INFORME 1.2.2

INFORME DE BUENAS PRÁCTICAS SOBRE MÉTODOS, HABILIDADES Y COMPETENCIAS EN RELACIÓN CON LOS PRODUCTOS DE PIEDRA

PROCESO CONSTRUCTIVO DE CUBIERTA INCLINADA DE MÁRMOL O GRANITO

Esta publicación está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

"El apoyo de la Comisión Europea para la producción de esta publicación no constituye una aprobación del contenido, el cual refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en la misma".

Consortium members: Deutscher Naturwerkstein-Verband E.V (DNV), Asociatia Romania Green Building Council (RoGBC), Colegio Oficial de Arquitectos de la Región de Murcia (COAMU), Asociación Empresarial de Investigación Centro Tecnológico del Mármol, Piedra y Materiales (CTM), Klesarska Skola Pucisca (KLESARSKA)

Contenido

1. INTRODUCCIÓN 3
2. CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES 4
3. CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS 6
3.1 Elementos auxiliares 7
3.1.1. Soportes metálicos 7
3.1.2. Perfiles 7
3.1.3. Aislamiento 8
4. PROCESO CONSTRUCTIVO 9
4.1. Colocación de la capa impermeable 9
4.2. Disposición de los soportes metálicos 10
4.3. Fijación de los soportes metálicos 10
4.4. Fijación de los perfiles verticales 11
4.5. Fijación de los perfiles horizontales 12
4.6. Fijación de los soportes para las losas de piedra natural 13
4.7. Colocación de las losas de piedra natural en el cubierta 13
4.8. Colocación de la piedra inferior 14
4.9. Finalización de la instalación 16
5. RESUMEN. PASOS A SEGUIR EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO 16
6. REFERENCIAS 17

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto BIMstone nace de la fusión de tres líneas de acción cuya convergencia es la consolidación de una base material didáctica para la formación en el sector de la piedra.
Estas tres líneas de acción son:

- BIM (Building Information Modeling).
- ACV (Análisis de Ciclo de Vida).
- Metodologías de digitalización para la colocación de productos de piedra.

La Comisión Europea se centra en el sector de la construcción según los criterios de crecimiento inteligente (desarrollo y economía basados en el conocimiento y la innovación) y crecimiento integrador (garantizar la cohesión social y territorial a través del empleo).

De acuerdo con el contexto anterior, el objetivo general del proyecto BIMstone es aumentar las habilidades de los trabajadores en el ámbito de la colocación de los productos de piedra, en particular en la colocación de diferentes tipos de suelos y paredes en edificios y entornos urbanos, con el fin de aumentar la calidad de la obra final, la permanencia de la obra y la sostenibilidad del medio ambiente, mediante el uso de métodos sin materiales no reciclables y/o ecológicos. Por ello, es necesario definir y recopilar los sistemas de ejecución y métodos de colocación más adecuados para los productos de piedra.

La primera tarea del proyecto BIMstone " *O1. Establecimiento de resultados de aprendizaje comunes sobre métodos de colocación de la piedra, análisis del ciclo de vida (ACV) y normativa*" abarca una serie de tareas específicas entre las que se encuentra la elaboración de este informe.

Este informe de buenas prácticas aborda la determinación de habilidades y competencias, así como la definición de los procesos de aplicación más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente.

De todos los elementos constructivos de piedra natural seleccionados en este proyecto, este informe se centra en la construcción de una cubierta inclinada de mármol o granito, describiendo con detalle algunas de sus características, tanto constructivas como ambientales, y el proceso constructivo a seguir para conseguir un resultado óptimo.

2. CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES

Las Declaraciones Ambientales de Producto (DAPs) son la forma más clara, rigurosa e internacionalmente aceptada de proporcionar el perfil ambiental de un producto a lo largo de su ciclo de vida.

La DAP "***Paneles de fachada y revestimiento de paredes de piedra caliza Jura (placas de piedra caliza)***" ("*Jura Limestone façade panels and wall cladding (limestone slabs)*") incluye productos de piedra natural cuya función principal es el uso ornamental para cubrir superficies interiores y exteriores, como suelos, paredes, fachadas, escaleras, etc. y ha sido verificada y publicada en https://ibu-epd.com.

La DAP de losas de piedra caliza se ha realizado según la metodología de ACV con información ambiental cuantificada de todo su ciclo de vida. Es decir, la DAP de este material es del tipo "*de la cuna a la puerta*", como se puede ver en la siguiente tabla, que incluye las etapas del ciclo de vida consideradas.

DESCRIPTION OF THE SYSTEM BOUNDARY (X = INCLUDED IN LCA; MND = MODULE NOT DECLARED)																
PRODUCT STAGE			CONSTRUCTION PROCESS STAGE		USE STAGE							END OF LIFE STAGE				BENEFITS AND LOADS BEYOND THE SYSTEM BOUNDARIES
Raw material supply	Transport	Manufacturing	Transport from the gate to the site	Assembly	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	De-construction demolition	Transport	Waste processing	Disposal	Reuse-Recovery-Recycling-potential
A1	**A2**	**A3**	**A4**	**A5**	**B1**	**B2**	**B3**	**B4**	**B5**	**B6**	**B7**	**C1**	**C2**	**C3**	**C4**	**D**
X	X	X	X	MND	MND	X	MNR	MNR	MNR	MND	MND	MND	MND	MND	X	MND

Fuente: IBU - Institut Bauen und Umwelt e.V.

Esta DAP ha sido desarrollada y verificada de acuerdo con las normas EN 15804 y EN ISO 14025 y las Normas de Categoría de Producto (PCR) para las losas de mármol y piedra caliza utilizadas en la construcción de edificios.

La unidad funcional de la DAP se define como 1 tonelada de masa de piedra natural (corresponde a 12,82 m², 30 mm de espesor). El ámbito del estudio se ha definido desde la cuna hasta la puerta, abarcando únicamente el módulo de fabricación (extracción y preparación de las materias primas, transformación de las losas de piedra natural y transporte entre estas etapas).

La DAP detalla la formulación que debe utilizarse (factor de conversión) para transformar la unidad funcional de una tonelada de masa de piedra natural en un metro cuadrado de fachada.

Factors for calculating results for different thicknesses:

Parameter	1 t (corresponds to 19,23 m² of 20 mm thickness)	1 t (corresponds to 12,82 m² of 30 mm thickness)	1 t (corresponds to 9,62 m² of 40 mm thickness)
GWP	1,29	1,00	0,85
ODP	1,37	1,00	0,81
AP	1,18	1,00	0,90
EP	1,19	1,00	0,90
POCP	1,27	1,00	0,86
ADPE	1,41	1,00	0,78
ADPF	1,31	1,00	0,85
PERT	1,36	1,00	0,79
PENRT	1,31	1,00	0,84

Fuente: IBU - Institut Bauen und Umwelt e.V.

Los resultados del ACV – Impacto ambiental son:

RESULTS OF THE LCA - ENVIRONMENTAL IMPACT: 1 t Jura Limestone façade panels and wall cladding (corresponds to 12.82 m², 30 mm thick)

Parameter	Unit	A1-A3	A4	B2	C4
Global warming potential	[kg CO_2-Eq.]	59.90	4.73	0.04	16.14
Depletion potential of the stratospheric ozone layer	[kg CFC11-Eq.]	6.33E-11	6.00E-13	2.21E-9	1.52E-11
Acidification potential of land and water	[kg SO_2-Eq.]	1.80E-1	1.96E-2	9.75E-5	9.54E-2
Eutrophication potential	[kg $(PO_4)^{3-}$-Eq.]	2.72E-2	4.84E-3	6.26E-5	1.30E-2
Formation potential of tropospheric ozone photochemical oxidants	[kg ethene-Eq.]	1.25E-2	-7.24E-3	2.47E-5	7.51E-3
Abiotic depletion potential for non-fossil resources	[kg Sb-Eq.]	8.61E-5	4.92E-7	-6.13E-9	5.79E-6
Abiotic depletion potential for fossil resources	[MJ]	842.44	64.26	0.59	208.74

RESULTS OF THE LCA - RESOURCE USE: 1 t Jura Limestone façade panels and wall cladding (corresponds to 12.82 m², 30 mm thick)

Parameter	Unit	A1-A3	A4	B2	C4
Renewable primary energy as energy carrier	[MJ]	1188.26	4.25	0.15	25.24
Renewable primary energy resources as material utilization	[MJ]	0.00	0.00	0.00	0.00
Total use of renewable primary energy resources	[MJ]	1188.26	4.25	0.15	25.24
Non-renewable primary energy as energy carrier	[MJ]	850.92	64.45	0.61	216.11
Non-renewable primary energy as material utilization	[MJ]	14.29	0.00	0.00	0.00
Total use of non-renewable primary energy resources	[MJ]	865.22	64.45	0.61	216.11
Use of secondary material	[kg]	0.00	0.00	0.00	0.00
Use of renewable secondary fuels	[MJ]	0.00	0.00	0.00	0.00
Use of non-renewable secondary fuels	[MJ]	0.00	0.00	0.00	0.00
Use of net fresh water	[m³]	2.02	0.00	0.01	0.04

RESULTS OF THE LCA – OUTPUT FLOWS AND WASTE CATEGORIES: 1 t Jura Limestone façade panels and wall cladding (corresponds to 12.82 m², 30 mm thick)

Parameter	Unit	A1-A3	A4	B2	C4
Hazardous waste disposed	[kg]	1.32E-5	4.06E-6	1.12E-5	3.42E-6
Non-hazardous waste disposed	[kg]	1.35E+3	4.70E-3	8.28E-3	1.00E+3
Radioactive waste disposed	[kg]	9.03E-3	7.40E-5	5.89E-6	2.92E-3
Components for re-use	[kg]	0.00	0.00	0.00	0.00
Materials for recycling	[kg]	0.00	0.00	0.00	0.00
Materials for energy recovery	[kg]	0.00	0.00	0.00	0.00
Exported electrical energy	[MJ]	0.00	0.00	0.00	0.00
Exported thermal energy	[MJ]	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: IBU - Institut Bauen und Umwelt e.V.

3. CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS

La cubierta de tejado con losas de piedra natural requiere una subestructura impermeable, ya que las losas de piedra natural no están completamente impermeabilizadas, y el agua de lluvia puede pasar principalmente, a través de las juntas.

El revestimiento de la cubierta con losas de piedra natural es independiente de la construcción de la cubierta existente, pero el peso neto de las losas de piedra natural y de la subestructura debe tenerse en cuenta para el análisis estructural de la cubierta y del edificio.
Por regla general, se aplica una capa de impermeabilización con juntas superpuestas a la estructura de la cubierta hecha de hormigón armado o de vigas de madera con encofrado de tablas.

En las capas de aislamiento hídrico se fijan perfiles de apoyo para sostener los perfiles verticales de los carriles a la distancia estática requerida. Al perforar las capas de aislamiento hídrico, se debe tener cuidado de asegurar una fijación impermeable (por ejemplo, con placas laterales de goma). En los perfiles de riel verticales, los perfiles de riel horizontales se atornillan a una distancia del ancho de las placas de piedra natural. En los perfiles de carril horizontales se fijan los ángulos de retención para las placas de piedra natural en función de las longitudes de las placas.
Sobre esta subestructura se fijan las placas de piedra natural. En caso de cargas de viento muy elevadas, puede ser necesaria una protección mecánica adicional para la posición de las placas de piedra natural.
Debe considerarse la protección anticorrosiva requerida para todas las fijaciones metálicas.

Los elementos auxiliares necesarios en cada caso, así como su dimensionamiento y disposición, deben determinarse mediante el análisis structural establecido.

Con el sistema de construcción de tejados autoportantes, las piedras naturales expuestas amplían su ámbito de aplicación, pudiendo utilizarse tanto en edificios residenciales o de oficinas, con paneles de proporciones geométricas modestas, como en edificios industriales o comerciales, con paneles de grandes proporciones.

Además de su buen comportamiento estructural, desde el punto de vista funcional, esta cubierta presenta un excelente comportamiento higrotérmico al permitir el paso de una cámara de aire y un aislamiento térmico continuo por delante de la estructura, evitando así los puentes térmicos en la cubierta.
La eliminación de los puentes térmicos reduce la demanda energética del edificio, así como el riesgo de formación de condensaciones superficiales en estos puntos, permitiendo la construcción de edificios con un nivel de eficiencia energética muy elevado.

Asimismo, si los requisitos de impermeabilidad lo aconsejan, las cubiertas autoportantes con piedra natural permiten la ventilación de la cámara de aire, consiguiendo una cubierta con las ventajas de la cubierta ventilada (con un mayor grado de impermeabilidad y un menor riesgo de

formación de condensaciones intersticiales en el cerramiento) y otras ventajas adicionales asociadas a la piedra natural (como la durabilidad, el bajo mantenimiento, etc.).

Por todo ello, este sistema constructivo es la solución óptima para las fachadas ventiladas de piedra natural en la construcción de Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo (EECN) y Passivhaus.

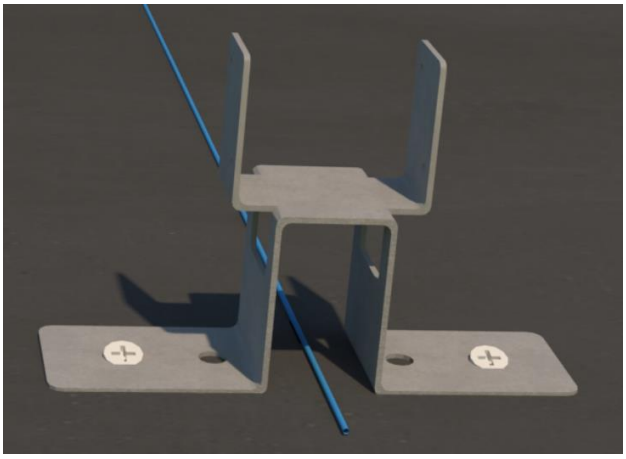
Además, este sistema constructivo permite conseguir un perfecto aplomo y planitud de la hoja exterior de la fachada, independientemente de las desviaciones geométricas de la estructura, así como homogeneidad en la tonalidad del paño de la fachada.

3.1 Elementos auxiliares

La estabilidad y resistencia del revestimiento autoportante frente a acciones horizontales y verticales se resuelve con anclajes y raíles metálicos, que tienen una función estructural en las cubiertas autoportantes.

3.1.1. Soportes metálicos

Las escuadras metálicas se instalan para soportar el perfil vertical en ambos lados. Es necesario utilizar tanto soportes metálicos de punto fijo (en el extremo superior de cada perfil) como soportes con un punto deslizante para permitir el movimiento del perfil.

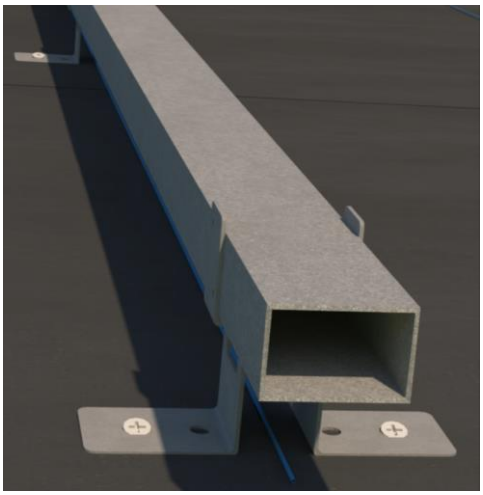


Fuente: Website del Proyecto BIMstone.

3.1.2. Perfiles

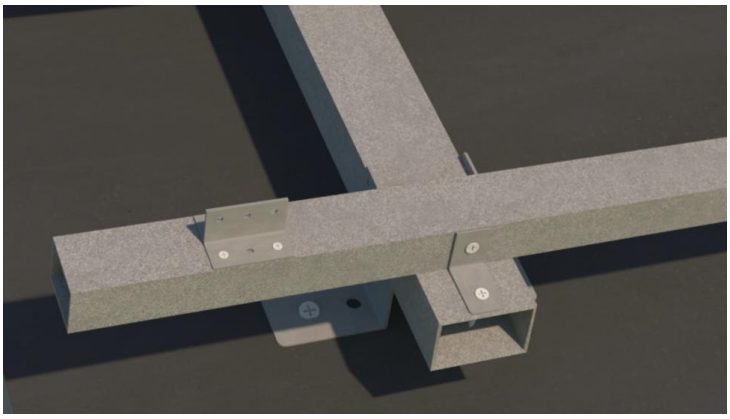
En este tipo de fachada ventilada con estructura autoportante son necesarios dos tipos de perfiles:

- Perfiles verticales: Estos perfiles deben permitir una cámara de aire entre el aislamiento y el material de revestimiento. Para una óptima circulación del aire, la cámara debe permitir un mínimo de 2 cm de ancho en las zonas estrechas.



Fuente: Website del Proyecto BIMstone.

- Perfiles horizontales: Estos perfiles se fijarán sobre los perfiles verticales con una separación que dependerá de las dimensiones de las losas de piedra natural y del grosor del soporte de fijación y con una separación de movimiento de 2 mm como mínimo. Por ejemplo, si las losas son de 60 x 30 cm y el soporte de fijación tiene un grosor de 3 mm, la dimensión axial entre los perfiles debe ser de 305 mm (= 300 + 3 + 2).



Fuente: Website del Proyecto BIMstone.

3.1.3. Aislamiento

En función de los requisitos del proyecto y de las condiciones climáticas de la zona en la que se vaya a instalar, se elegirá el aislamiento más adecuado. El aislamiento térmico se instala bajo el encofrado y la membrana de impermeabilización.

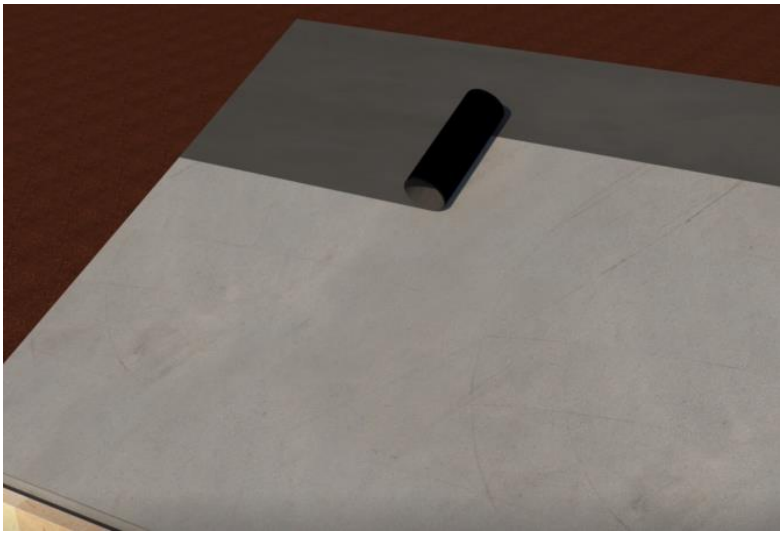
Existen en el mercado varios tipos de aislamiento adecuados para los revestimientos ventilados. La naturaleza y el grosor del aislamiento deben calcularse cuidadosamente en función de cada proyecto, teniendo en cuenta los distintos factores (tipo de edificio, ubicación y exposición...).

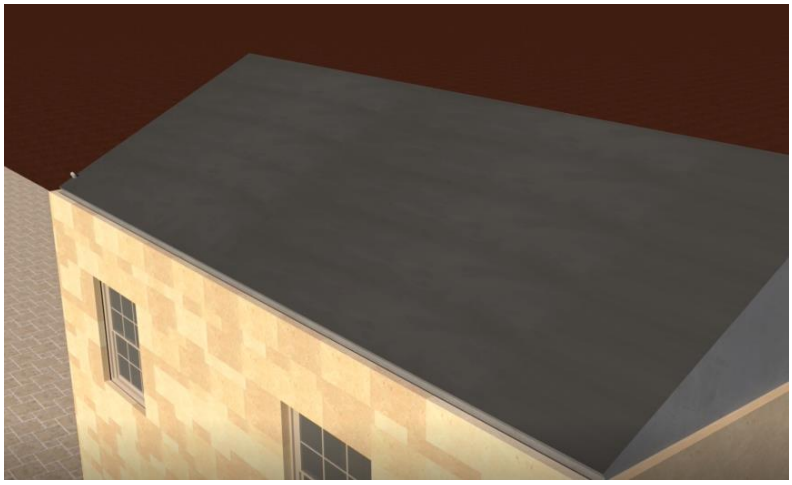
4. PROCESO CONSTRUCTIVO

4.1. Colocación de la capa impermeable

El primer paso para conseguir una cubierta impermeabilizada es colocar la capa de impermeabilización, evitando que el agua o la humedad entren en el edificio (goteras).

Para optimizar la colocación de esta impermeabilización, se hará de arriba a abajo y de izquierda a derecha y haciendo unos pequeños solapes entre las capas adyacentes para que no queden huecos sin impermeabilizar. Este proceso se repetirá hasta que toda la superficie esté completamente cubierta.

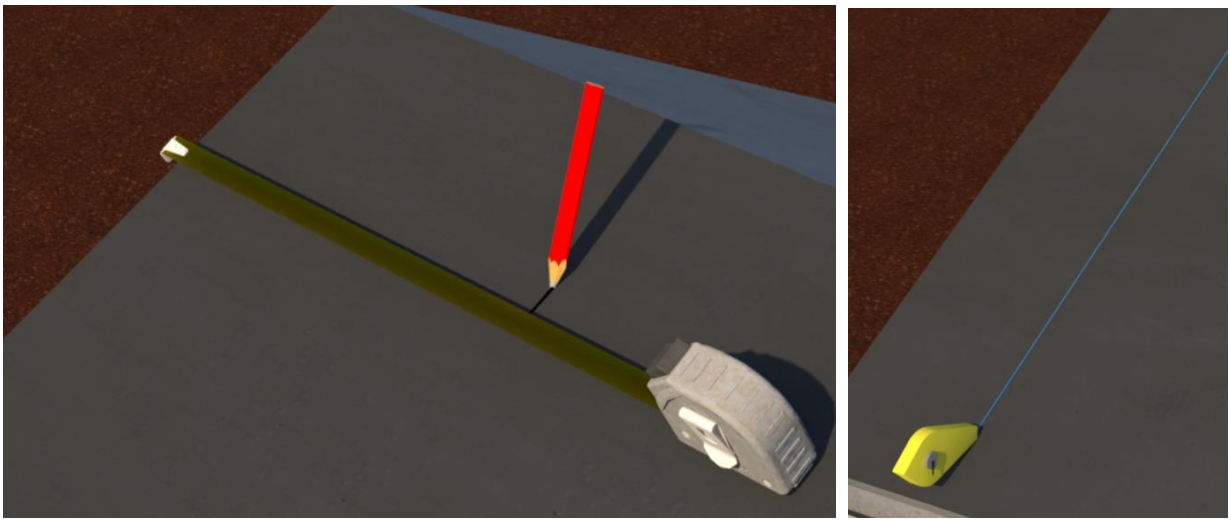




Fuente: Website del Proyecto BIMstone.

4.2. Disposición de los soportes metálicos

Para comenzar con el proceso de construcción de la cubierta ventilada, se colocarán los soportes metálicos sobre el manto impermeable. Para ello, se utilizará una regla o un nivel láser, y se utilizará el listón para dejar marcas en el soporte sobre el que se colocará toda la estructura de soporte de la cubierta. Con este trazado, se determinará la posición exacta de los perfiles que serán necesarios según los planos.

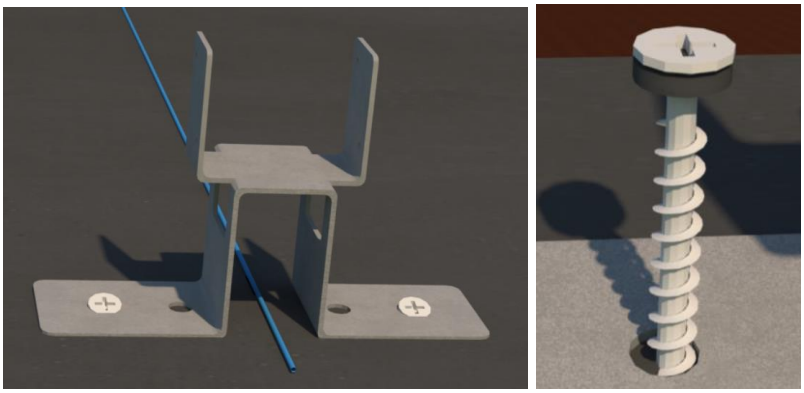


Fuente: Website del Proyecto BIMstone.

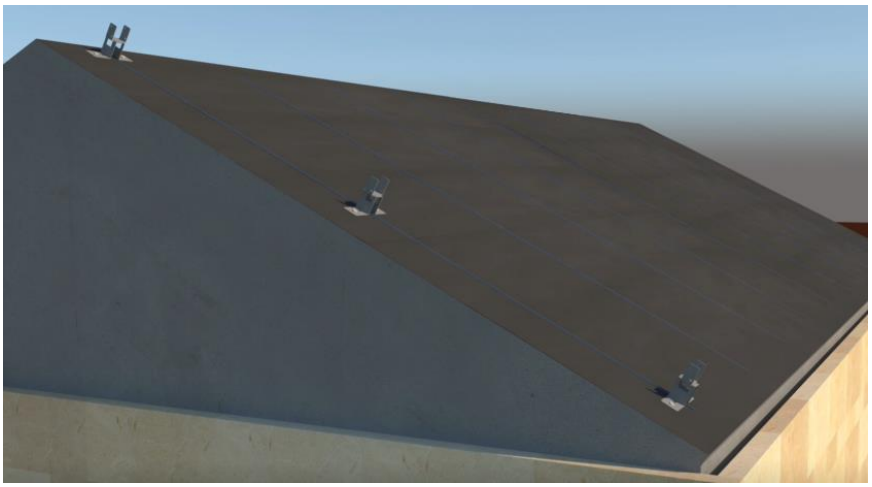
4.3. Fijación de los soportes metálicos

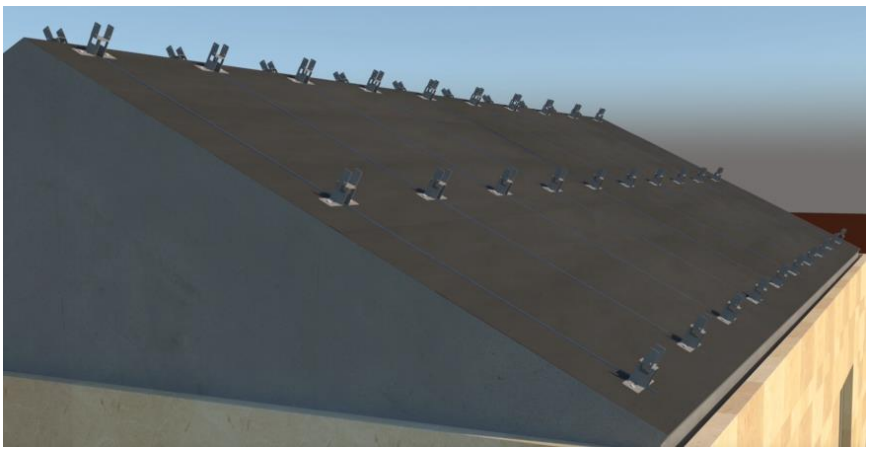
Las ménsulas metálicas se instalarán de forma escalonada para soportar el perfil vertical.

Las dimensiones de las ménsulas metálicas y la distancia de fijación deben obtenerse a partir del análisis estructural.
Para la fijación de las ménsulas metálicas se utilizarán tornillos con juntas. El sellado de los tornillos servirá de impermeabilización en la zona del agujero creado por el tornillo.



Fuente: Website del Proyecto BIMstone.



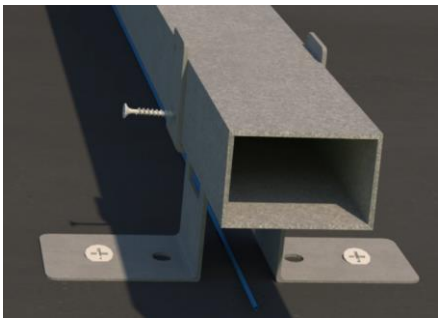


Fuente: Website del Proyecto BIMstone.

4.4. Fijación de los perfiles verticales

Los perfiles verticales se fijarán a los soportes metálicos de forma que se garantice una cámara de aire ventilada con un grosor mínimo de 2 cm. La posible dilatación térmica de los perfiles debe tenerse en cuenta en la fijación (punto fijo y punto deslizante).

Los perfiles verticales deben estar perfectamente nivelados para recibir el resto de los componentes del sistema constructivo de la cubierta ventilada.



Fuente: Website del Proyecto BIMstone.

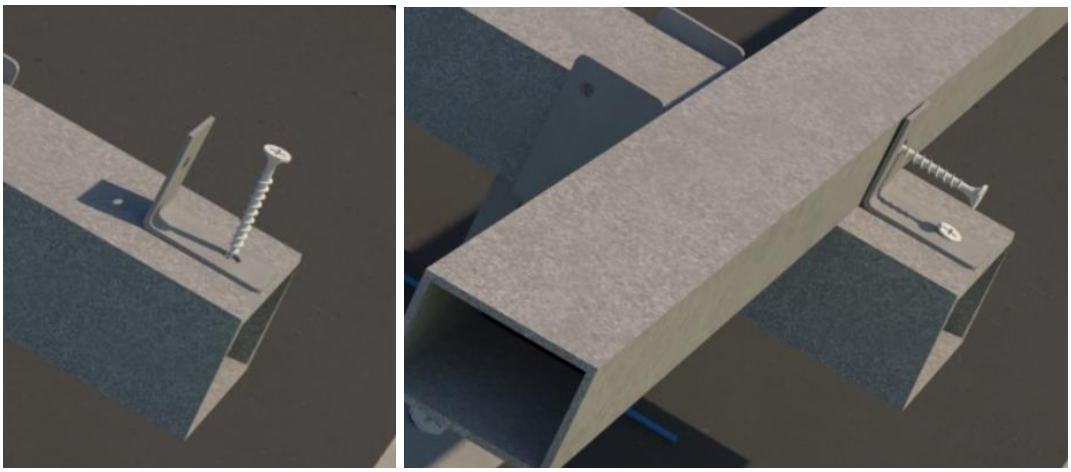
Fuente: Website del Proyecto BIMstone.

4.5. Fijación de los perfiles horizontales

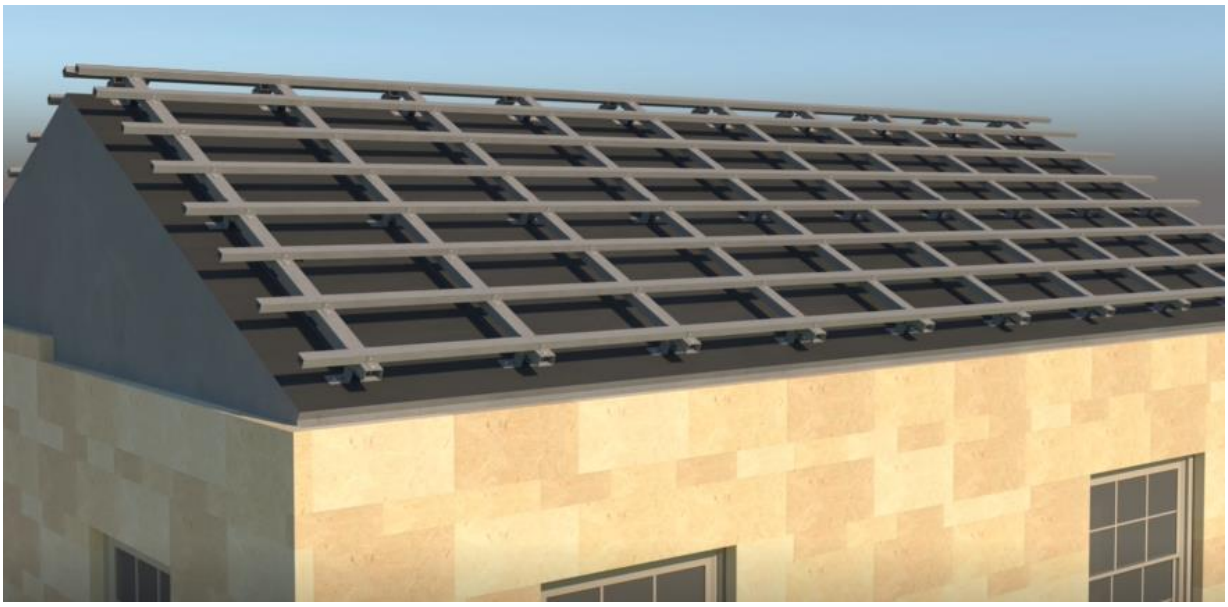
Una vez colocados los perfiles verticales, se instalarán los perfiles horizontales y se fijarán a los verticales en cada intersección.

La separación entre perfiles horizontales es de 305 mm, para piedra natural o piezas de 600 x 300 mm, teniendo en cuenta el grosor del soporte de fijación y una holgura de movimiento de 2 mm como mínimo.

Los perfiles horizontales deben estar perfectamente nivelados ya que su posición dictará la posición final de las losas de piedra natural.



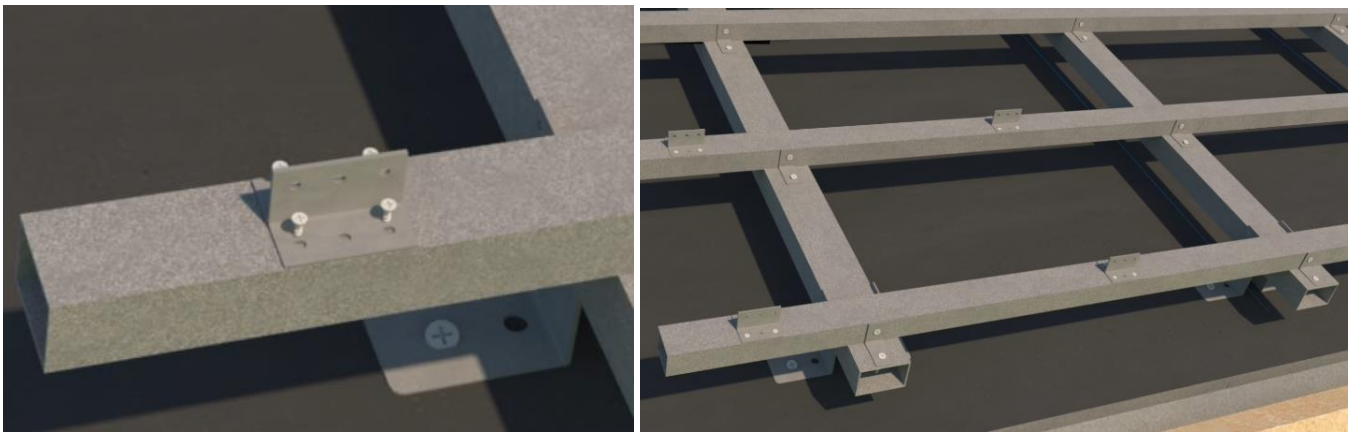
Fuente: Website del Proyecto BIMstone.



Fuente: Website del Proyecto BIMstone.

4.6. Fijación de los soportes para las losas de piedra natural

Una vez colocados los perfiles horizontales, se instalarán las escuadras de fijación para sujetar las losas de piedra natural. Se pide un mínimo de dos soportes por losa. Para las losas muy largas, se recomiendan tres o más soportes.



Fuente: Website del Proyecto BIMstone.

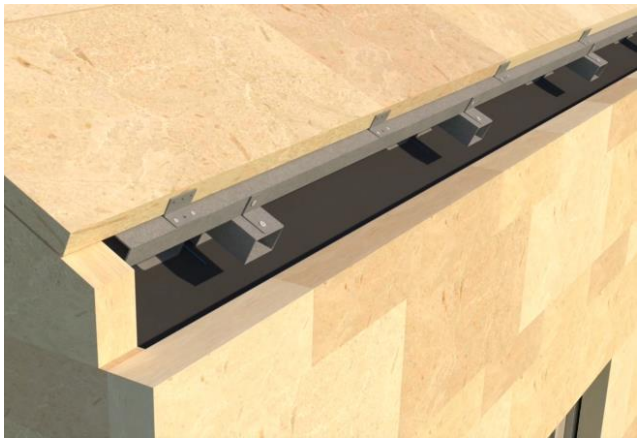
4.7. Colocación de las losas de piedra natural en el cubierta

A continuación, se instalarán las losas de piedra natural de acabado en el tejado. Si es necesario, las losas de piedra natural deben asegurarse contra la succión del viento.

Fuente: Website del Proyecto BIMstone.

4.8. Colocación de la piedra inferior

En el alero del tejado se instalará una pieza especial de piedra natural para cerrar el hueco entre el muro y el tejado. Se recomienda utilizar una piedra natural con perfil de canalón, para recoger el agua de lluvia y desviarla a una bajante interior.



Fuente: Website del Proyecto BIMstone.

Fuente: Website del Proyecto BIMstone.

4.9. Finalización de la instalación

Repetición de los procesos indicados en los pasos anteriores hasta completar la superficie total del techo y sus bordes con las piezas especiales. De esta manera, el proceso de colocación del techo ventilado con losas de piedra natural estará terminado.

Fuente: Website del Proyecto BIMstone.

5. RESUMEN. PASOS A SEGUIR EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO

A continuación se resumen los pasos a seguir para el proceso de construcción de fachada ventilada autoportante:

1. Colocación de la capa impermeable.
2. Disposición de los soportes metálicos.
3. Fijación de los soportes metálicos.
4. Fijación de los perfiles verticales.
5. Fijación de los perfiles horizontales.
6. Fijación de los soportes para las losas de piedra natural.
7. Colocación de las losas de piedra natural en el cubierta.
8. Colocación de la piedra inferior.
9. Finalización de la instalación.

6. REFERENCIAS

1. Website del Proyecto BIMstone. www.bimstoneproject.eu/bimstone-products

2. Jura Limestone façade panels and wall cladding. Franken-Schotter GmbH & Co. KG. Environmental Product Declaration. IBU – Institut Bauen und Umwelt e.V. https://epd-online.com/EmbeddedEpdList/Download/10098

3. Video “02. Marble or granite inclined roofs construction process” del Proyecto BIMstone. https://www.youtube.com/watch?v=pQHL5ak0uHw