, y de barro con grava pequeña, lo que supone ya un tipo de hormigón. De uso frecuente es, así mismo, el tapial calicastrado, modalidad que consiste en reforzar la estructura de éste con una lechada de cal, vertida cada vez que se vuelven a colocar los tableros, antes de echar la nueva tongada de tierra.

Cuando el muro ha de llevar huecos, los cercos se colocan previamente para que queden recibidos en la masa una vez que se vaya construyendo ésta. En ocasiones los huecos llevan jambas de mampostería cogida con mortero de yeso (brencas) construyéndose al mismo tiempo que las tongadas a las que pertenecen. Sobre ellas apoyan los cargaderos, generalmente de madera.

Detalle constructivo de un muro de tapial, https://www.zestarchitecture.com

Para la obtención de un tapial capaz de resistir adecuadamente el paso del tiempo, es fundamental la preparación de las tierras. Éstas no deben contener restos de materias orgánicas, por lo que será conveniente hacerlas pudrir. En la etapa estacional que corresponda, se amontonan éstas en hileras o montones pequeños para que toda la masa sea alcanzada por el agua y los hielos.

Una vez la tierra se halla en condiciones, se la vierte sobre un molde de madera compuesto de dos tableros grandes llamados puertas y de dos pequeños que cierran los costados. Esto para realizar el primer cajón o tapial. Para el segundo ya sólo serán necesarios dos tableros grandes y uno pequeño, puesto que el nuevo tapial irá adosado al anterior. Es fundamental el buen apisonado de las tierras, lo que se realiza con pisones de madera (de 6 a 8 Kg. de peso), regándolas de cuando en cuando durante el apisonado, pero evitando que este regado sea excesivo y las tierras lleguen a embarrarse. Cuando el pisón realiza un golpe sordo, es el momento de echar una nueva capa.

Los operarios que intervienen en la ejecución del tapial son cinco por tablero, dos apisonadores, un amasador y dos peones (cavadores). El amasador suministra la tierra, tirándola a los apisonadores que están dentro del molde, y éstos extienden la primera capa de tierra de 8 o 10 cm. de espesor, apisonándola. Simultáneamente, en esta tongada se pone "costra" al tapial y se apisona a la vez que la tierra, –así se evita que el barro no se pegue en el pisón–, repitiendo esta operación hasta llegar a las 8 o 10 tongadas que suele ser un "**hilo de tapia**". La "**costra**" está confeccionada con tres partes de arena y una de cal que se deja en el mismo estado de humedad que la tierra.

Cada hilo o hilada de tapiales puede alcanzar una altura máxima de unos 80 u 85 cm., ya que si ésta fuera mayor sería incómodo el trabajo de los apisonadores dentro de los moldes. Una vez que se termina una hilada de tapiales se pasa a la siguiente no dejando pasar mucho tiempo entre la construcción de cada una y la siguiente. Llenos los moldes, enrasados, se sueltan los garrotes, se sacan los clavos y se deshacen los tapiales. La perpendicularidad de la construcción se realiza mediante el uso de la plomada.

Una variante del tapial ordinario es el tapial de barro mezclado con paja, el cual consiste en una pasta compuesta de tierra franca humedecida la mezcla con heno o paja triturada, la que impide la formación de grietas estableciendo cierta trabazón en la masa. Este tapial se coloca en la obra por capas horizontales, que se dejan endurecer antes de pasar a las superiores, sin dejar de regarlas de cuando en cuando.

Puede aumentarse la consistencia de los tapiales humedeciendo la tierra con una lechada de cal, en cuyo caso el tapial se llama calicastrado, o bien reforzando las esquinas y pasando de trecho en trecho verdugadas de ladrillo, constituyendo en este caso una verdadera fábrica mixta que toma propiamente el nombre de tapia real.

Las tablas usadas en los tableros de los encofrados, se encuentran separadas para permitir que salga la humedad, y aguantar la gran presión a la que están sometidas. Ordinariamente, a este molde, se le llama también tapial.

Tapia común

Tapia mejorada: Mezcla de la tierra con gravas o cal (Tapia real).

Tapia reforzada en las caras: Con distintos materiales (Tapia valenciana: Mampuestos de piedra / Tapia calicastrada: Argamasa de arena gruesa y cal) en las caras exteriores para mejorar la tapia y la adherencia del revestimiento.

Tapia reforzada: Juntas entre bloques de tapial reforzadas con mortero de yeso o cal. Evita efectos de retracción, mejora la trabazón y refuerza puntos débiles.

Tapia con machones: El tapial actúa como relleno entre machones que reciben las cargas (zonas de mayor resistencia de ladrillo, adobe o yeso). En ocasiones se refuerzan también las juntas horizontales con varias verdugadas.

Tapia con entramado de madera: Un entramado de madera recoge y transmite las cargas de la edificación, cumpliendo el tapial una función de cerramiento.

Consolidación de la alcazaba de Reina, https://tabiya.es

En España se registran principalmente en las regiones de Tierra de Campos, Castilla La Mancha, Andalucía, Cataluña, Extremadura y Murcia, y la tipología de las construcciones es muy variada, desde castillos, murallas o iglesias, hasta escuelas o sub-estaciones eléctricas.

El proceso de fabricación de la tapia cada vez está más industrializado a día de hoy, utilizando los mismos encofrados que se emplean para el hormigón armado, e incluso llegando a la prefabricación de piezas de tapia que son transportables y se colocan en obra.

Cob

Técnica de construcción similar al adobe que utiliza piezas en forma de bolas (stacked balls), formadas por una mezcla plástica de tierra, agua y estabilizantes como la paja, cáscaras de cereales, hierba seca y hasta excrementos de vaca en algunas zonas de África.

ES ORIGINAL DE INGLATERRA, Y SE USA TAMBIÉN EN FRANCIA Y ÁFRICA; ES ESPECIALMENTE ADECUADO PARA CLIMAS HÚMEDOS Y LLUVIOSOS

La tierra debe ser arcillosa, y se refuerza con fibras vegetales para evitar la fisuración.

El proceso de fabricación consiste en retirar primero la capa de suelo orgánico y en la propia excavación mezclar la tierra con agua para facilitar su extracción; una vez sacada la tierra se vuelve a mezclar con agua en una especie de pozo hasta conseguir una consistencia plástica. En ese momento se añaden las fibras, se mezcla de nuevo y se pisa con los pies. Tras dos días de reposo, se fabrican bolas con las manos y se va formando el muro mediante el amasado con las manos o los pies. Como tarda en secarse, una vez terminada cada hilada (40-60 cm), se pisa fuerte y se alisa la superficie exterior mientras sigue húmedo. Después se deja secar otros dos días para empezar una nueva hilada. Es por esto que idealmente el muro debería ser piramidal y con formas redondeadas.

Vivienda de bajareque, Guadalajara, Méjico, https://www.plataformaarquitectura.cl

Bajareque

Una de las tecnologías mixtas más extendidas, en particular en Latinoamérica, es el bajareque. Son construcciones redondas, cuadradas o rectangulares formadas por una estructura de postes de madera clavados en el suelo y cruzados por un trenzado de ramas que se recubre por una o ambas caras con un relleno de barro y fibras.

Vivienda de Cob, East Devon, Reino Unido, https://www.devonlive.com

Quincha

Similar al anterior, proviene del quechua, y se aplica en Perú a la pared rústica soportada por un armazón de madera. Sobre el que se trenza una membrana continúa de cañas que se recubre un revoco de barro o yeso. Este sistema aporta capacidad aislante y portante con menores grosores que otras soluciones constructivas con tierra cruda.

La mezcla debe ser arcillosa y con granos finos, con plasticidad y buena adherencia. De consistencia viscosa, el rango de humedad está en 30-35%, y se añaden fibras vegetales para refuerzo y evitar fisuración. Este relleno aporta el aislamiento térmico y acústico requerido.

El acabado final estabiliza la mezcla y da durabilidad frente al viento y la lluvia.

Vivienda de quincha, https://casasdecampo.blog

Morteros

Cabe hacer mención a los morteros de barro, que son una mezcla de varias materias primas, dando dosificaciones con aplicaciones diferenciadas, ya sea como revestimientos o como propio mortero de rejunteo en los adobes y los BTC.

En cuanto a los **revestimientos**, se pueden indicar como los más representativos según la clasificación de Juan Monjo Carrió (Monzo Carrió J., 1998), en su ponencia "La evolución histórica de la arquitectura de tierra en España", los siguientes:

- Tratamiento superficial: se frota la superficie del muro con un mortero de tierra fina y arena mediante una llana o paleta de madera.
- Revocos: son morteros de barro, barro y paja, o de barro estabilizados, y que pueden ser monocapa o multicapa, aunque estos últimos son más complejos. Aportan a la fábrica no solo el acabado final, sino protección contra los agentes atmosféricos.

Revocos de tierra arcillosa en una casa de madera y paja en Bodonal de la Sierra (Badajoz), Miga Oficina Rural de Arquitectura y Construcción, ACTYVA S.Coop, 2017

Otros productos industrializados

En la tendencia actual de renovar no solo las técnicas constructivas tradicionales con tierra cruda, sino los propios materiales utilizados mediante su **industrialización y prefabricación**, lo que abarata costes, garantiza la calidad, y facilita integrar al nuevo modelo de construcción sostenible que debe imponerse costumbres y maneras de edificar ancestrales, unidas al entorno, merece destacar algún ejemplo de productos que están disponibles comercialmente, y que son evoluciones, mejoras y adaptaciones de alguna de las técnicas que se han expuesto anteriormente. Además de los aquí recogidos, productos como **Superadobe**, **Sirewall** o **Tapialblock** son algunos ejemplos de los desarrollos habidos en los últimos años en España.

Ladrillos y vivienda de Cannabrick, http://www.cannabric.com/

CANNABRICK

Monika Brümmer es una arquitecta alemana que comercializa desde 1999 su propio bloque de cáñamo, más sostenible que el ladrillo de arcilla cocida, tanto en su composición como en su fabricación. Estos bloques salen de su **fábrica Cannabric** en **Guadix (Granada)**. Este producto es una fusión de los conceptos de BTC, desarrollado en Colombia por Raúl Ramírez en la década de 1950, y del **Hempcrete, u hormigón de cáñamo**, mezcla de cáñamo, cal y agua, que se ha extendido en las últimas décadas por numerosos países para la arquitectura bioclimática, debido a las cualidades que el cáñamo le confiere como un **excelente aislante térmico y acústico**, ideal para zonas con temperaturas variantes. También tiene **buena resistencia al fuego, no es tóxico y es naturalmente resistente al moho y a los insectos**.

Así, Brümmer creó un bloque basado en un conglomerado de arcilla y con cañamiza (la parte leñosa del cáñamo), diseño que se adapta mucho mejor al clima español y confiere mayor inercia térmica y capacidad portante, entre otras ventajas. Gracias al cáñamo, los bloques de Cannabric destacan por su capacidad aislante y su desfase térmico (horas que tarda el calor en penetrar en el interior de la casa), lo que permite que sean unos reguladores de temperatura similares a las cuevas granadinas. Debido a su permeabilidad al vapor, los bloques tienen la capacidad de optimizar la humedad de las casas. Tiene además una gran absorción acústica y una alta resistencia al fuego. La fibra de cáñamo no tiene nutrientes para parásitos, por lo que no debe ser tratada como la madera.

Entre sus inconvenientes está el precio, en comparación con los materiales de construcción más habituales, y que la puesta en obra puede ser algo más engorrosa, pero este mayor coste se compensa a la larga con un mayor ahorro energético en las viviendas.

* http://www.cannabric.com/

ECOCLAY, REVESTIMIENTOS NATURALES

Empresa ubicada en **Teruel** que fabrica una serie de productos con base arcilla para su empleo en cerramientos interiores no estructurales y revestimientos para la bioconstrucción y la arquitectura ecológica. Son cuatro las soluciones que ofrecen:

Morteros de arcilla

Basados en una combinación de arcillas naturales que gracias a su elevada superficie específica permite la regulación de la humedad en interiores, neutraliza malos olores y aporta aislamiento térmico y acústico, ofreciendo además varias texturas de acabado.

Mortero de arcilla, https://ecoclay.es

Placas de arcilla

Para la construcción en seco de tabiques, trasdosados y falsos secos; permiten regular la humedad relativa de la estancia, su permeabilidad al vapor de agua, su baja conductividad y alta inercia térmica para conseguir el máximo confort con un menor coste energético. Además, favorece la neutralización de olores y partículas tóxicas en su estructura para generar ambientes limpios, es totalmente reciclable y un efectivo absorbente acústico. Tienen una alternativa de placa de arcilla aligerada con corcho, de especial interés para la construcción de fasos techos en interiores.

* http://www.ecoclay.es

Placas de arcilla, https://ecoclay.es

Pinturas de arcilla

Para paredes y techos interiores; permite transpirar a la pared y está libre de COVs y otras emisiones, olores y disolventes, por lo que es saludable. Por su pH básico actúa como biocida, y por su resistencia estática no atrapa polvo. Es ignífuga también.

Pintura de arcilla, https://ecoclay.es

Suelos de arcilla

Suelos continuos de arcilla autonivelantes que aportan calidez a las estancias.

Pintura de arcilla, https://ecoclay.es

Marco normativo

El hecho de tratarse de técnicas de construcción tradicionales, y que se han utilizado además bien en zonas rurales y menos desarrolladas, bien fuera del ámbito más formal de la edificación, ha propiciado que la construcción con tierra cruda haya quedado al margen de los desarrollos normativos de las últimas décadas en España y Europa. Algunos países no obstante cuentan con normativa específica para esta tipología de construcción, bien porque la tradición está muy arraigada o porque ha habido un interés creciente por introducirlo en prácticas de arquitectura sostenible.

Perú, India o Brasil fueron los primeros en normalizar la construcción con tierra cruda a lo largo del siglo XX. Luego se sumaron Nueva Zelanda, EEUU, Francia o Italia. En cuanto a las técnicas constructivas, lo más habitual es generar una normativa para cada una de las más habituales: tapia, BTC y adobe. EEUU, Italia o Nueva Zelanda cuentan con normas para los tres tipos. A destacar este último país, por cuanto su semejanza con la reglamentación de otros productos de construcción, con una buena definición de las técnicas constructivas, abundante desarrollo de los procesos, y la descripción detallada de los métodos de ensayo propuestos.

No obstante, hay mucha dispersión y heterogeneidad tanto en los procedimientos de ensayo propuestos como las limitaciones o requisitos establecidos en cada país [(1)].

[(1)] https://www.rilem.net/groupe/274-tce-testing-and-characterisation-of-earth-based-building-materials-and-elements353

España

En España la normativa referente a la tierra se encuentra actualmente en proceso de redacción. En 2010 **AENOR** publicó la norma **UNE 41410:2008** sobre las definiciones, especificaciones y métodos de ensayo de los bloques de tierra comprimida. Posteriormente se propusieron estudios para el desarrollo de las UNE de adobe y tapial. Así mismo a través del Ministerio de la Vivienda y el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja existe la intención de elaborar un documento como guía para el cumplimiento del Código Técnico de la Edificación (CTE) en los edificios de tierra.

Y es que a día de hoy en España la construcción con tierra cruda no está recogida en la reglamentación técnica sectorial.

No obstante, la norma básica vigente encarnada en el Código Técnico de la Edificación (CTE), es una norma prestacional, es decir, plantea la consecución de una serie de objetivos de obligado cumplimiento, y ofrece una guía muy bien definida para cumplirlos a través de los conocidos como Documentos Básicos (DB), pero al mismo tiempo permite cierta libertad para plantear soluciones alternativas, siempre que estén bien justificadas técnicamente.

El **apartado 3 del artículo 5.1. de la Parte I del vigente CTE** establece que:
"Para justificar que un edificio cumple las exigencias básicas que se establecen en el CTE podrá optarse por:

a) Adoptar soluciones técnicas basadas en los DB, cuya aplicación en el proyecto, en la ejecución de obra o en el mantenimiento y conservación del edificio, es suficiente para acreditar el cumplimiento de las exigencias relacionadas con dichos DB;
ó
b) Soluciones alternativas, entendidas como aquellas que se aparten total o parcialmente de los DB. El proyectista o el director de obra pueden, bajo su responsabilidad y previa conformidad del promotor, adoptar soluciones alternativas, siempre que justifiquen documentalmente que el edificio proyectado cumple las exigencias básicas del CTE porque sus prestaciones son, al menos, equivalentes a los (las) que se obtendrían por la aplicación de los DB".

La construcción con tierra cruda iría incardinada en esta segunda solución actualmente, lo que requiere de técnicos especialistas y procesos específicos y más complicados que limitan el desarrollo de estas técnicas constructivas, a pesar de sus numerosas ventajas.

TABLAS COMPARATIVAS (Bestraten Castells S. C *et. al.*, 2011)

Resistencia a la compresión simple

Material	Densidad (kg/m3)	Resistencia a compresión (MPa)
Adobe	1200-1500	0,53-1,72
Cob	1615	1
Bloque de tierra comprimida (BTC)	1700-2000	3-5
Tapia	1900-2200	3-4

Conductividad térmica de los materiales

Material	Densidad (kg/m3)	Conductividad λ (W/mK)
Adobe	1200	0,46
Bloque de tierra comprimida (BTC)	1700	0,81
Tapia	1400-2000	0,6-1,6
Hormigón armado	2300-2500	2,3
Hormigón en masa in situ	2000-2300	1,65
Bloque de hormigón convencional	860	0,91
Pared de ladrillo macizo	2170	1,04
Pared de ladrillo hueco	670	0,22

Comportamiento frente al fuego

Material	Espesor (m.)	REI (min.)
Muro de tierra	0,15	90
Hormigón armado	0,16	90
Bloque de hormigón convencional espesor 200 mm.	0,20	120
Pared de ladrillo macizo o perforado	0,11-0,20	120

Comportamiento acústico de los materiales

Material	Densidad (kg/m3)	Espesor (m.)	Ra (dB)
Adobe	1200	0,30	53,04
Bloque de tierra comprimida (BTC)	1700	0,30	56,32
Tapia	2000	0,30	57,85
Hormigón armado	2300	0,30	59,16
Hormigón en masa in situ	2000	0,30	57,85
Bloque de hormigón convencional espesor 200 mm.	860	0,20	46,10
Pared de ladrillo macizo	2170	0,30	58,61
Pared de ladrillo hueco	670	0,30	47,56

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección General de Arquitectura de la Junta de Extremadura como socio coordinador del proyecto LIFE ReNaturalNZEB.

Al cuerpo técnico y de Gestión de nuestro Centro, INTROMAC que ha trabajado de manera directa en indirecta en el proyecto LIFE ReNaturalNZEB y en este manual para que sea una realidad a día de hoy

A todos nuestros socios del proyecto LIFE ReNaturalNZEB, porque gracias a su entendimiento y colaboración, se han podido ir sacando adelante cada una de las actividades de dicho proyecto incluido este manual.

A aquellas entidades y organizaciones que de una manera directa han contribuido a través las referencias mencionadas a hacer realidad un manual que creemos que cumple perfectamente las demandas que se pretendían de él.

Una mención especial a Álvaro Rodríguez Martín, por su trabajo e implicación en el montaje y maquetación de este manual. Una colaboración indispensable para el buen resultado del Manual.

Y por último a todos los que día a día creen que el Desarrollo Sostenible y a la vuelta a valores de la arquitectura tradicional que parecían perdidos pero que todavía son posibles y pueden tener cabida en nuestra frenética carrera constructiva.

Bibliografía y referencias pétreos

Benito Soria, A. Manual de rocas ornamentales: Prospección, explotación, elaboración, colocación. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Laboratorio Oficial para Ensayos de Materiales de Construcción. Lopez Jimeno Ed. Madrid, Loemco, 1995.

UNE-EN 771-6:2012+A1:2016. Especificación de piezas para fábrica de albañilería. Parte 6: Piezas de albañilería de piedra natural.

UNE-EN 1341:2013. Baldosas de piedra natural para uso como pavimento exterior. Requisitos y métodos de ensayo.

UNE-EN 1342:2013. Adoquines de piedra natural para uso como pavimento exterior. Requisitos y métodos de ensayo.

UNE-EN 1343:2013. Bordillos de piedra natural para uso como pavimento exterior. Requisitos y métodos de ensayo.

UNE-EN 1469:2015. Productos de piedra natural. Placas para revestimientos murales. Requisitos.

UNE-EN 1925:1999. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad.

UNE-EN 1926:2007. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la compresión.

UNE-EN 1936:2007. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la densidad real y aparente y de la porosidad abierta y total.

UNE-EN 12057:2015. Productos de piedra natural. Plaquetas. Requisitos.
UNE-EN 12058:2015. Productos de piedra natural. Baldosas para pavimentos y escaleras. Requisitos.

UNE-EN 12326-1:2015. Productos de pizarra y piedra natural para tejados inclinados y revestimientos. Parte 1: Especificaciones para pizarras y pizarras carbonatadas.

UNE-EN 12326-2:2012. Productos de pizarra y piedra natural para tejados inclinados y revestimientos. Parte 2: Métodos de ensayo para pizarras y pizarras carbonatadas.

UNE-EN 12370:2020. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la cristalización de las sales.

UNE-EN 12371: 2011. Métodos de ensayo para piedra natural. Resistencia a la heladicidad.

UNE-EN 12372:2007. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la flexión bajo carga concentrada.

UNE-EN 12407:2020. Métodos de ensayo para piedra natural. Estudio petrográfico.

UNE-EN 13161: 2008. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a flexión a momento constante.

UNE-EN 13364:2002. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la carga de rotura para anclajes.

UNE-EN 13755:2008. Métodos de ensayo para piedra natural. Absorción de agua a presión atmosférica.

UNE-EN 14066:2014. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia al envejecimiento por choque térmico.

UNE-EN 14146:2004. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación del Módulo de Elasticidad Dinámico (con la medida de la frecuencia de resonancia fundamental).

UNE-EN 14147:2004. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia al envejecimiento por niebla salina.

UNE-EN 14157:2018. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la Resistencia a la Abrasión.

UNE-EN 14158:2004. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la Energía de Rotura.

UNE-EN 14231:2004. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la Resistencia al deslizamiento mediante péndulo de fricción.

UNE-EN 14579:2005. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la velocidad de propagación del sonido.

UNE-EN 14580:2006. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación del modulo de elasticidad estática.

UNE-EN 14581:2006. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación del coeficiente lineal de expansión térmica.

Bibliografía y referencias morteros

Este documento está basado fundamentalmente en las monografías publicadas por AFAM (Asociación Nacional de Fabricantes de Mortero) con el título:

- Morteros. Guía General.
- Morteros de Revestimiento.

Brás, A., Leal, M., Faria, P., 2013. Cement-cork mortars for thermal bridges correction comparasion with cement-EPS mortars performance. Const. Build. Mater. 49, 315327.

Panesar, D.K., Shindman, B., 2012. The mechanical, transport and thermal properties of mortar and concrete containing waste cork. Cem. Concr. Compos.3

Bibliografía y referencias tierra cruda

Bardou, P., Arzoumanian, V., & de Bes, M. T. T. (1979). Arquitecturas de adobe. Gustavo Gili.

Bestraten Castells, S. C., Hormias Laperal, E., & Altemir Montaner, A. (2011). Construcción con tierra en el siglo XXI. Informes de la Construcción, 63(523), 5-20

CRATerre-ENSAG; International Centre for Earthern Construction. Terra incognita. Discovering and Preserving. European Earthern Architecture. Argumentum / Culture Lab. Èditions, Lisboa / Bruselas, 2008. 2 vol.

Hernández Pocero, J. (2016). Construcción con tierra: Análisis, conservación y mejora. Un caso práctico en Senegal (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).

Jimenez Salas, J.L. de Justo Alpañez – Geotecnia y Cimientos, tomo I – Editorial Rueda – Madrid – 1975.

Minke, G. (2001). Manual de construcción en tierra: la tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual. Nordan Comunidad.

Monjo Carrió J. "La evolución histórica de la arquitectura de tierra en España", Encuentros Internacionales. Centro de Investigación Navapalos. Ministerio de Fomento. Secretaría General Técnica. 1998. Madrid.

UNE 103204:1993. Determinación del contenido en materia orgánica en suelos por oxidación, con permanganato potásico. AENOR. Madrid. España.

UNE 103205:2006. Contenido en sales solubles en los suelos. AENOR. Madrid. España.

“La arquitectura es una expresión de valores”

Norman Foster

9 788412 555684

MANUAL DE USO Y CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES TRADICIONALES TIERRA, PIEDRA Y MORTERO

AL FREE INK
ACID FREE
FSC