



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR  
D'ARQUITECTURA

TRABAJO DE FIN DE GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA

# CUBIERTAS VEGETALES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA



AUTOR: GEMMA GARCÍA MONFORT  
TUTOR: FRANCISCO CUBEL ARJONA

CURSO ACADÉMICO: 2015-2016

## ÍNDICE

RESUMEN .....	3
OBJETIVOS.....	4
INTRODUCCIÓN .....	5
DESARROLLO .....	7
1. FUNCIONES DE LAS CUBIERTAS .....	7
1.1 FUNCIONES PROYECTUALES .....	7
1.2 FUNCIONES TÉCNICAS .....	7
2. CLASIFICACIÓN DE LAS CUBIERTAS.....	12
3. CUBIERTAS VEGETALES.....	21
3.1 INTRODUCCIÓN.....	21
3.2 CONTEXTO HISTÓRICO Y EVOLUCIÓN .....	23
3.3 TIPOS .....	25
3.3.1. CUBIERTA ECOLÓGICA O EXTENSIVA .....	25
3.3.2. CUBIERTA JARDÍN O AJARDINADA INTENSIVA.....	25
3.4 CONSTRUCCIÓN.....	26
3.5 PROYECTOS RECIENTES.....	28
3.5.1. Centro juvenil Gary Comer .....	28
3.5.2. Cubierta vegetal del MoMA .....	29
3.5.3. Cubiertas verdes Biblioteca Mercé Rodoreda .....	30
4. AHORRO DE ENERGÍA .....	31
4.1 REHABILITACION CON CUBIERTAS VEGETALES .....	31
4.2. EJEMPLO DE APLICACIÓN.....	35
4.2.1. Justificación del edificio elegido.....	35
4.2.2. Estudio de la envolvente actual.....	38
4.2.3. Renovación de la cubierta .....	39
4.2.4. Calificación energética de la envolvente actual .....	40
4.2.5. Calificación energética de la envolvente con la cubierta renovada .....	41
4.2.6. Presupuesto .....	41
4.2.7. Recuperación de la inversión .....	42
CONCLUSIONES .....	45
REFERENCIAS .....	46
BIBLIOGRAFÍA .....	46
ÍNDICE FIGURAS.....	48
ANEXO 01 .....	51
ANEXO 02.....	52
ANEXO 03.....	53

---

## RESUMEN

La cubierta vegetal, pese a que se ha venido utilizando desde la antigüedad, presenta en la actualidad un especial interés en pos de la consecución de los objetivos de sostenibilidad y lucha contra el cambio climático. Partiendo de una vivienda base de los años 50 situada en la ciudad de Valencia, se observa que la instalación de una cubierta vegetal mejora sustancialmente la eficiencia energética; calculando ésta mediante el modelo CE3X. La instalación de una cubierta ajardinada en una vivienda muy deficiente constructivamente permite mejorar su calificación energética de G a E. Éste efecto se observa más claramente en las viviendas en contacto directo con la cubierta vegetada. Además, se ha estimado que el periodo de amortización de la inversión es de aproximadamente 11 años. Por último, destacar que existen una serie de beneficios a escala de ciudad, no considerados en el presente estudio.

**Palabras clave:** #cubiertas vegetales - #sostenibilidad - #eficiencia energética - #arquitectura biosostenible - #adaptación del cambio climático.

## RESUM

La coberta vegetal, malgrat que s'ha vingut utilitzant des de l'antiguitat, presenta en l'actualitat un especial interès en la consecució dels objectius de sostenibilitat i lluita front el canvi climàtic. Partint d'una vivenda base dels anys 50 situada a la ciutat de València, s'observa que la instal·lació d'una coberta vegetal millora substancialment l'eficiència energètica; calculant esta mitjançant el model CE3X. La instal·lació d'una coberta enjardinada en un habitatge molt deficient constructivament permet millorar la seva qualificació energètica de G a E. Aquest efecte s'observa més clarament en les vivendes en contacte directe amb la coberta vegetal. A més, s'ha estimat que el període d'amortització de la inversió és, aproximadament, d'11 anys. Per últim, cal destacar que existeixen una sèrie de beneficis a escala de ciutat, no considerats en el present estudi.

**Paraules clau:** #cobertes vegetals - #sostenibilitat - #eficiència energètica - #arquitectura biosostenible - #adaptació del canvi climàtic.

## SUMMARY

Green roofs, in spite of they have been used since antiquity, their sustainability and climate change improvements put them in the spotlight. In this study, we chose a dwelling built in the fifties, located in the city of Valencia, and explored how the construction of a green roof is improving substantially the energy efficiency; estimating that by means of CE3X model. The installation of a green roof in a constructively highly deficient dwelling, allow to move building's energetic efficiency classification value from G to E. This effect boosts as dwellings are in direct contact with the green roof. Besides, the return period for the investment has been estimated in 11 years. Finally, a lot of city-scale benefits are not being considered in the present study due to the excessive length it would reach.

**Key words:** #green roofs - #sustainability - #energy efficiency - #green Building -#climate change adaptation.

---

## **OBJETIVOS**

Un primer objetivo del presente trabajo es realizar un estudio de la tipología de las cubiertas vegetales en el ámbito de la edificación. Para ello investigaremos sobre la función de las cubiertas y realizaremos una clasificación de ellas.

En segundo lugar nos centramos en la tipología de cubiertas ajardinadas. Para ello realizaremos un estudio y clasificación de las mismas para tratar de encontrar una tipología que se ajuste en la ciudad de Valencia.

Por último elegiremos un ejemplo de aplicación para poder observar la eficiencia energética entre un edificio antiguo de la ciudad de Valencia con una cubierta convencional y este mismo edificio rehabilitándolo con una cubierta vegetal. La propuesta de intervención incluirá los materiales a utilizar, los detalles constructivos necesarios y la mejora en la calificación energética.

En definitiva basamos el siguiente trabajo en realizar un análisis exhaustivo del diseño constructivo de las cubiertas para poder desarrollar una arquitectura sostenible.

---

## INTRODUCCIÓN

La arquitectura, entendida no como un arte o una ciencia sino como una necesidad básica, se funda en los albores de la humanidad. Parece lógico buscar los orígenes de la arquitectura en el momento en que el hombre abandonó las cuevas y comenzó a construirse sus propios refugios. Inicialmente, estas construcciones, destinadas a proteger a los usuarios de la lluvia y la nieve, estarían formadas por una cubierta de materiales vegetales y pilares rudimentarios. Como vemos, el concepto de arquitectura nace alrededor, o mejor dicho, bajo la cubierta.



Fig. 1 Reconstrucción actual de un posible refugio

Ya en los primeros tiempos se definieron dos puntos de vista que se han mantenido hasta la actualidad: ¿La cubierta debe ser plana o inclinada? ¿Qué ventajas e inconvenientes tiene una respecto a la otra? ¿Podemos encontrar una combinación 'perfecta' de ambas?

Esta problemática se ha afrontado de diversas formas desde la antigüedad; manteniéndose viva la discusión hoy en día; en la actualidad, podemos encontrar defensores y detractores para cada tipo de cubierta.

En las primeras civilizaciones encontramos multitud de ejemplos de uno y otro tipo. Los egipcios empleaban desde un sistema adintelado hasta un sistema de bóvedas primitivas, utilizando materiales como madera y hojas de palmera.

Es en la civilización mesopotámica donde encontramos las primeras construcciones con cubiertas planas con la ejecución de los célebres Jardines colgantes de Babilonia. Por el contrario, en Grecia se optará por la utilización de cubiertas inclinadas, ventiladas, de madera y protegida con materiales cerámicos.

En Roma, se optó por soluciones más complejas, como las bóvedas y cúpulas de hormigón romano, ocasionalmente sosteniendo cubiertas planas. Como sistemas de protección se utilizaron tejas de barro cocido, ladrillos colocados en plano e incluso piezas de bronce. La arquitectura bizantina, que fue seguidora de la romana, utilizará el ladrillo como elemento resistente e impermeabilizante.

Durante la Edad Media podemos encontrar dos grandes corrientes en cuanto al diseño y la construcción de las cubiertas. Por un lado, encontramos cubiertas inclinadas con sistemas de evacuación de aguas muy complejos en el mundo occidental. Por otro, encontramos las cubiertas musulmanas, en las que la teja vidriada de colores es muy representativa.

Entre el Renacimiento y el siglo XIX se produce el desarrollo de varios sistemas: la pizarra sobre elementos de madera, la madera empleada como tejas y protegida con aceite y pinturas, incluso se utiliza paja sujeta a las correas en haces. Es en el siglo XIX cuando se perfeccionan los sistemas estructurales de las cubiertas utilizando acero y hierro.

En el siglo XX se siguen empleando, aunque más perfeccionadas, las cubiertas tradicionales de teja, pizarra, uralita, elementos metálicos y los paneles sándwich, tanto de madera hidrófuga como de chapa ondulada. (Tejela, Navas, & Machín, 2013)

A modo de resumen, y en cuanto a los materiales, encontramos mucha variedad. Primeramente, podemos señalar las cubiertas vegetales, formadas por piezas de esta

procedencia pero extraídas del sustrato. En segundo lugar, destacaremos materiales de origen terrestre o animal amasados con agua, como el adobe o el barro. Como una evolución de los anteriores encontramos materiales cerámicos, obtenidos tras cocer en un horno el material amasado con agua. Ya en tiempos más modernos aparecen las planchas autoportantes de distintos materiales, como el acero, el fibrocemento o plásticos. Por último, podemos destacar el uso de materiales naturales en los cerramientos sujetos a un sustrato; de forma que se mantengan sus funciones vitales (Department Technology of Architecture ).

El ser humano, con la función de protección frente a la lluvia o la nieve garantizada, busca nuevos problemas que resolver. Es en el marco de esta continua búsqueda de mejoras cuando aparecen las cubiertas vegetadas; éstas favorecen la eficiencia energética de las viviendas y del ambiente del conjunto de la ciudad (Santamouris, et al., 2007).



Fig. 2 Cubierta extensiva en la Universidad Tecnológica de Nanyang, Singapur



Fig. 3 Green roofs, Copenhagen

Los edificios suponen una parte importante de la energía que consume la sociedad, utilizada principalmente en la fabricación de los materiales de construcción y en mantener las condiciones de habitabilidad deseadas de los edificios (Roger, 2015), especialmente en el contexto actual en el que uno de los mayores retos a los que se enfrenta la humanidad es el cambio climático. Los efectos de este cambio climático son especialmente perceptibles en los entornos urbanos y periurbanos, en los que a la subida media de la temperatura se le añade el efecto isla de calor propio de los mismos.

Una mejora sistemática y generalizada de la eficiencia en el mantenimiento de las condiciones de habitabilidad supone una doble mejora. Por una parte, una reducción del efecto isla de calor y, por otra parte, una disminución del consumo energético. Esta disminución lleva aparejada un ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero (GHGs) en los puntos de producción eléctrica, como centrales térmicas y/o nucleares.

**DESARROLLO****1. FUNCIONES DE LAS CUBIERTAS**

Las cubiertas son elementos que actúan de igual modo que un cerramiento exterior, por lo tanto deberán satisfacer una serie de condiciones para que el edificio cumpla unos requisitos proyectuales y de confort.

Por lo tanto podemos clasificar las funciones de las cubiertas en dos ámbitos:

- Funciones proyectuales
- Funciones técnicas

**1.1 FUNCIONES PROYECTUALES**

Cuando hablamos de funciones proyectuales nos referimos a como este tipo de cerramiento es capaz de darle una imagen exterior al edificio. Existen ciertos casos en los que las cubiertas, debido a su textura, color y forma, se convierten en la fachada más importante del edificio. El Mercado de Santa Catalina en Barcelona de Enric Miralles o la Ópera de Sídney en Australia de Utzon son casos en los que la cubierta se convierte en la parte fundamental del edificio.

Enric Miralles en la cubierta del Mercado pretende reproducir una metáfora de un inmenso mar coloreado por el recuerdo de frutas y verduras. (Massad & Guerrero Yeste)

En el caso de la obra de Utzon podemos observar que la cubierta consiste en una serie de conchas triangulares apoyadas en un vértice y abierta hacia arriba que representan una idea de fragmentación contraria a la idea unitaria del zócalo. (www.wikiarquitectura.com)



Fig. 5 Mercado de Santa Caterina, Barcelona. Enric Miralles



Fig. 4 Ópera House, Sydney. Jorn Utzon

**1.2 FUNCIONES TÉCNICAS**

La cubierta es una de las partes de la piel del edificio y debe cumplir unas condiciones de resistencia, confort y habitabilidad (II, 2014/2015).

**1.2.1 FUNCIONES TÉCNICAS: resistencia mecánica**

La resistencia mecánica es, la capacidad que presenta la cubierta para resistir las cargas aplicadas en ésta sin llegar a romperse. Debe hacer frente a las acciones térmicas y a las dilataciones que afectan directamente sobre la cubierta. La resistencia mecánica y la estabilidad de la cubierta y de cada uno de sus elementos debemos analizarla teniendo en cuenta:

- Las acciones gravitatorias, es decir el peso propio de los elementos
- Las sobrecargas o acciones variables
- La nieve

- El viento, tanto de presión como de succión
- Acciones térmicas como pueden ser los cambios de temperatura. La radiación solar puede producir un sobrecalentamiento del elemento de cubierta que se transmite a las capas inferiores provocando dilataciones y contracciones que producen un envejecimiento en dichas capas.
- Sismo

**Tabla 4.1 Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ ) para las acciones**

Tipo de verificación <sup>(1)</sup>	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
<b>Resistencia</b>	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,35	0,80
	Empuje del terreno	1,35	0,70
	Presión del agua	1,20	0,90
	Variable	1,50	0
<b>Estabilidad</b>		<b>desestabilizadora</b>	<b>estabilizadora</b>
	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,10	0,90
	Empuje del terreno	1,35	0,80
	Presión del agua	1,05	0,95
	Variable	1,50	0

<sup>(1)</sup> Los coeficientes correspondientes a la verificación de la resistencia del terreno se establecen en el DB-SE-C

**Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad ( $\psi$ )**

	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría E)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría F)		<sup>(1)</sup>	
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría G)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

<sup>(1)</sup> En las cubiertas transitables, se adoptarán los valores correspondientes al uso desde el que se accede.



### 1.2.2 FUNCIONES TÉCNICAS: estanqueidad

La cubierta debe proteger al edificio de la intemperie, es decir, evitar las infiltraciones de agua de lluvia o de nieve. Además, deberá tener una capa impermeabilizante que sea capaz de evitar que el agua alcance capas de la cubierta inferiores que puedan ser causa de diferentes patologías.

#### 2.4.1 Grado de impermeabilidad

- 1 Para las cubiertas el *grado de impermeabilidad* exigido es único e independiente de factores climáticos. Cualquier *solución constructiva* alcanza este *grado de impermeabilidad* siempre que se cumplan las condiciones indicadas a continuación.

### 1.2.3 FUNCIONES TÉCNICAS: aislamiento térmico

Cuando hablamos de aislamiento térmico en una cubierta nos referimos a saber controlar las diferentes pérdidas y ganancias de calor para amortiguar y reducir los efectos de las temperaturas exteriores. Dependiendo del uso de la cubierta deberemos elegir un tipo de aislante térmico.

## Sección HE 2

### Rendimiento de las instalaciones térmicas

Exigencia básica HE 2: Rendimiento de las instalaciones térmicas

Los edificios dispondrán de instalaciones térmicas apropiadas destinadas a proporcionar el *bienestar térmico* de sus ocupantes. Esta exigencia se desarrolla actualmente en el vigente Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, RITE, y su aplicación quedará definida en el *proyecto del edificio*.

### 1.2.4 FUNCIONES TÉCNICAS: aislamiento acústico

Deberá cumplir con los niveles de ruido exterior permitidos que podemos encontrar en el CTE-DB HR (Protección contra el ruido).

**Tabla 2.1 Valores de aislamiento acústico a ruido aéreo,  $D_{2m,nT,Atr}$ , en dBA, entre un recinto protegido y el exterior, en función del índice de ruido día,  $L_d$ .**

$L_d$ dBA	Uso del edificio			
	Residencial y hospitalario		Cultural, sanitario <sup>(1)</sup> , docente y administrativo	
	Dormitorios	Estancias	Estancias	Aulas
$L_d \leq 60$	30	30	30	30
$60 < L_d \leq 65$	32	30	32	30
$65 < L_d \leq 70$	37	32	37	32
$70 < L_d \leq 75$	42	37	42	37
$L_d > 75$	47	42	47	42

<sup>(1)</sup> En edificios de uso no hospitalario, es decir, edificios de asistencia sanitaria de carácter ambulatorio, como despachos médicos, consultas, áreas destinadas al diagnóstico y tratamiento, etc.

### 1.2.5 FUNCIONES TÉCNICAS: aislamiento híbrido

Además deberá resistir los niveles de humedad; ya que este elemento de cerramiento del edificio se encuentra en contacto directo con esta y puede causar diferentes daños en las capas de la cubierta.

**Tabla 2.9 Pendientes de cubiertas planas**

Uso	Protección		Pendiente en %
Transitables	Peatones	Solado fijo	1-5 <sup>(1)</sup>
		Solado flotante	1-5
	Vehículos	Capa de rodadura	1-5 <sup>(1)</sup>
No transitables	Grava		1-5
	Lámina autoprottegida		1-15
Ajardinadas	Tierra vegetal		1-5

<sup>(1)</sup> Para rampas no se aplica la limitación de pendiente máxima.

**Tabla 2.10 Pendientes de cubiertas inclinadas**

			Pendiente mínima en %	
Teja <sup>(3)</sup>	Teja curva		32	
	Teja mixta y plana monocanal		30	
	Teja plana marsellesa o alicantina		40	
	Teja plana con encaje		50	
Pizarra			60	
Tejado <sup>(1)(2)</sup>	Cinc		10	
	Fibrocemento	Placas simétricas de onda grande	10	
		Placas asimétricas de nervadura grande	10	
		Placas asimétricas de nervadura media	25	
	Sintéticos	Perfiles de ondulado grande	10	
		Perfiles de ondulado pequeño	15	
		Perfiles de grecado grande	5	
		Perfiles de grecado medio	8	
	Placas y perfiles	Perfiles nervados	10	
		Galvanizados	Perfiles de ondulado pequeño	15
			Perfiles de grecado o nervado grande	5
		Perfiles de grecado o nervado medio	8	
		Perfiles de nervado pequeño	10	
	Paneles	5		
	Aleaciones ligeras	Perfiles de ondulado pequeño	15	
Perfiles de nervado medio		5		

- (1) En caso de cubiertas con varios sistemas de protección superpuestos se establece como pendiente mínima la menor de las pendientes para cada uno de los sistemas de protección.
- (2) Para los sistemas y piezas de formato especial las pendientes deben establecerse de acuerdo con las correspondientes especificaciones de aplicación.
- (3) Estas pendientes son para faldones menores a 6,5 m, una situación de exposición normal y una situación climática desfavorable; para condiciones diferentes a éstas, se debe tomar el valor de la pendiente mínima establecida en norma UNE 127.100 ("Tejas de hormigón. Código de práctica para la concepción y el montaje de cubiertas con tejas de hormigón") ó en norma UNE 136.020 ("Tejas cerámicas. Código de práctica para la concepción y el montaje de cubiertas con tejas cerámicas").

### 1.2.6 FUNCIONES TÉCNICAS: protección contra incendios

Deberá ser resistente al fuego y cumplir las exigencias del CTE-DB-SI (Seguridad en caso de incendios).

#### **Artículo 11. Exigencias básicas de seguridad en caso de incendio (SI)**

- 1 El objetivo del requisito básico “Seguridad en caso de incendio” consiste en reducir a límites aceptables el *riesgo* de que los *usuarios* de un *edificio* sufran daños derivados de un incendio de origen accidental, como consecuencia de las características de su *proyecto, construcción, uso y mantenimiento*.
- 2 Para satisfacer este objetivo, los *edificios* se proyectarán, construirán, mantendrán y utilizarán de forma que, en caso de incendio, se cumplan las exigencias básicas que se establecen en los apartados siguientes.
- 3 El Documento Básico DB-SI especifica parámetros objetivos y procedimientos cuyo cumplimiento asegura la satisfacción de las exigencias básicas y la superación de los niveles mínimos de calidad propios del requisito básico de seguridad en caso de incendio, excepto en el caso de los edificios, *establecimientos* y zonas de uso industrial a los que les sea de aplicación el “Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales”, en los cuales las exigencias básicas se cumplen mediante dicha aplicación.<sup>(1)</sup>

#### **11.1 Exigencia básica SI 1 - Propagación interior**

Se limitará el *riesgo* de propagación del incendio por el interior del *edificio*.

#### **11.2 Exigencia básica SI 2 - Propagación exterior**

Se limitará el *riesgo* de propagación del incendio por el exterior, tanto en el *edificio* considerado como a otros *edificios*.

#### **11.3 Exigencia básica SI 3 – Evacuación de ocupantes**

El *edificio* dispondrá de los medios de evacuación adecuados para que los ocupantes puedan abandonarlo o alcanzar un lugar seguro dentro del mismo en condiciones de seguridad.

#### **11.4 Exigencia básica SI 4 - Instalaciones de protección contra incendios**

El *edificio* dispondrá de los equipos e instalaciones adecuados para hacer posible la detección, el control y la extinción del incendio, así como la transmisión de la alarma a los ocupantes.

#### **11.5 Exigencia básica SI 5 - Intervención de bomberos**

Se facilitará la intervención de los equipos de rescate y de extinción de incendios.

### 1.2.7 FUNCIONES TÉCNICAS: durabilidad

Por último deberá presentar una cierta durabilidad en el tiempo, tanto de ella como de los elementos que la componen:

- Estará en función de la durabilidad de sus componentes. Mientras éstos no pierdan sus propiedades funcionales, la cubierta seguirá trabajando correctamente.
- La cubierta presentará una capa protección que, a la vez, servirá de acabado, para evitar el deterioro y envejecimiento prematuro de los elementos que conforman todas sus capas y sobretodo la impermeabilización y aislante térmico.
- El diseño de los elementos que conforman la cubierta, debe realizarse para que puedan resistir los esfuerzos que se produzcan y absorber las diferentes variaciones dimensionales por los movimientos de la cubierta.
- La impermeabilización de la cubierta debe ser compatible con los esfuerzos que sufra ésta para garantizar la durabilidad de los componentes que la constituyen.

## 2. CLASIFICACIÓN DE LAS CUBIERTAS

### 2.1 DETALLES CONSTRUCTIVOS (Cubiertas (I), 1999) (Cubiertas (II), 1998)

#### 2.1.1. Cubierta inclinada ventilada

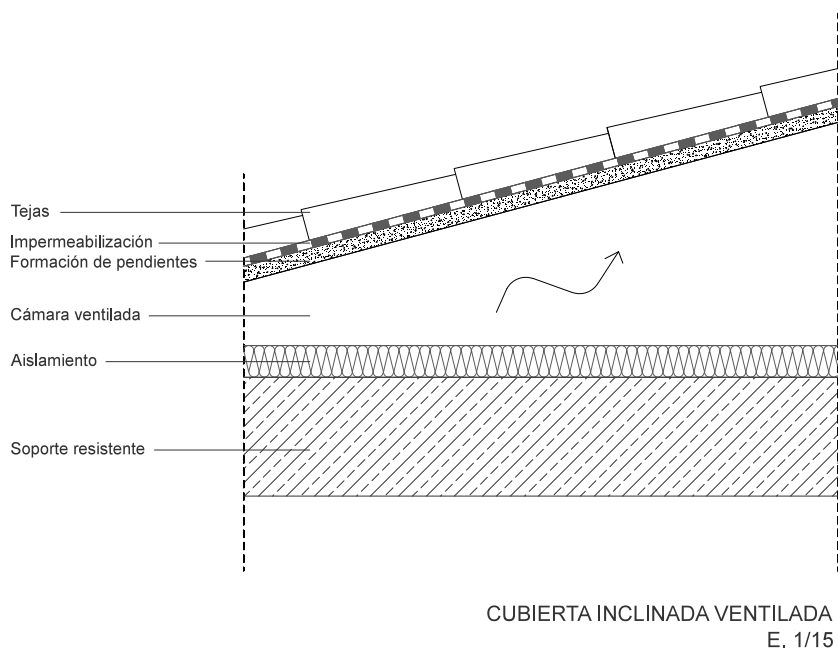


Fig. 6 Detalle cubierta inclinada ventilada

Las cubiertas inclinadas ventiladas, también conocidas como cubiertas de doble techo, doble pared o cubiertas frías, incorporan en ellas una cámara de aire. Ésta servirá, por una parte, de aislamiento y regulación térmica, y por otra parte, reducirá la presión de vapor de agua entre el interior y el exterior, reduciendo así el riesgo de condensaciones.

Con la cámara de aire no conseguiremos la protección térmica deseada por lo que deberemos incorporar aislamiento térmico para mejorar el confort térmico durante el invierno.

En este tipo de cubiertas no va a ser generalmente necesario la colocación de una barrera cortavapor, ya que la protección frente a la humedad se consigue mediante la ventilación de la cubierta.

La cubierta debe permitir la difusión del vapor del agua a través del forjado y de la capa de aislamiento que debe colocarse encima del forjado.

El vapor del agua debe eliminarse por ventilación de la cámara, para poder eliminar las posibles condensaciones de agua que podrían originarse debajo de las capas que constituyen la parte superior de la cubierta.

### 2.1.2. Cubierta inclinada no ventilada

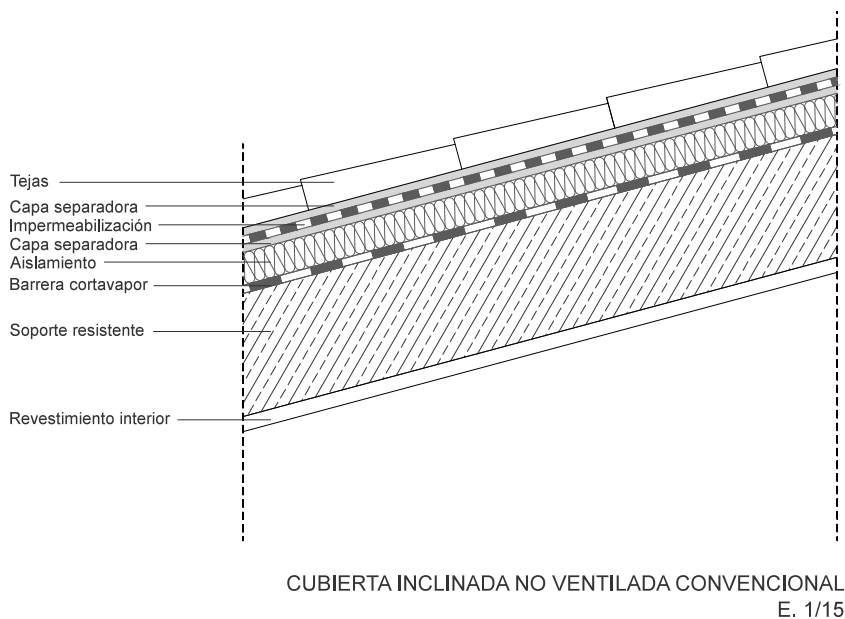


Fig. 7 Detalle cubierta inclinada no ventilada convencional

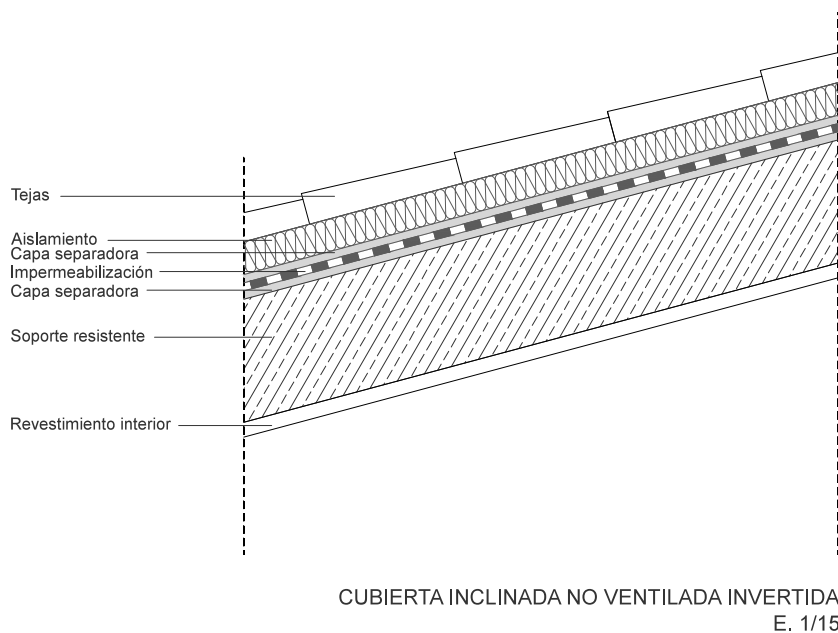


Fig. 8 Detalle cubierta inclinada no ventilada invertida

La cubierta no ventilada, también conocida como cubierta caliente o cubierta de simple pared o una hoja, se compone por una colocación de diversas capas dispuestas contiguamente.

En la figura 7 se representa una cubierta no ventilada convencional, en la que se deberá colocar tanto aislamiento térmico como una barrera cortavapor. La barrera deberá colocarse inmediatamente debajo de la capa de aislamiento térmico o en contacto con la parte más caliente de la cubierta.

En la figura 8 no será necesaria la barrera cortavapor ya que el aislamiento se encuentra en contacto directo con el elemento de coronación de la cubierta.

### 2.1.3. Cubierta plana catalana

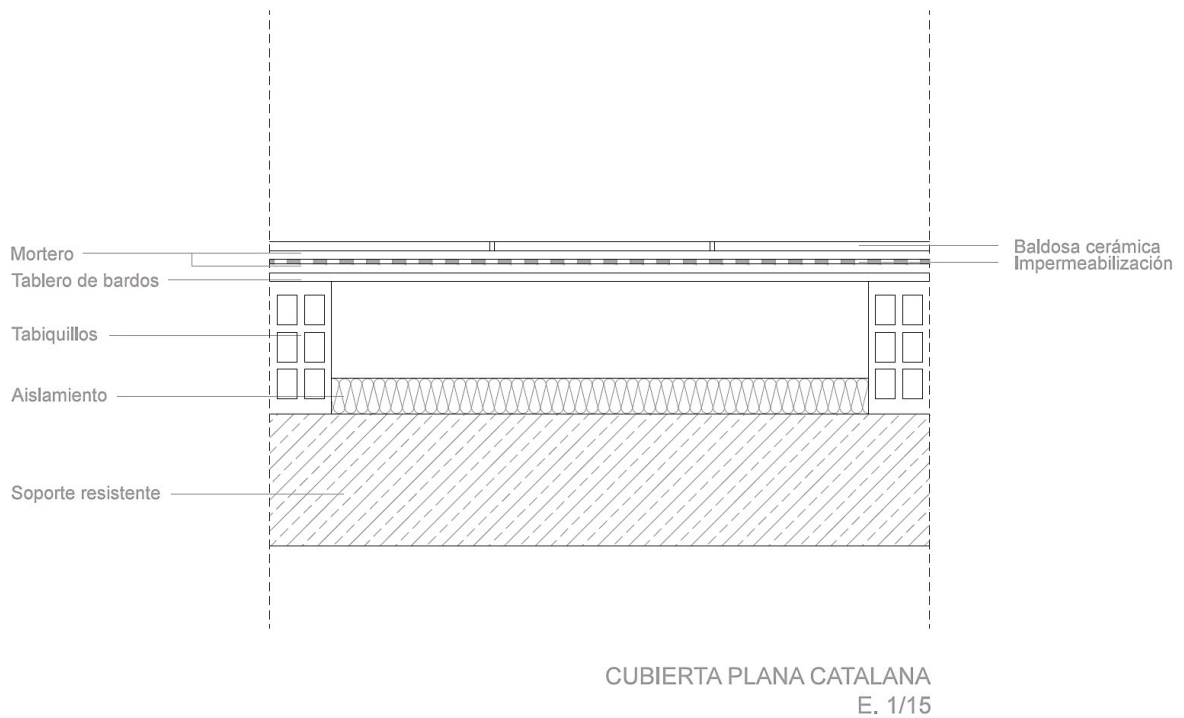


Fig. 9 Detalle cubierta plana catalana

La cubierta plana a la catalana es utilizada en zonas con climas cálidos y en los que en verano se alcanzan altas temperaturas.

En este tipo de cubiertas se levantan sobre el forjado unos tabiquillos, generando una cámara de aire para garantizar un buen aislamiento térmico y una buena ventilación de la cubierta.

El aislamiento térmico se colocará entre los tabiquillos y en contacto con el elemento sustentante. Sobre los tabiquillos instalaremos el tablero de bardos, una capa de mortero y, seguidamente, la lámina impermeabilizante.

No será necesario la colocación de una barrera cortavapor puesto que la cámara de aire impedirá la creación de condensaciones.

La cubierta a la catalana es una cubierta transitable que presenta una pendiente de entre el 1% y el 3% y se puede utilizar como terraza.

### 2.1.4. Cubierta invertida transitable

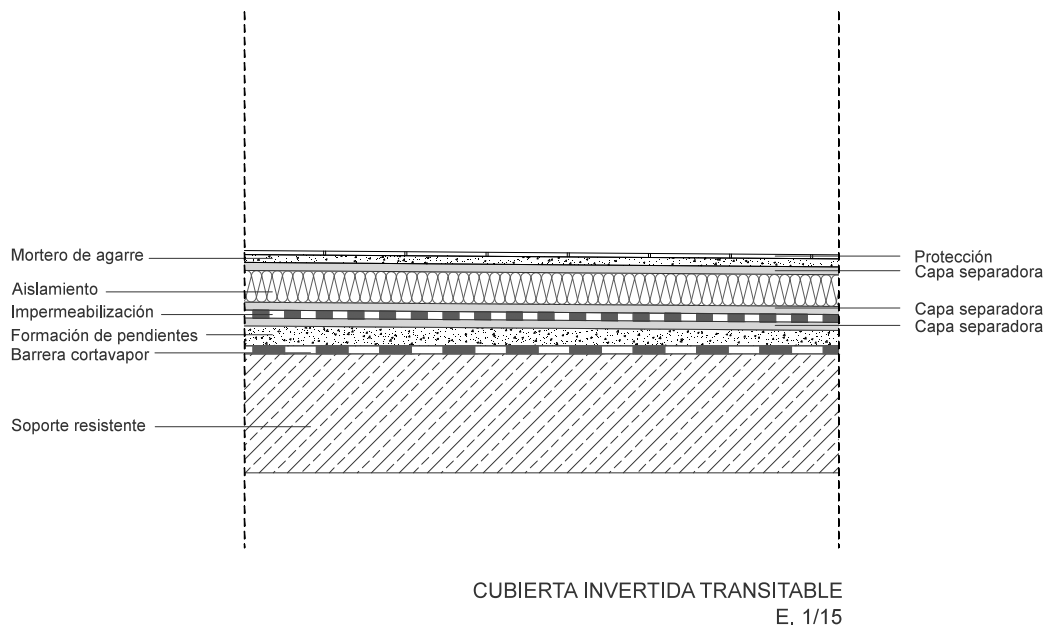


Fig. 10 Detalle cubierta invertida transitable

La cubierta invertida transitable presenta un elemento de protección resistente al tránsito de las personas, siendo las soluciones más habituales las losas filtrantes autoprotegidas, pavimento flotante o una capa de plaquetas cerámicas tomadas con mortero de cemento, como se representa en la figura 10.

Definimos cubierta invertida como aquella que tiene el aislamiento térmico más hacia el exterior, junto al elemento de protección.

Instalaremos una barra cortavapor sólo si las condiciones higrotérmicas del espacio a cubrir lo requiere.

**2.1.5. Cubierta invertida con protección de losa aislante**

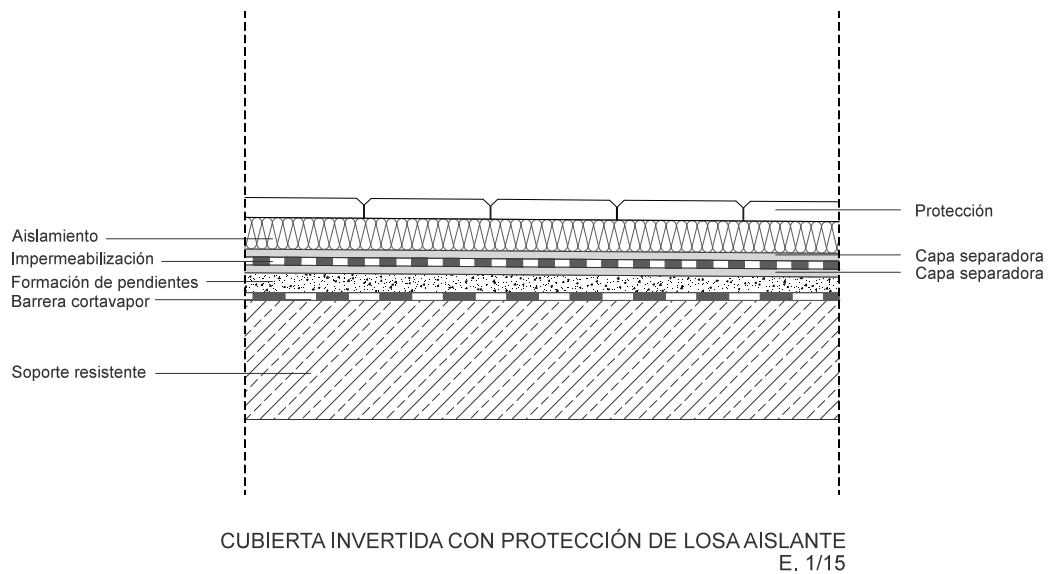


Fig. 11 Detalle cubierta invertida con protección de losa aislante

La cubierta invertida con protección de losa aislante presenta similitudes constructivas con la cubierta invertida transitable. La principal diferencia radica en que la losa, que se utiliza como elemento de protección, lleva incorporado el aislamiento térmico. Las placas son rígidas, de poliestireno extruido, machihembradas en los cantos o a media madera y terminadas con una capa de mortero que le confiere sus propiedades aislantes. Además presenta pendientes entre el 1% y 5%.

**2.1.6. Cubierta invertida con acabado flotante**

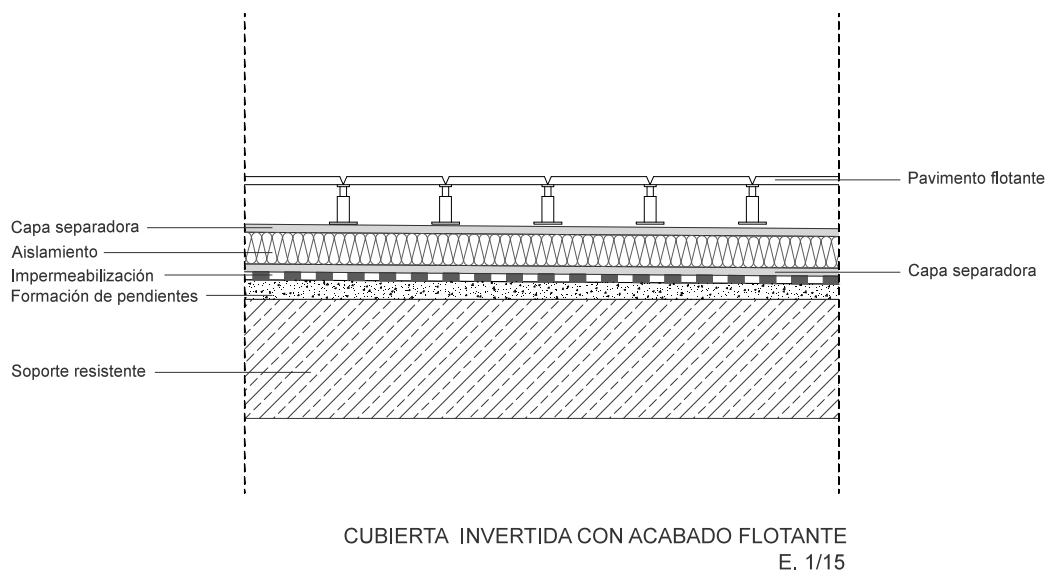


Fig. 12 Detalle cubierta invertida con acabado flotante

Este tipo de cubierta presenta las mismas capas que la cubierta de la figura 11 pero variando su elemento de protección. Éste se compone de baldosas apoyadas sobre *plots* regulables provistos de crucetas.



### 2.1.7. Cubierta invertida con protección de grava

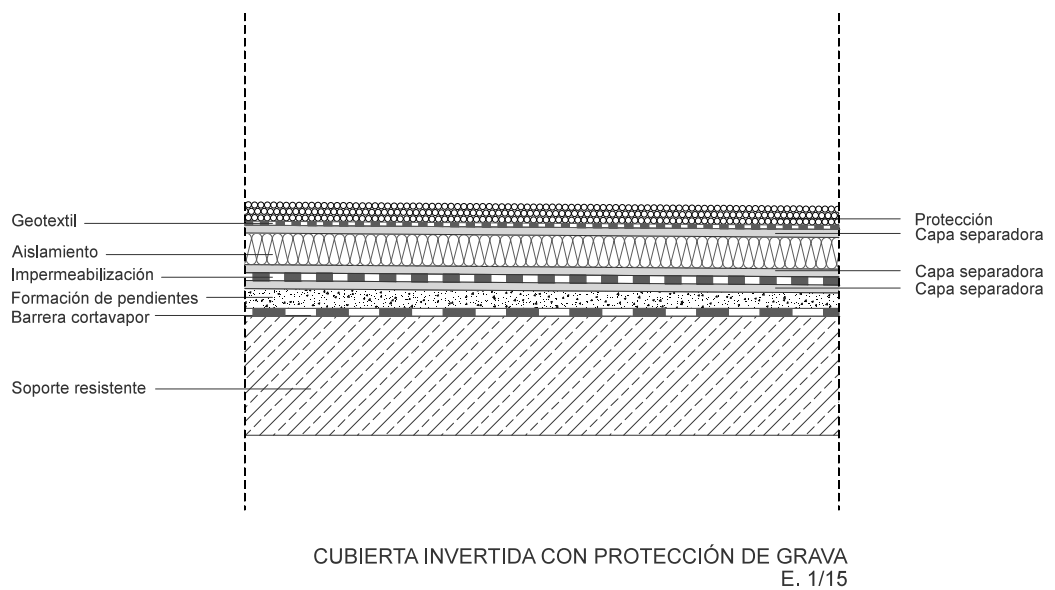


Fig. 13 Detalle cubierta invertida de grava

La cubierta invertida con protección grava tiene esta denominación porque se utilizan gravas como capa de protección del aislamiento térmico. Este tipo de cubierta presenta una pendiente de entre el 1% y el 5%.

Se ejecuta sobre una capa de hormigón o mortero de áridos ligeros para la formación de pendiente. Sobre ésta colocaremos la impermeabilización y el aislamiento. A continuación, se instala un geotextil para evitar el punzonamiento producido por las gravas.

### 2.1.8. Cubierta deck

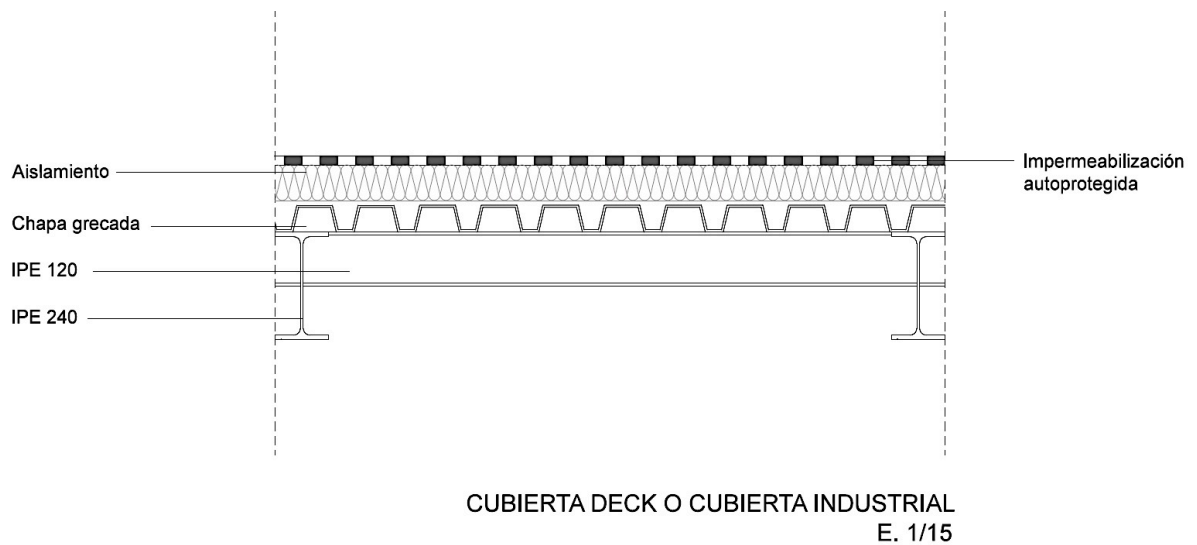


Fig. 14 Detalle cubierta deck

La cubierta deck es una cubierta desarrollada originalmente para edificios industriales, con poca pendiente y cargas bajas. Para su instalación, sobre el soporte de chapa grecada se ancla un material de aislamiento de alta densidad fijado a la misma mecánicamente. Encima de éste, se instala una membrana de impermeabilización autoprotegida, por lo que no será necesario ningún elemento de protección. Las cubiertas tipo deck se suelen dividir en no accesibles y técnicas o transitables

### 2.1.9. Cubierta autoprotegida no transitable

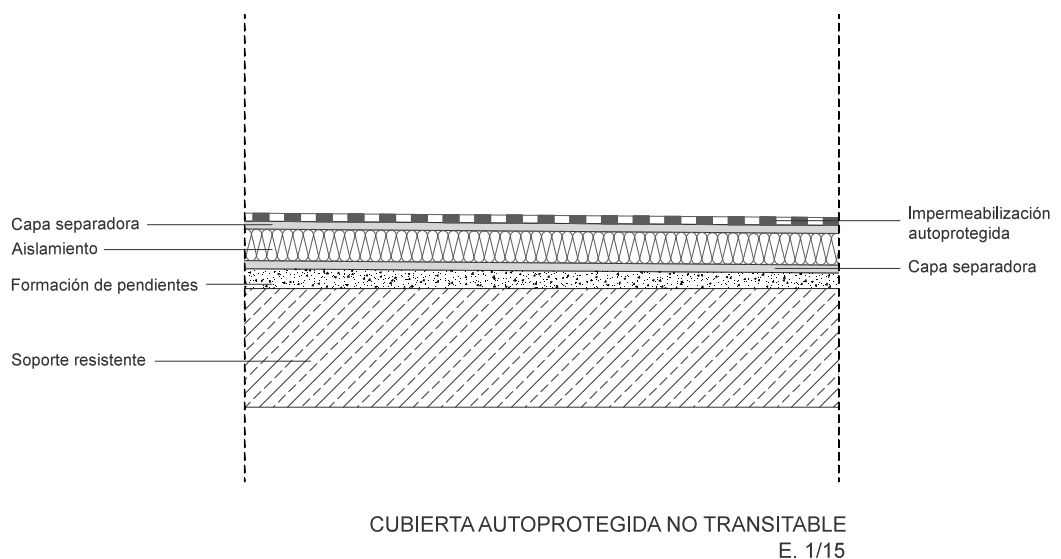


Fig. 15 Detalle cubierta autoprotegida no transitable

Este tipo de cubierta presenta el mismo elemento de protección que la cubierta de la figura 14, una impermeabilización autoprotegida que apoya sobre el aislamiento térmico.

### 2.1.10. Cubierta inundada

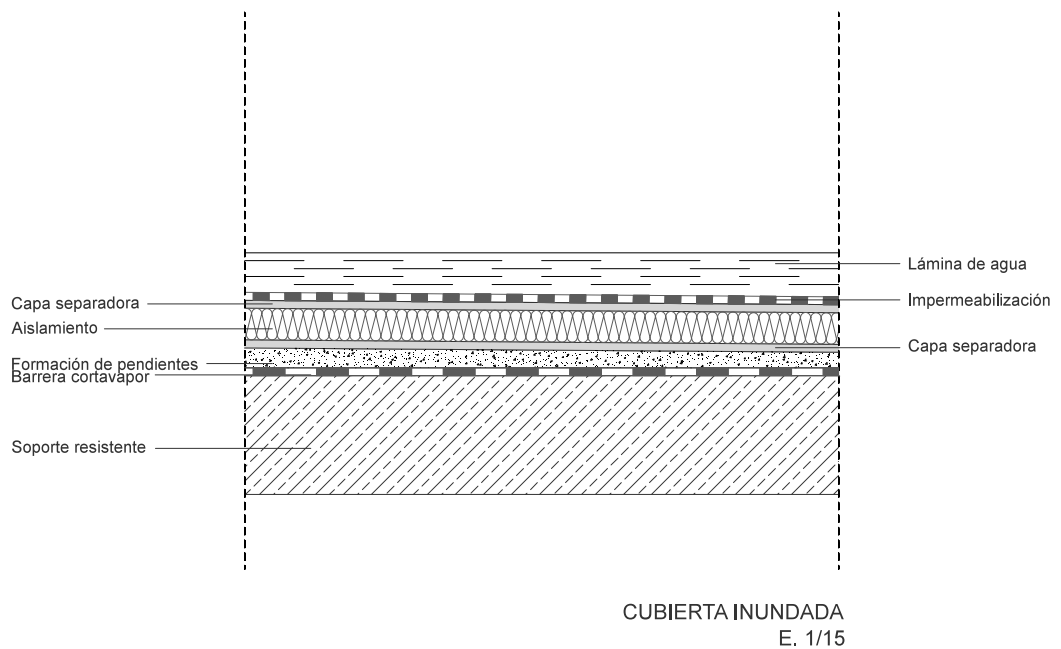


Fig. 16 Detalle cubierta inundada

La cubierta inundada, también conocida como cubierta aljibe, está constituida por una cubierta plana a la que se le añade una lámina de agua. Se trata de un sistema convencional no transitable, donde existe una lámina de agua visible y decorativa. La cubierta está permanentemente inundada con varios centímetros de agua.

Lo primero que se coloca por encima de la estructura sustentante es la barrera cortavapor para poder evitar las condensaciones intersticiales. A continuación dispondremos el aislamiento térmico y la impermeabilización. La lámina impermeable es la capa más importante de la cubierta ya que, debe garantizar la estanqueidad al agua. Además ésta debe ser de gran calidad para asegurar una buena durabilidad.

### 2.1.11. Cubierta ajardinada

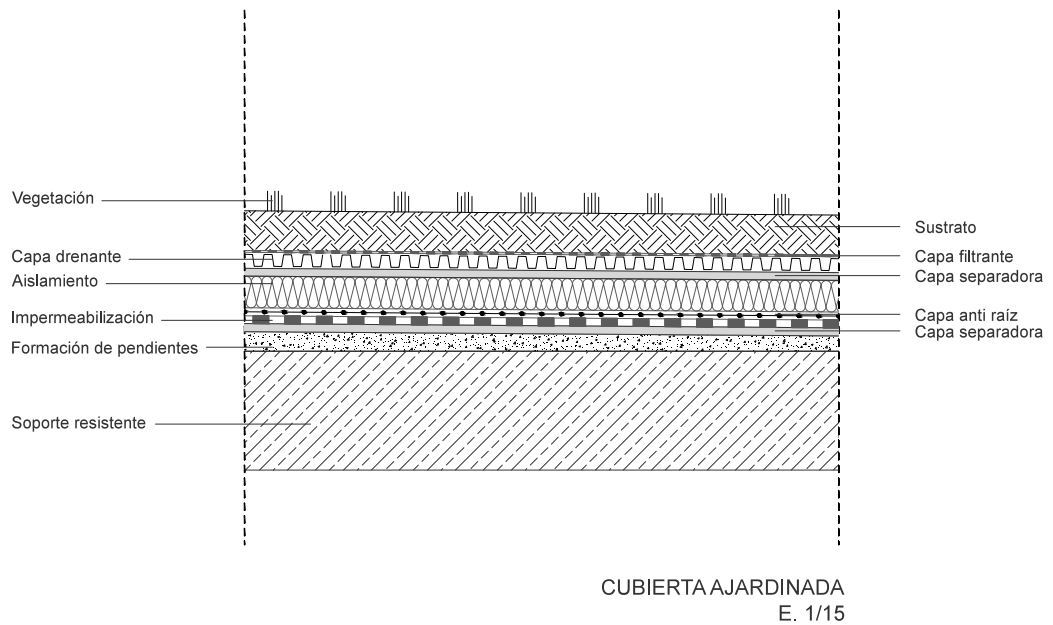


Fig. 17 Detalle cubierta ajardinada

La cubierta ajardinada presenta una capa de protección formada por un sustrato sobre el que crece un manto vegetal que puede variar en altura en función de si la cubierta es extensiva o intensiva. El hecho de instalar un elemento de protección vegetal obliga a disponer de una serie de capas necesarias con funciones específicas:

- La membrana filtrante se coloca bajo el manto vegetal para evitar el lavado de finos por la lluvia o el riego.
- La capa drenante facilita la evacuación del exceso de agua del sustrato.
- Opcionalmente, se puede colocar una capa que retenga el agua y aumente los tiempos entre los riegos.
- La capa de protección contra raíces impide la perforación de la lámina impermeable y garantiza la estanqueidad del conjunto.

### 3. CUBIERTAS VEGETALES

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

Conocemos por cubierta verde, ajardinada o cubierta vegetal, a un tipo de cubierta invertida o convencional con la adición de un sustrato y plantas en la capa superior. Se aplica fundamentalmente a cubiertas planas. Las cubiertas verdes son un recurso importante para construir una arquitectura urbana sostenible y respetuosa con el medio ambiente (Pronatur, 1999).

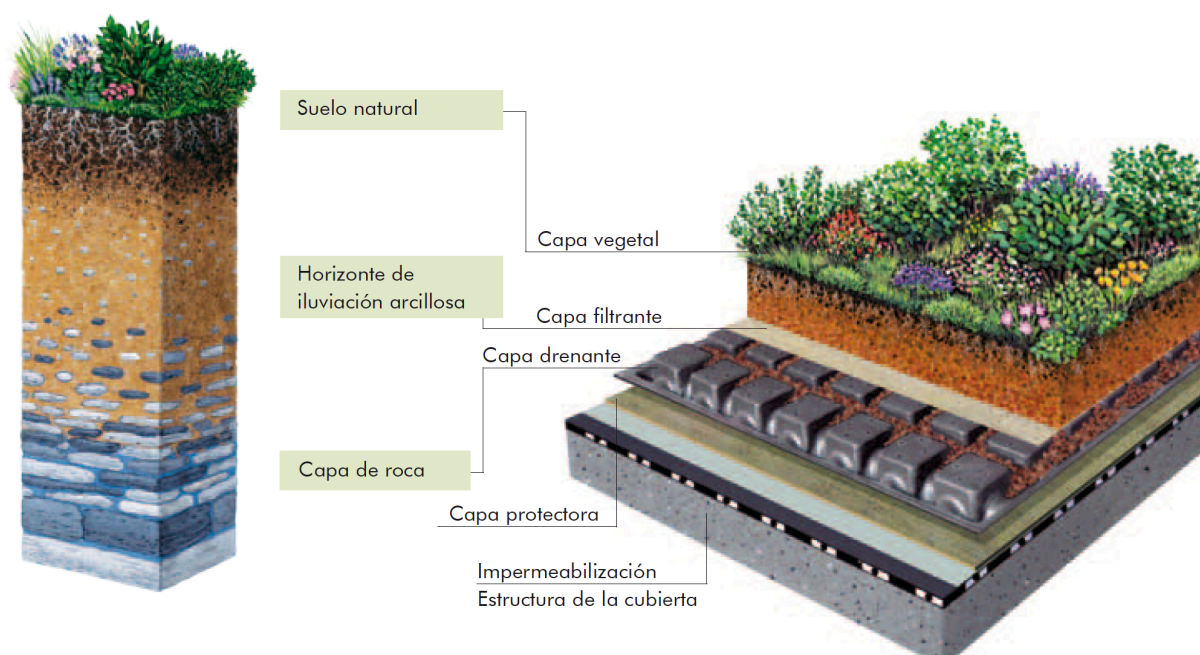


Fig. 18 Ejemplo cubierta vegetal

Cuando hablamos de crear una arquitectura sostenible nos referimos a crear una arquitectura eficiente, con ahorros importantes de energía y respetuosa con el medio ambiente; reduciendo la contaminación ambiental omnipresente en todas nuestros núcleos urbanos. Además, tal y como parecen asegurar todos los modelos actuales, la creación de una masa vegetal en nuestras ciudades permitiría no sólo mejorar la calidad del aire sino también acolchar los efectos del cambio climático. La vegetación en cubierta permite, en primer lugar, moderar los incrementos de temperatura en nuestros entornos urbanos, disminuyendo así el efecto isla de calor. Por otra parte actúa como un regulador hídrico, al estimular la producción de precipitación y aumentar la humedad ambiental. Esta mejora de la calidad ambiental supone, en definitiva, una mejora social y económica a largo plazo (Santamouris, et al., 2007).

Una cubierta con manto vegetal presenta una serie de ventajas respecto a las cubiertas tradicionales. Estas cubiertas se convierten en una herramienta eficaz de la arquitectura como mecanismo pasivo para alcanzar los mejores niveles de confort interior con la máxima eficiencia energética. Las cubiertas de manto vegetales presentan las siguientes ventajas (Machado, Brito, & Neila, 2000):

- Constituye un elemento de protección tanto en verano como en invierno.
- Generan un ahorro de energía al estabilizar las condiciones térmicas de la vivienda.
- Las plantas renuevan el aire del entorno, incrementando la humedad ambiental y disminuyendo la temperatura del aire
- Se produce un aumento del aislamiento térmico.
- Aumenta la vida útil de la cubierta.

- Supone un incremento de la superficie verde de la ciudad.
- Mejoran la absorción del ruido al disipar parte de la onda sonora.
- Mejora la calidad de las corrientes de aire en zonas urbanas debido a la evapotranspiración propia de las especies vegetales.
- Por último se observan mejoras psicológicas entre los habitantes de ciudades con mayor densidad de cubiertas vegetadas debido al enriquecimiento visual que suponen.

Países como Alemania, Suiza, Suecia, Italia, Países Bajos, etc. promueven cada vez más la implantación de cubiertas vegetales, tanto en el ámbito privado como público (Copenhagen town hall) (Messina, van Mens, & Nobel, 2015). Durante las últimas décadas estos recursos no sólo se utilizan para reducir el efecto "isla de calor", sino también para mejorar la estética de nuestras ciudades. A principios del siglo XX algunos arquitectos empezaron a interesarse en cómo integrar esta técnica en sus proyectos (fig 19). Pero fue a partir de 1960 cuando el fenómeno cobró impulso en Alemania, empleándose de forma generalizada en todo tipo de construcciones (Vetsch). A día de hoy el 10% de los edificios alemanes presentan cubiertas vegetales. Peter Vetsch, arquitecto suizo conocido principalmente por sus casas-cueva, tiene un especial interés en desarrollar una arquitectura ecológica y respetuosa con el medio ambiente, utilizando mantos vegetales en las cubiertas de sus viviendas. Otros ejemplos muy conocidos de cubiertas vegetales en la arquitectura moderna son Le Petite Maison, construida en los años 1923-1924 por el arquitecto Le Corbusier en Suiza; o la terminal marítima de Yokohama, en Japón, construida entre 2000-2002 y cuyos creadores son Alejandro Zaera Polo y Farshid Moussavi, integrantes ambos del estudio inglés FOA.



Fig. 19 Le Petite Maison, Le Corbusier. Izq. Terminal marítima de Yokohama, Estudio Inglés FOA. Dcha

Estos ejemplos están situados en ciudades con climas completamente diferentes al clima mediterráneo. Presentan valores muy distintos de parámetros ambientales básicos, como la humedad, temperatura o insolación. Así pues, la pregunta que surge es obvia: ¿podría este sistema constructivo ser una buena solución dentro de un clima mediterráneo? La ciudad de Valencia cuenta con un clima semiárido que se caracteriza por una temperatura suave y un ambiente relativamente húmedo durante todo el año. En Invierno no presenta temperaturas extremas, siendo poco habitual las heladas. Por el contrario, en verano Valencia alcanza temperaturas elevadas, con picos extremos (AEMET).

Podría ser interesante que las viviendas de nueva ejecución dispusieran de una manto vegetal en sus cubiertas. Sin embargo, gran parte de la ciudad de Valencia está construida, por lo que en una segunda aproximación nos deberíamos preguntar si este método puede ser de aplicación en viviendas ya ejecutadas. Y es precisamente este concepto el que nos proponemos estudiar en la última parte del presente trabajo.

### 3.2 CONTEXTO HISTÓRICO Y EVOLUCIÓN

Este tipo de cubiertas podría remontarse a las antiguas civilizaciones acudiendo a estudiar los Jardines Colgantes de Babilonia, considerados como una de las siete maravillas del mundo antiguo. Fueron construidos en el siglo I antes de Cristo y fueron situados junto a los ríos Tigris y Éufrates. Estos jardines aparecían en las terrazas escalonadas del palacio y eran abastecidos de agua por los diferentes riachuelos que nacían de un depósito situado en el culmen del edificio.

Sin embargo, la cubierta vegetal conocida actualmente, surge en Alemania a mediados del siglo XX, debido al desarrollo de nuevos materiales impermeabilizantes y de nuevas técnicas de construcción.

Las primeras construcciones de cubiertas vegetales podemos encontrarlas en la Prehistoria, durante el Neolítico; se trataba de edificaciones funerarias. Estas construcciones eran conocidas como Tumbas de Corredor y contaban con una base estructural de piedra y una capa de sustrato ya que no había necesidad de colocar impermeabilización. Un ejemplo conocido es 'Newgrange' en Irlanda (Department Technology of Architecture ).

Cuando hablamos de la edad antigua nos remontamos a los Jardines Colgantes de Babilonia comentados anteriormente. Se conoce estas cubiertas debido a las descripciones de antiguos historiadores griegos y romanos como fue el historiador griego Estrabón, quien describió los jardines de esta forma:

*“Éste consta de terrazas abovedadas alzadas unas sobre otras, que descansan sobre pilares cúbicos. Éstas son ahuecadas y rellenas con tierra para permitir la plantación de árboles de gran tamaño. Los pilares, las bóvedas y las terrazas están construidas con ladrillo cocido y asfalto.”*

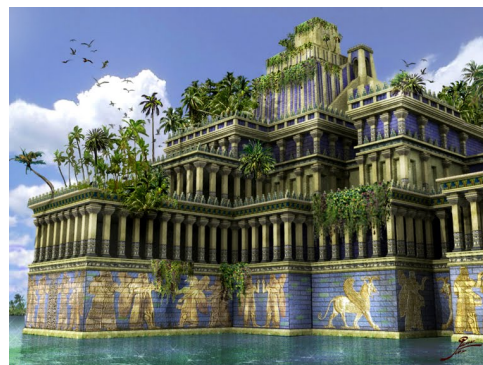


Fig. 20 Newgrange, Irlanda. Izq. Jardines Colgante de Babilonia. Dcha

Durante la Edad Media aparecen una serie de construcciones en el norte de Europa que consistían en unos sistemas, acabados en césped, que permitían un mejor acondicionamiento térmico en el interior de las viviendas. En los países Bálticos se apoyaban las diferentes capas sobre una estructura de tablonos de madera con una pendiente comprendida entre 22° y 44° para poder evacuar el agua y evitar el deslizamiento de las capas superiores. Se utilizaba piezas de corteza de abedul como capa impermeabilizante. Por último se incorporaba una capa de césped en posición inversa e inmediatamente otra capa en posición habitual para crear una capa vegetal resistente a la erosión, generando así un sustrato compacto.

En Islandia utilizan ramas en lugar de tablonos de madera y por otro lado, una capa de turba como impermeabilizante en lugar de las piezas de corteza de abedul (Serramia, Riquelme, & González).



*Fig. 21 Reconstrucción de la granja Stöng, Islandia*

En la Alemania del siglo XIX se puso en práctica la cubierta conocida como 'Holzzementdach', traducida como techo de cemento-madera. Era un sistema constructivo diseñado para mejorar las cubiertas planas frente a incendios y aislamiento. Contaba con una estructura de madera como soporte, con una pendiente comprendida entre el 5 y el 10%. La impermeabilización se resolvía mediante 4 capas de papel impermeable. Por encima de estas láminas se extendía un sustrato de arena, arcilla y grava mezcladas, donde crecía la vegetación.

A lo largo del siglo XX se produjeron importantes mejoras en la construcción de cubiertas vegetales en la edificación. En el ámbito de la ejecución se buscaba abaratar costes, disminuir mantenimientos y aligerar pesos. Arquitectos tan influyentes como Le Corbusier, Raymond Hood (autor del 'Rockefeller Center'), o, más recientemente, Alejandro Zaera Polo y Farshid Moussavi, del estudio inglés FOA (autores de la terminal marítima de Yokohama).



### **3.3 TIPOS**

La cubierta ajardinada, cubierta vegetal o techo verde está constituida por una cubierta invertida tradicional a la que se le añade una capa de terreno de diversos espesores que actúa como sustrato para un manto vegetal de multitud de especies. Generalmente este tipo de cubierta es utilizado en cubiertas planas pero también puede ser utilizada en cubiertas inclinadas con pendientes inferiores a 35°.

La cubierta ajardinada, en función del espesor de su sustrato de tierra y de la entidad de las especies vegetales, puede clasificarse en dos grandes tipos (G. Wark & W. Wark, 2003):

- Ecológica/extensiva → presenta una capa vegetal de unos pocos centímetros (entre 5-15cm)
- Ajardinada/intensiva → presentando un sustrato de mayor espesor (20-100cm)

#### **3.3.1. CUBIERTA ECOLÓGICA O EXTENSIVA**

Este tipo de cubiertas se compone con un sustrato de pocos centímetros (entre 5-15cm), normalmente es menos que 10cm, por lo que hablamos de especies vegetales de bajo porte y supone una carga de 2KN/m<sup>2</sup>. Generalmente en este tipo de cubiertas se utilizan plantas autóctonas, ya que presentan mantenimiento mínimo. Para su elección debemos tener en cuenta el clima de su entorno, desde sus temperaturas máximas y mínimas, como el régimen de la lluvia y hasta la dirección y fuerza de los vientos dominantes.

Este tipo de cubiertas además de ser construidas en cubiertas planas también pueden ser utilizadas en cubiertas inclinadas con una pendiente entre 7° y 10°.

Las especies vegetales más utilizadas en las cubiertas extensivas son las siguientes:

- Tipo sedum: plantas de hojas carnosas que almacenan agua en su interior
- Especies aromáticas: lavanda, manzanilla, orégano, tomillo, etc.
- Gramíneas ornamentales: cañas de bambú, la festuca de hojas azules, la briza de flores en espiga, los phalaris con plumeros en las puntas, etc.
- Diferentes tipos de césped o plantas tapizantes similares.

#### **3.3.2. CUBIERTA JARDÍN O AJARDINADA INTENSIVA**

Este tipo de cubierta ajardinada consta de un sustrato de mayor espesor (normalmente entre 20 y 50cm y puede llegar a albergar un sustrato de 100cm). Presenta unas especies vegetales de mayor envergadura, tales como árboles o arbustos que, pueden llegar a alcanzar la altura deseada. Para este tipo de cubiertas será necesario un mantenimiento más controlado y complejo que en el caso de las cubiertas extensivas. Las cubiertas ajardinadas intensivas deben soportar entre los 3 y los 12 KN/m<sup>2</sup> por lo que deberemos diseñar una estructura capaz de soportar estos valores de carga.

Las especies vegetales más adecuadas para implantar en las cubiertas intensivas son:

- Plantas vivaces y leñosas
  - Arbustos grandes
-

### 3.4 CONSTRUCCIÓN

El detalle constructivo de una cubierta vegetal presenta una serie de capas desde el exterior hacia el interior, ya en contacto con la estructura sustentante (II, 2014/2015):

- El manto vegetal: consiste en la capa más externa de la cubierta y por lo tanto la que queda en contacto con el medio ambiente. Se suelen utilizar especies autóctonas para que éstas se adapten al entorno en el que se encuentran. A la hora de su elección también se debe tener en cuenta la profundidad del sustrato, la exposición al viento de la cubierta, los riesgos de heladas, la posible protección frente al asoleamiento o al viento ofrecida por edificaciones próximas y la necesidad de mayor o menor mantenimiento. Se pretende elegir especies con crecimiento lento y que no excedan los 6m.  
Según la zona climática en la que se encuentra la cubierta vegetal se suelen recomendar un tipos de especies u otras.
- Sustrato para el manto vegetal: éste suele ser de materia orgánica, esto significa que podrá disponer de nutrientes suficientes para que prospere el manto vegetal y permitirá el aporte periódico de nuevos nutrientes. Por el contrario si hablamos de un sustrato inorgánico, nos referimos a un sustrato que lleva incorporada una determinada cantidad de nutrientes y cuando éstos se agotan, se debe reponer la totalidad del conjunto, es decir, el sustrato y el manto vegetal.  
En cualquier caso, el espesor de la capa del sustrato condicionará el tipo de vegetación a utilizar.
- Membrana filtrante: se coloca debajo del sustrato para evitar que las partículas más finas sean arrastradas por el agua de lluvia y de riego y alcancen capas inferiores de la cubierta. Ésta suele ser un fieltro geotextil de unos 150 g/m<sup>2</sup> de polipropileno o de poliéster.
- Sistema de drenaje: se utiliza una capa drenante para así facilitar la evacuación del exceso de agua del sustrato y evitar su encharcamiento y posible pudrición de las raíces de las plantas. Con el sistema de drenaje se debe asegurar la libre circulación del agua para que alcance con facilidad la lámina impermeable y pueda ser conducida hasta los sumideros.  
Los sistemas de drenaje son imprescindibles en las cubiertas vegetales extensivas y muy recomendables en las cubiertas vegetales intensivas.  
Podemos utilizar como capa drenante una capa a base de cantos rodados, una lámina sintética o una losa preformada por una capa de hormigón poroso con un aislante térmico.
- Capa retenedora de agua: esta capa es opcional y dependerá de las necesidades del agua del manto vegetal. Su función es retener el agua de riego o una parte del agua de lluvia para garantizar un aporte mínimo de humedad al manto vegetal. Suele utilizarse tanto mantas absorbentes, paneles plásticos o geles, aunque los más utilizados son paneles plásticos moldeados formando diferentes canales que retienen el agua, permitiendo la evaporación o evacuación del agua excedentaria.  
Cuando se dispone la capa retenedora de agua suele ser prescindirse del sistema de drenaje ya que la capa retenedora realiza ambas funciones.

- Aislamiento térmico: generalmente para cubiertas invertidas y vegetales se utiliza el poliestireno extruido como material aislante. Al presentar una buena resistencia a compresión, soporta las cargas del sustrato de terreno y el tránsito de las personas.
  - Capa de protección contra raíces: su función es impedir que las raíces de las especies vegetales dañen la lámina impermeabilizante, la barrera corta-vapor, el hormigón de pendientes o que pudieran alcanzar la estructura sustentante de la cubierta. Puede tratarse de una capa independiente que se dispone sobre la membrana impermeabilizante o puede ir incorporada a ella. Suele ser una lámina de alquitrán o de alguno de sus derivados.
  - Lámina impermeable: esta capa garantiza la estanqueidad al agua y debe ser de gran calidad para asegurar una buena durabilidad. En las cubiertas ajardinadas su función es imprescindible ya que existe presencia constante de humedad y se debe garantizar un buen sellado y una larga durabilidad. Estos sistemas pueden ser rígidos o flexibles, adherentes o no adherentes, armados o no armados, protegidos o expuestos, prefabricados o colocados in situ. Lo habitual en cubiertas vegetales planas son los sistemas flexibles.
  - Capa de regulación y formación de pendientes: la capa de regulación suele ser un fratasado con mortero de cemento que se recibe sobre la capa de formación de pendientes para garantizar una superficie de apoyo regular y lisa. Por otro lado, la capa de formación de pendientes, suele estar constituida por un hormigón aireado y ligero que aporta una mejora al aislamiento térmico total.
  - Estructura sustentante: es el elemento de la estructura que sustenta la sección constructiva de la cubierta vegetal. Debe estar dimensionado para poder soportar la carga de cada una de las capas de la cubierta, en especial, la carga del sustrato de terreno saturado de agua y la de las especies vegetales implantadas.
-

### 3.5 PROYECTOS RECIENTES

En el siguiente apartado desarrollaremos una serie de proyectos internacionales realizados con cubierta vegetal (Paisea).

#### 3.5.1. Centro juvenil Gary Comer, (Chicago, EEUU). 2006



*Arquitectos: Hoerr Schaudt Landscape Architects*

La cubierta vegetal del Centro Juvenil Gary Comer es un espacio de aprendizaje para después de la escuela en Chicago, para mayores en un barrio con pocos entornos exteriores seguros. Sólo el año pasado produjo más de 450kg de productos orgánicos utilizados por estudiantes, restaurantes locales y la cafetería del centro.

Elegante y gráfico, el jardín convierte el típico huerto de trabajo en un lugar de belleza y descanso. Su cubierta vegetal de 758m<sup>2</sup> es un ejemplo de utilización de un espacio, tradicionalmente infravalorado, como huerto urbano; y resulta excepcional su equilibrio entre la visión estética y las necesidades prácticas.

La cubierta reduce los costes de acondicionamiento térmico y ofrece un aula al aire libre; además, de soportar a los entusiastas niños cavando para buscar patatas y zanahorias con herramientas de jardinería.

La profundidad del estrato de tierra es entre 45-60cm que permite la producción de alimentos incluyendo girasoles, coles, zanahorias, lechugas y fresas.



### 3.5.2. Cubierta vegetal del MoMA, (Nueva York, EEUU), 2005



*Ken Smith Landscape Architect*

Para la cubierta vegetal de Museo de Arte Moderno de Nueva York exploraron la idea de una naturaleza simulada y buscaron estrategias de camuflaje para crear una cubierta verde ligera y de bajo mantenimiento. Esta cubierta es físicamente inaccesible pero muy visible desde los edificios vecinos. Por esta razón, se necesita encontrar una solución duradera, asequible y de bajo mantenimiento. Se utiliza el camuflaje de forma que oculta la cubierta del museo y a la vez la resalta.

Se utilizaron materiales reciclados. Originalmente querían utilizar piedras de playa negras mejicanas para cubrir algunas superficies. El constructor de la cubierta vegetal sugirió que utilizar antiguos neumáticos de caucho triturados sería mucho más barato y más ligero. También se utilizaron materiales como vidrio triturado y tuberías de PVC para los troncos de los bojes de plástico. Las rocas, son de hecho, rocas de plástico huecas que adornan normalmente los jardines periurbanos. La piedra blanca que crea las superficies blancas es el único material natural del jardín.

Todos los arcos, tangentes y líneas rectas de la cubierta han sido copiadas directamente del patrón de camuflaje de unos pantalones de skate.



### 3.5.3. Cubiertas verdes Biblioteca Mercé Rodoreda, (Sant Joan Despí, España). 2009-2011



*Carlos Llinás Carmona Arquitecto (Área metropolitana de Barcelona)*

En el caso de San Joan Despí, la ubicación escogida refuerza la calle Mayor como un eje urbano de acceso a varios equipamientos de la ciudad, como el Mercado Municipal, el polideportivo Salvador Gimeno, la escuela de Sant Francesc d'Asís y la propia biblioteca. El proyecto se desarrolla partiendo de una disposición del edificio en el lado sur de la manzana, dejando una plaza adyacente a la calle Mayor y donde se concentra el acceso principal al Centro.

La nueva volumetría se va generando alrededor de un patio exterior, tratando de que el conjunto se adapte a la escala que presentan las edificaciones vecinas e intenta introducir en el edificio el entorno natural con un tratamiento vegetal de las cubiertas a diferentes alturas.

Su sistema constructivo consistió, una vez colocada la impermeabilización, en una capa drenante sobre el aislante térmico rígido sobre la que se dispuso un sustrato específico con tierras de alta retención hídrica y baja densidad, con un grosor entre 15 y 30 cm.

La vegetación de estas cubiertas escalonadas, se planteó con distintas variedades y especies de gramíneas de alturas y espigas variables. Esta elección aporta dos ventajas: por un lado, las gramíneas plantadas son variedades de especies adaptadas a climatologías casi desérticas por lo que se consiguen bajos aportes hídricos, se adaptan al poco espesor del sustrato así como a condiciones climáticas duras. Por otro lado, se trató de enfatizar su carácter estacional, de esta manera se sucederían variaciones cromáticas desde diferentes verdes en primavera-verano, pasando por las floraciones de las espigas, hasta los heterogéneos ocreos en otoño.

#### 4. AHORRO DE ENERGÍA

En el siguiente apartado se presentará diversos resultados obtenidos para diferentes lugares, así como estudios en los que se reflejan las bondades de la instalación de cubiertas vegetadas. Además, no se ha encontrado en la literatura científica ninguna referencia a la rehabilitación de viviendas existentes mediante la construcción de cubiertas vegetadas en la ciudad de Valencia. Por ello, en el último apartado del presente trabajo, se realizará un estudio de la variación de la eficiencia energética considerando la instalación de una cubierta vegetal en un edificio existente en la ciudad de Valencia.

##### 4.1 REHABILITACION CON CUBIERTAS VEGETALES

La arquitectura biosostenible, o "Green Building", consisten en buscar una mejora de la eficiencia de un edificio utilizando energía, agua y materiales disponibles en el lugar. Su principal objetivo es, por tanto, reducir el impacto en el medio ambiente y en la salud de las personas a través del ciclo proyecto-construcción, completo (diseño, construcción, operación, mantenimiento y demolición) (Owensby-Conte & Yepes, 2012).

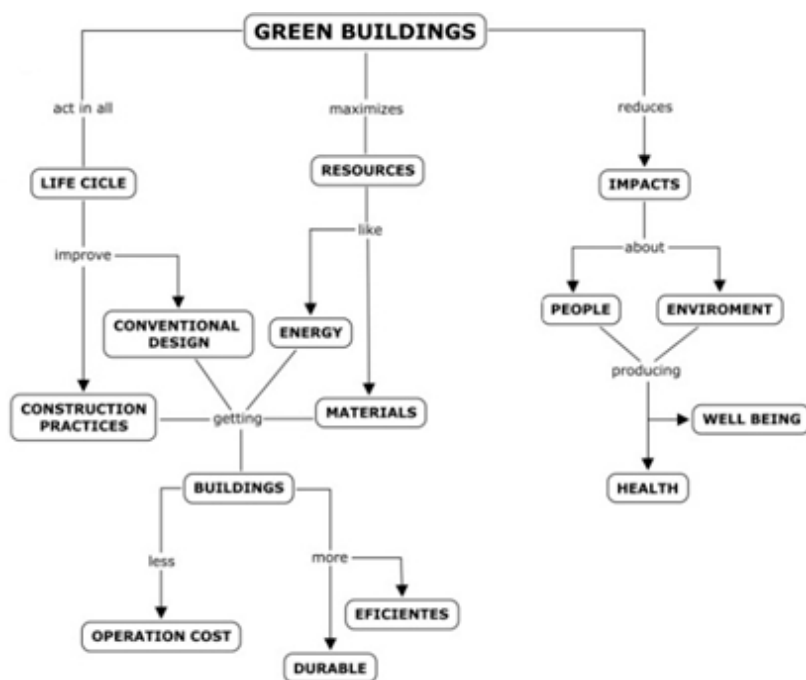


Fig. 22 Definición de la arquitectura biosostenible

La tecnología Green Roof tiene como objetivo disminuir los aportes de escorrentía superficial causados por las precipitaciones así como el consumo de energía. Sin embargo, la tecnología Green Roof, debido a que no está suficientemente estandarizada, presenta unas inversiones iniciales superiores que las necesarias para la construcción de una cubierta tradicional. Pese a ello, recientes estudios permiten reducir este sobrecoste en cuanto se tienen en cuenta los beneficios en la calidad del aire debidos a la instalación de cubiertas vegetadas.

Se ha realizado un estudio que estima estos beneficios a escala de ciudad, utilizando Washington DC como base para el cálculo. Los beneficios relacionados con la reducción de los aportes de escorrentía directa o lo que es lo mismo, la escorrentía superficial, se analizan en base a dos escenarios: asumiendo que el 35% de las cubiertas de la ciudad son vegetadas y, en un segundo escenario, éstas ascienden al 50%. Cuando analizan el ahorro energético

producido por las cubiertas vegetales en la ciudad de Washington DC, solamente se tiene en cuenta la superficie de cubiertas correspondiente a los edificios comerciales. Para el cálculo de este beneficio también se tuvieron en cuenta dos escenarios distintos: bajo uso y alto uso de la climatización, asociados a diferentes épocas de año.

Esta reducción de la escorrentía superficial y del consumo energético supone que, a nivel de planeamiento urbano, las infraestructuras necesarias para garantizar estos servicios sean menores. La reducción en la cantidad de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub> se correlaciona con la disminución en el consumo de energía eléctrica y gas natural. Para la valoración económica de la reducción de estos gases se utilizaron modelos de la Agencia Americana del Medio Ambiente (EPA).

Los resultados, expresados como Valor Actual Neto (VAN), muestran que los ahorros en infraestructuras asciende a 1,06 millones de dólares. Los ahorros energéticos ascienden a 0,87 millones de dólares por año. La valoración de los gases no emitidos ascienden a 0,09 - 0,41 millones de dólares.

En definitiva, para toda la vida útil del Green Roof (40 años) se obtiene un aumento del beneficio del 30-40% respecto a las cubiertas tradicionales (mantenimiento de los Green Roofs no incluido). (Niu, Clark, Zhou, & Adriaens, 2010)

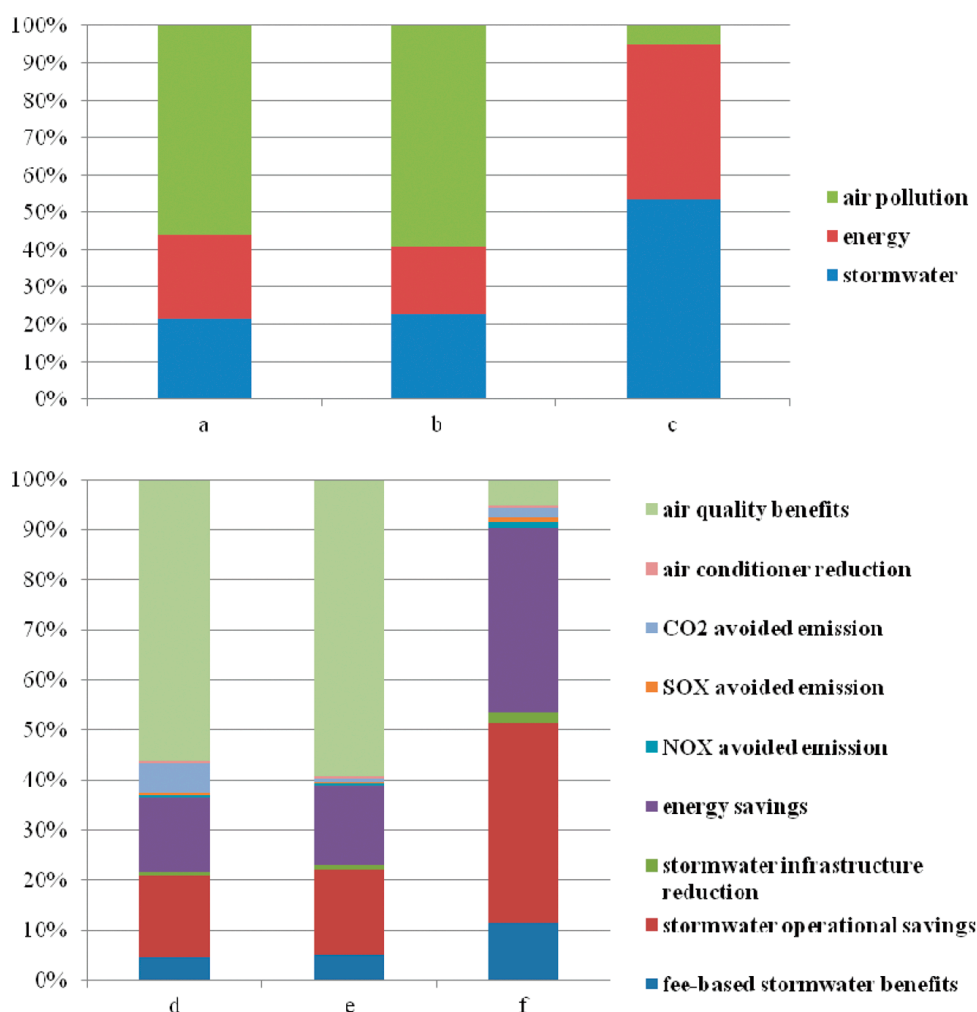


Fig. 23 Desglose de beneficio expresado en VAN



En la figura 24 se muestran el porcentaje de beneficio, expresado en VAN, asociado a la escorrentía superficial, el ahorro energético y los beneficios en la calidad del aire independientemente. Se muestran distintos escenarios (Niu, Clark, Zhou, & Adriaens, 2010) :

- a) Representa una reducción del 50% de los beneficios asociados a la escorrentía, mientras que aumentan los asociados a la estimación de CO<sub>2</sub>, uso del aire acondicionado y los de la calidad del aire. Estaríamos pues, en una época con baja precipitación y altas temperaturas.
- b) Podemos ver que la cantidad de precipitación y el uso de aire acondicionado se ajustan a la media; los beneficios asociados a la estimación de CO<sub>2</sub> y a la calidad del aire son altos. Estaríamos en una época de precipitación media, temperaturas suaves y de alta actividad vegetal.
- c) En el siguiente gráfico observamos que hay una reducción del 35% de los beneficios de la escorrentía superficial, manteniendo todos los demás parámetros bajos. Nos encontramos en una época de precipitaciones por debajo de la media y temperaturas suaves y baja actividad vegetal.
- d) Todos los parámetros presentan una alta estimación.
- e) Todos los parámetros se ajustan a la media.
- f) Todos los parámetros están por debajo de la media.

De los escenarios d, e y f se puede extraer que la variable más susceptible a los cambios es la relacionada con los beneficios en la calidad del aire. Como se puede observar en la figura f, suponiendo que todos los parámetros están por debajo de la media, los beneficios asociados a la calidad del aire decaen de forma importante.

Se ha llegado a estimar, utilizando simulaciones basadas en modelos de "Urban Forest Effects" (zonas verdes urbanas), que las cubiertas vegetales podrían retirar hasta 6.0 Mg de ozono (O<sub>3</sub>), 5.7 Mg de PM<sub>10</sub>, 2.2 Mg de SO<sub>2</sub>, y 0.77 Mg de monóxido de carbono (CO) de la atmósfera. Suponiendo que los beneficios económicos en la sanidad son similares a los producidos por una reducción de NO<sub>x</sub>, un 0.1 millones de dólares podrían ser añadidos al cálculo anterior (Deutsch, Whitlow, Sullivan, & Savineau, 2005).

Existe otro estudio realizado en los centros comerciales en el Norte de California que utiliza DOE-2 (un modelo de análisis que puede predecir el uso de la energía y el coste para todo tipo de edificios) y un modelo de transmisión térmica de cubiertas desarrollada por Shade Consulting. El estudio indica que una cubierta vegetal sin aislamiento podría reducir un 30% la demanda del sistema de calefacción y aire acondicionado del edificio sobre una cubierta convencional R-18 con aislamiento rígido y sin una barrera de radiación. Además, el ahorro de energía sin aislamiento podría incrementarse para zonas semiáridas y áridas y disminuir para climas y estaciones fríos.

En las actuales normas no se reconocen las cualidades de aislamiento de las cubiertas vegetales. Probablemente, sería necesaria normativa de ámbito municipal para instalar una cubierta vegetal en una cubierta de bajo aislamiento. El aislamiento rígido podría ser usado como capa protectora (G. Wark & W. Wark, 2003).

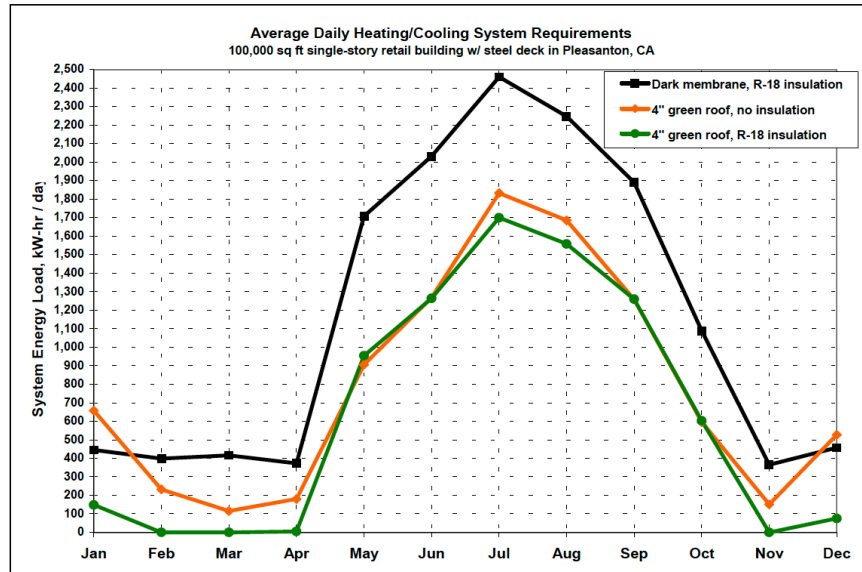


Fig. 24 Estadística del uso de la energía

Por último conocemos un estudio realizado en una guardería en Atenas que realiza una investigación y analiza la energía y del comportamiento medioambiental de un sistema de cubierta vegetal. La investigación fue presentada en dos fases: una primera fase en la que se presentó una investigación experimental de la eficiencia de un sistema de cubierta vegetal; mientras que en la segunda fase se examinaron los ahorros de energía calculando las pérdidas energéticas asociadas al frío y al calor, tanto en verano como en invierno. La evaluación mostraba una significativa reducción del gasto energético para enfriar el edificio durante el verano. Además la influencia del sistema de cubiertas vegetales en el consumo eléctrico asociado a la producción de calor del edificio será insignificante; por lo que observaremos una gran ventaja del sistema con una reducción del sistema de refrigeración.

En la figura 26 y 27 podemos observar la distribución de frecuencia del edificio según la temperatura interior del aire tanto para una cubierta convencional como para una cubierta vegetal con y sin aislamiento. Podemos observar que en los dos casos, entre los 15 y 25 grados, se produce un incremento de la distribución de frecuencias de las cubiertas vegetales. Esto corrobora todo lo comentado anteriormente; las cubiertas vegetadas producen una mejora de la eficiencia energética en dirección exterior interior en climas cálidos (Santamouris, et al., 2007).

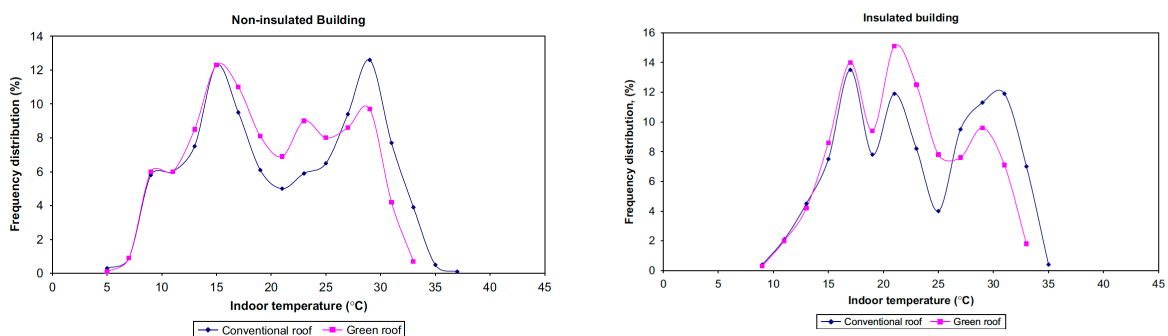


Fig. 25 Edificio sin aislamiento. Izq. Edificio con aislamiento. Dcha

## 4.2. EJEMPLO DE APLICACIÓN

### 4.2.1. Justificación del edificio elegido

Se trata de un edificio situado en Valencia, en C/ Imaginero Bussi y C/ del Pintor Dalmau y diseñado por Fernando Martínez García-Ordoñez, Juan M<sup>o</sup> Dexeus Beatty, Mauro Lleó Serret y Vicente Valls Abad. Presenta una tipología de bloque abierto construido en los años 50 y destinado a vivienda social, perteneciente al grupo Virgen del Carmen. Se encuentra sobre un solar en forma de cuarto de elipse; con los ejes mayor y menor siguiendo la orientación nortesur y este-oeste respectivamente. La expresividad de los bloques se acentúa en sus originales accesos, con vestíbulos exentos de perímetro curvo y acabado rústico. El edificio elegido se trata de un bloque lineal de 4 plantas con estructura vista de hormigón y dos viviendas por escalera. En estos bloques lineales encontramos 4 zaguanes pero nosotros sólo analizaremos uno de ellos. El grupo de viviendas Virgen del Carmen fue rehabilitado parcialmente a finales de la década de 1990. En el presente trabajo se ha analizado una vivienda de la última planta de uno de los bloques.

Hay un gran número de viviendas sociales construidas en toda la Comunidad Valenciana con técnicas similares y que presentan grandes pérdidas de energía, sobre las que es necesario actuar.

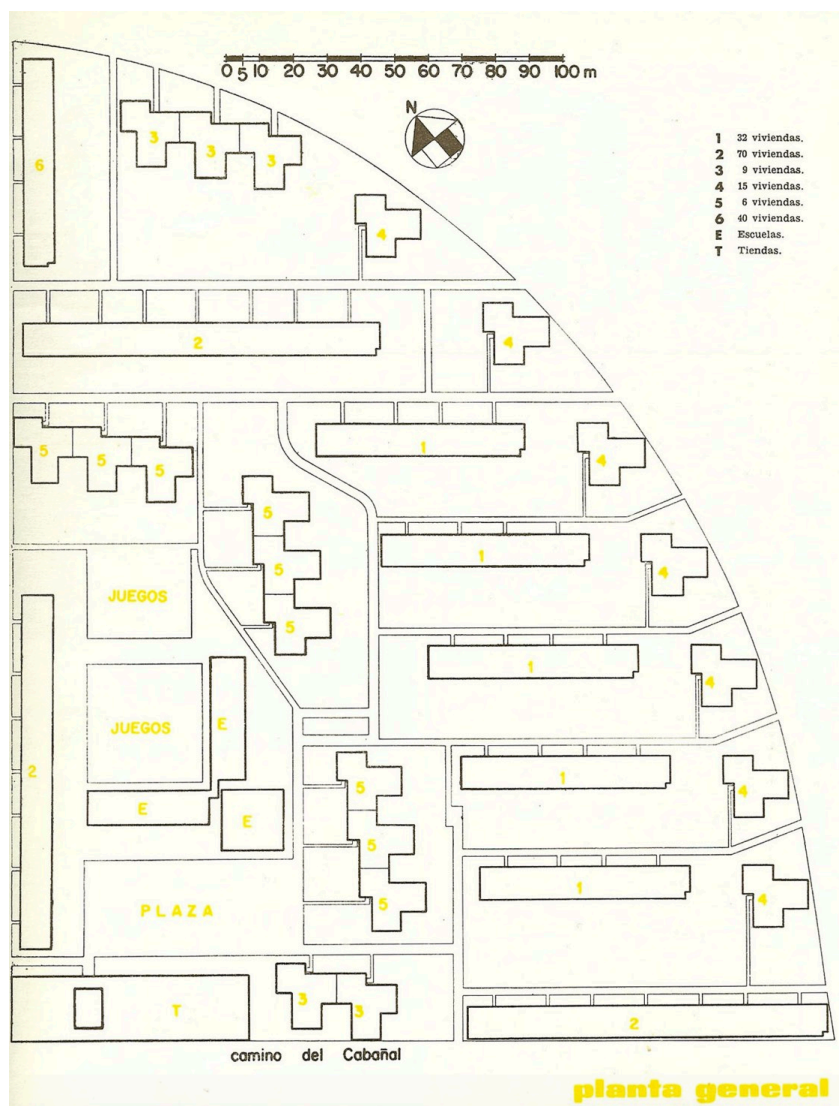


Fig. 26 Planta General de la intervención



Fig. 27 Vistas de la urbanización original

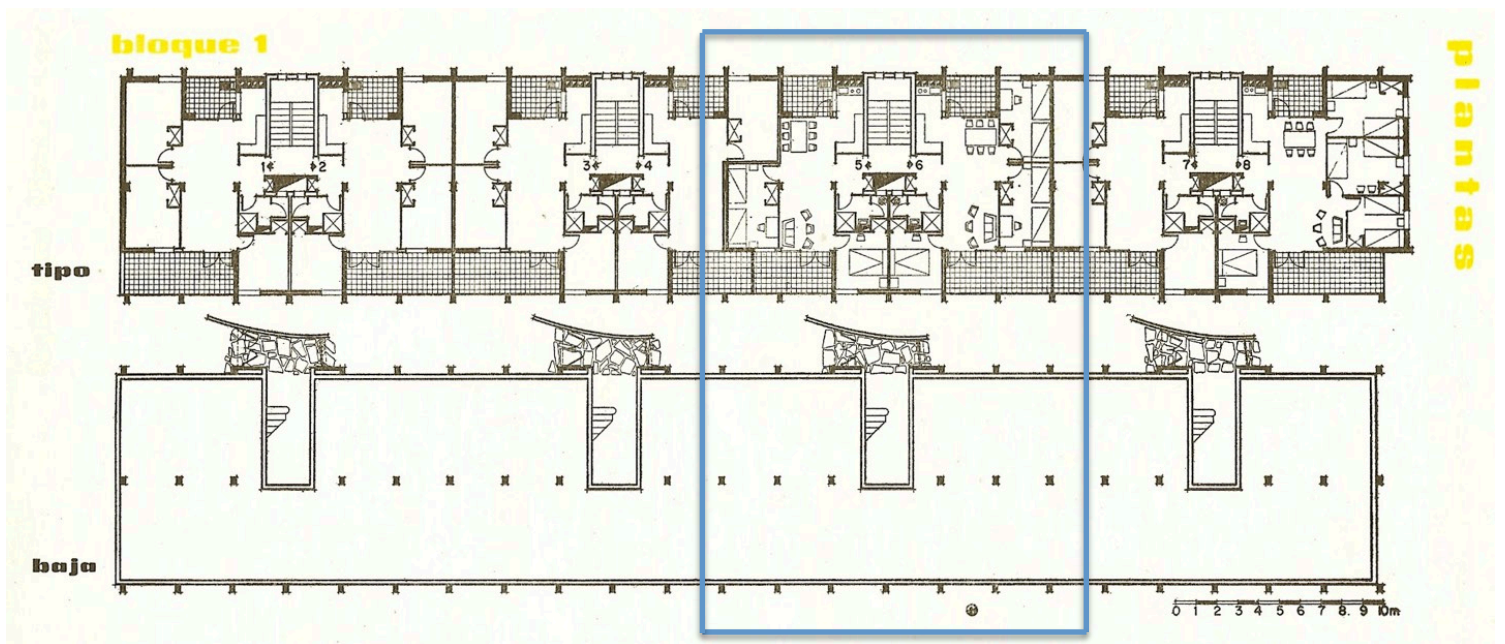


Fig. 28 Planta baja y tipo del bloque lineal

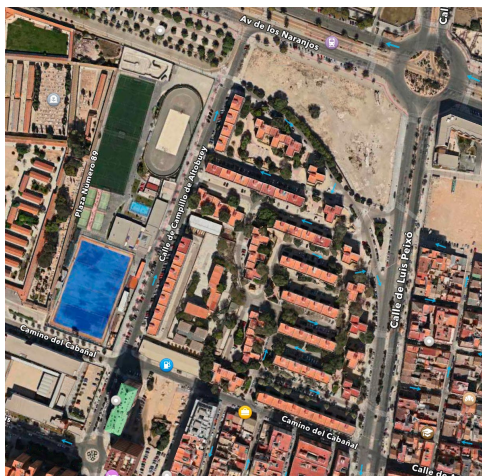


Fig. 29 Vistas de la urbanización actual



Fig. 30 Edificio elegido en planta



Fig. 31 Estado actual del edificio

#### 4.2.2. Estudio de la envolvente actual

Realizamos un primer estudio sobre el edificio en el que vamos a actuar, ya que necesitamos conocer las pérdidas que se producen debido a su envolvente actual. A la hora de profundizar en el edificio es fundamental definir la envolvente exterior actual del bloque lineal de viviendas. Analizaremos el cerramiento (elemento vertical), la cubierta (elemento horizontal) y los huecos existentes.

Se ha detallado en una sección constructiva estos tres elementos: cerramiento, cubierta y huecos. Podemos encontrarla en el Anejo 1: detalle constructivo de la envolvente actual. Además, también hemos estudiado la cantidad de huecos que tiene el cerramiento analizando los alzados del edificio actual. Dicho dibujo se encuentra también en el Anejo 1.

Como podemos observar, el edificio actual se compone, desde el interior al exterior, de un enlucido de yeso, ladrillo hueco, cámara de aire, ladrillo triple hueco y por último enfoscado. Aunque el cerramiento presenta un grosor considerable, éste no cuenta con ningún tipo de aislamiento térmico ni acústico, por lo que vamos a experimentar ciertas pérdidas por el elemento vertical del edificio. El zócalo del edificio esta construido con piedra.

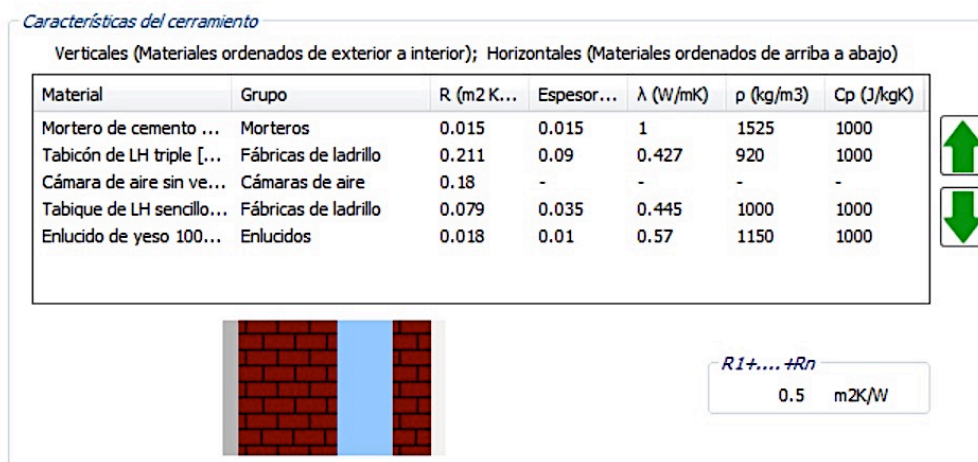


Fig. 32 Cerramiento actual

Cuando analizamos la cubierta, observamos que se trata de una cubierta a la catalana, generando una cámara de aire con la colocación de unos tabiquillos. Sobre éstos apoyará el tablero de bardos, la impermeabilización, mortero de agarre y el baldosín catalán. La cámara de aire ventilada produce una circulación de aire interior en verano que afecta positivamente al edificio, pero, en invierno actúa de forma inversa produciendo grandes pérdidas. Además no presenta ningún tipo de aislamiento.

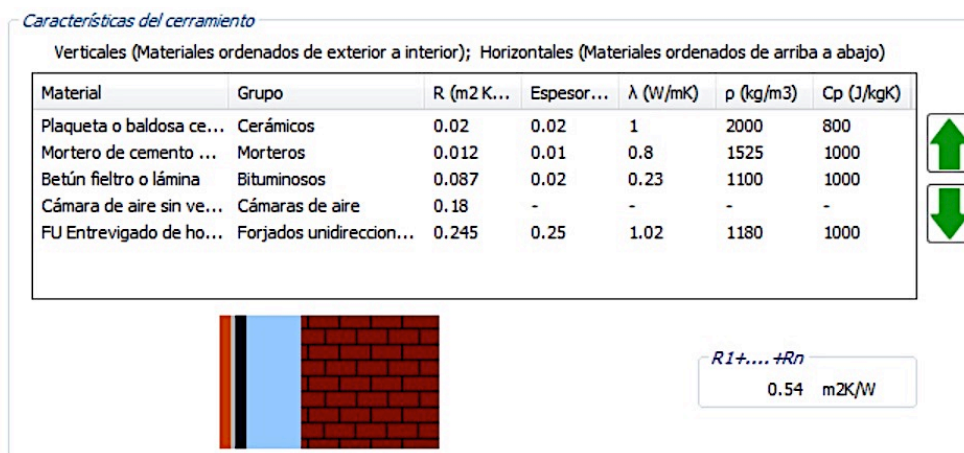


Fig. 33 Cubierta actual

En las plantas iniciales obtenidas observamos la realización de terrazas aunque actualmente éstas han sido cerradas y existen muy pocas con la configuración original.

Por último, estudiamos las carpinterías utilizadas en la construcción del edificio, siendo éstas simples carpinterías metálicas con rotura de puente térmico y de poco espesor. Éstas presentan una elevada permeabilidad al aire y son auténticas devoradoras de energía.

#### 4.2.3. Renovación de la cubierta

Este tipo de edificio presenta grandes pérdidas de energía debido a la su envolvente exterior. Para ello, vamos a realizar una renovación de la cubierta del actual edificio, sustituyéndola por una cubierta ajardinada. Anteriormente ya hemos comentado las ventajas que presenta una cubierta ajardinada con respecto a una cubierta tradicional, por lo que procederemos a representarlo numéricamente. En el Anejo 2, podemos observar varios detalles constructivos del mismo edificio con el mismo cerramiento pero cambiando la cubierta tradicional por una vegetada. Además realizaremos un nuevo antepecho que alcance 1,10 m desde donde termina la vegetación; por lo que derribaremos el antepecho existente y levantaremos uno nuevo formado por dos hojas de ladrillo. Con la construcción de la nueva cubierta eliminaremos el puente térmico que se genera en el encuentro del forjado con el paramento vertical.

La cubierta ajardinada instalada presenta un grosor mayor con respecto a la cubierta tradicional y contiene las siguientes capas (desde el exterior al interior):

- Vegetación
- Sustrato
- Gravas
- Capa filtrante
- Capa drenante
- Capa separadora
- Aislamiento
- Capa anti raíz
- Impermeabilización
- Capa separadora
- Formación de pendientes
- Elemento sustentante

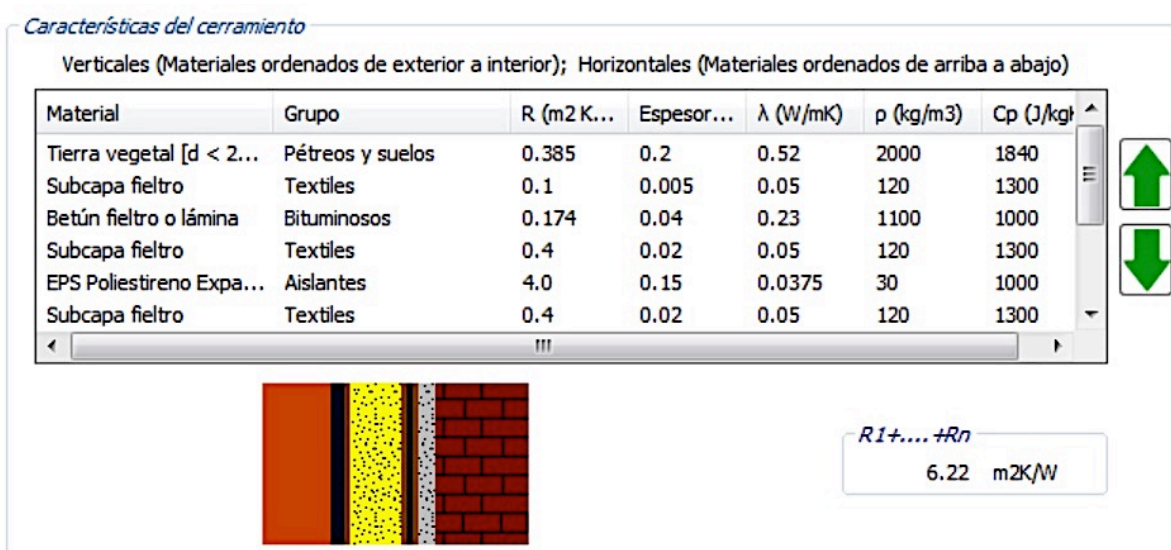


Fig. 34 Cubierta renovada

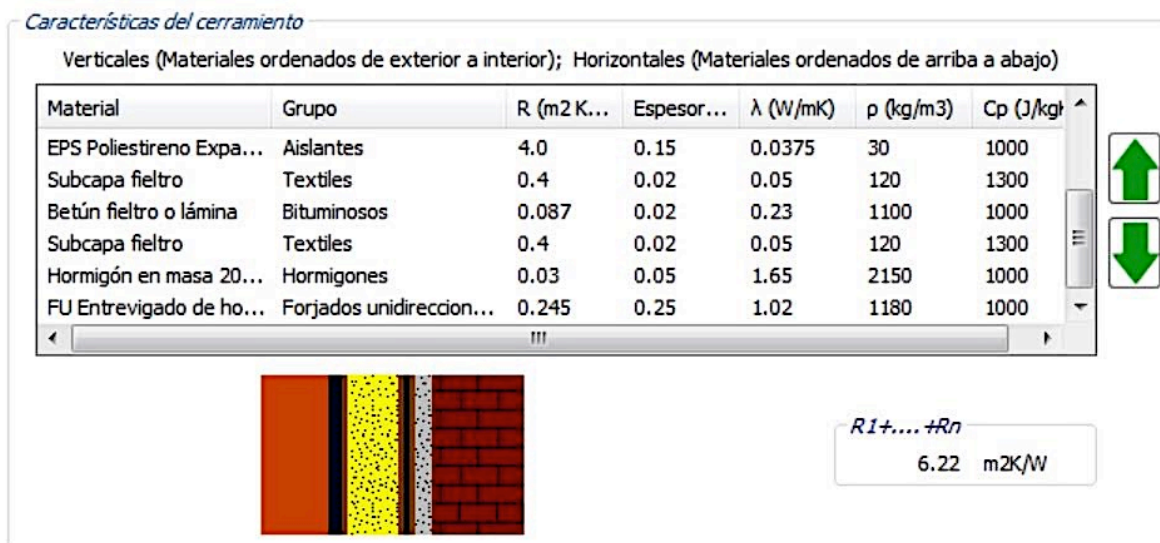


Fig. 35 Cubierta renovada

#### 4.2.4. Calificación energética de la envolvente actual

La calificación energética de la envolvente actual del edificio analizado es **G** (Anejo 3). Los edificios que obtienen un G son los que presentan menos eficiencia energética. El 28% de los inmuebles de España obtienen esta calificación. Aunque este inmueble presente la peor calificación no tiene la obligación de realizar ningún tipo de reforma o mejora aunque sí que es recomendable.

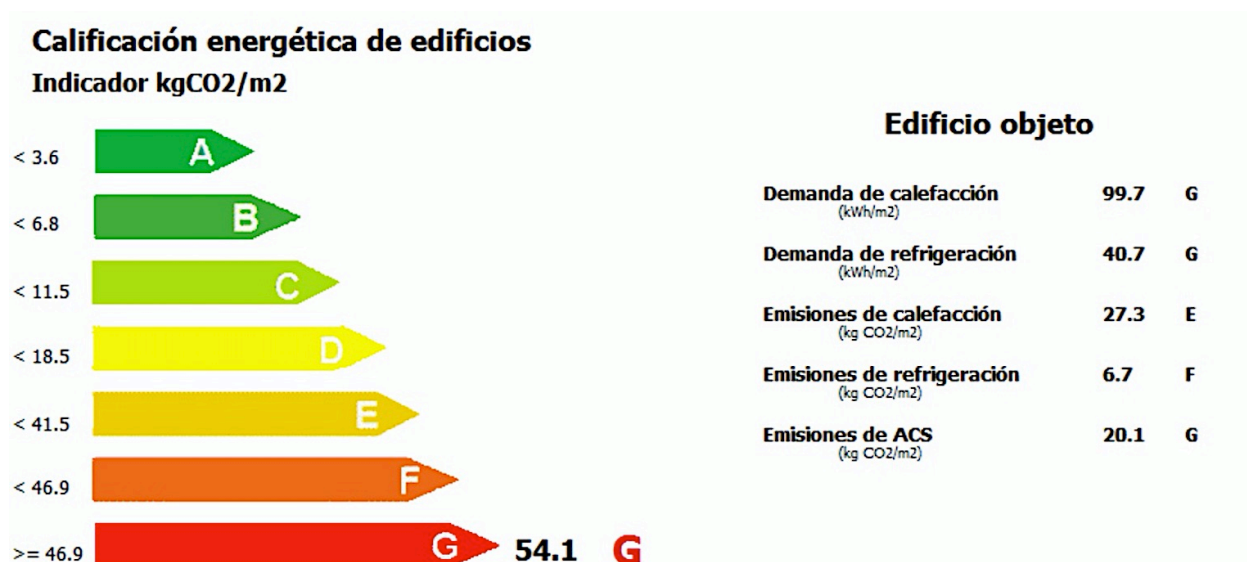


Fig. 36 Calificación energética envolvente actual



#### 4.2.5. Calificación energética de la envolvente con la cubierta renovada

La calificación energética de la envolvente actual del edificio a analizar renovando su cubierta existente por una cubierta ajardinada es **E** (Anejo 3). Aunque esta letra se encuentre en la parte baja de la tabla no se debe considerar una mala calificación debido al modelo de construcción que se ha utilizado hasta hace poco. La mayoría de viviendas construidas se han realizado sin exigencias de aislamiento y sin incluir medidas de eficiencia energética. El 57,30% de las viviendas certificadas en España han recibido la calificación energética E. Mejorando la envolvente actual, actuando únicamente en la cubierta, obtenemos una calificación mejor del edificio.

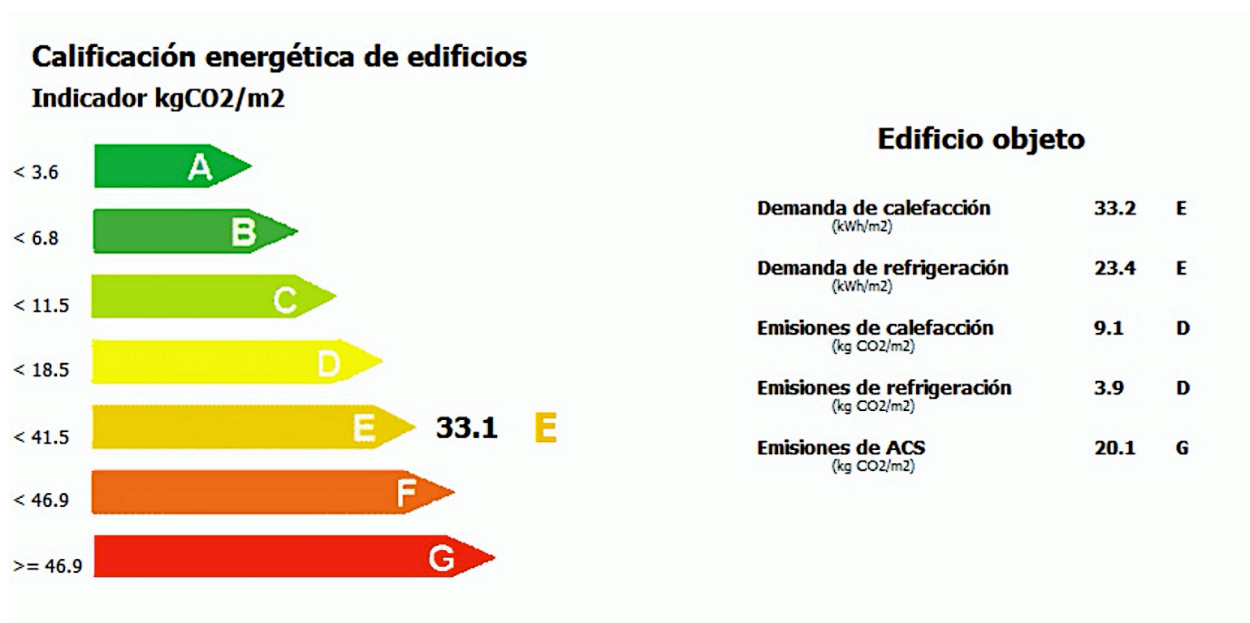


Fig. 37 Calificación energética envolvente renovada

#### 4.2.6. Presupuesto

A continuación se realiza un presupuesto de lo que supondría la demolición de la cubierta actual y la instalación de la cubierta ajardinada. Para ello, se utiliza los precios base IVE (Instituto Valenciano de la Edificación):

##### 1) Demolición de la cubierta:

Demolición de cubierta a la catalana, con tabiquillos conejeros y tablero de dos roscas de rasilla, a mano, con retirada de escombros y carga, incluso transporte a vertedero.

$$\text{PRECIO } 14,71 \text{ €/m}^2 \rightarrow 14,71 \times 78 = 1147,38 \text{ €}$$

##### 2) Demolición del antepecho:

Demolición de antepecho de ladrillo hueco sencillo, con retirada de escombros y carga, sin incluir transporte a vertedero, según NTE/ADD-9 (Norma tecnológica de la edificación).

$$\text{PRECIO } 3,23 \text{ €/m}^2 \rightarrow 3,23 \times 16,17 = 52,23 \text{ €}$$

##### 3) Realización del nuevo antepecho:

Antepecho compuesto por hoja principal de fábrica de 1/2 pie de espesor, realizada con ladrillos cerámicos perforados, sin cámara de aire, revestido por el exterior con capa de adhesivo cementoso mejorado C2, armado con malla de fibra de vidrio resistente a los álcalis, acabado con revestimiento plástico delgado, y por el interior sin revestimiento.

$$\text{PRECIO } 53,46 \text{ €/m}^2 \rightarrow 53,46 \times 16,17 = 864,45 \text{ €}$$

#### 4) Realización de la cubierta vegetal:

Cubierta plana ajardinada realizada con capa de hormigón celular para formación de pendientes comprendidas entre  $1 \leq p \leq 5\%$ , capa de regularización con 2cm de espesor de mortero de cemento impermeabilizante, impermeabilización adherida con soplete, tipo A-2, con lámina tipo LBM-30-FP de tipo bituminosa modificada con elastómero SBS (membrana PA-8 según UNE 104402), capa antipunzonante con geotextil de fieltro de poliéster, aislante térmico formado por panel rígido de poliestireno expandido (EPS) de 15mm de espesor y  $K=0.0375$  W/mK, capa de regularización con 2cm de espesor de mortero de cemento impermeabilizante, capa drenante, capa filtrante con geotextil, tendido de gravilla de 20cm de espesor, y tendido de 20cm de tierra vegetal para plantación, incluso limpieza previa del soporte, replanteo, formación de baberos, sumideros en arquetas filtrantes de 50x50cm realizadas con ladrillo perforado y con marco y tapa de registro de rejilla metálica pintada, mermas y solapos, según normas UNE-104.

$$\text{PRECIO } 63,63 \text{ €/m}^2 \rightarrow 63,63 \times 78 = 4963,14 \text{ €}$$

**P.E.M. (Presupuesto de Ejecución Material):**  $1147,38 \text{ €} + 52,23 \text{ €} + 864,45 \text{ €} + 4963,14 \text{ €} = 7027,20 \text{ €}$

**B.I. (Beneficio Industrial):**  $6\% \text{ de P.E.M.} = 6\% \text{ de } 7027,20 = 421,63 \text{ €}$

**G.G. (Gastos Generales):**  $13\% \text{ de P.E.M.} = 13\% \text{ de } 7027,20 = 913,54 \text{ €}$

**P.E.C. (Presupuesto de Ejecución por Contrata =**  $7027,20 \text{ €} + 421,63 \text{ €} + 913,54 \text{ €} = 8362,40 \text{ €}$

**IVA (10%) =**  $10\% \text{ de (P.E.C.)} = 10\% \text{ de } (8362,40) = 836,24 \text{ €}$

**Licencia (4%) =**  $4\% \text{ de P.E.M.} = 4\% \text{ de } 7027,20 = 281,10 \text{ €}$

**Honorarios técnicos (8%) =**  $8\% \text{ de P.E.M.} = 8\% \text{ de } 7027,20 = 562,17 \text{ €}$

**PRESUPUESTO TOTAL =**  $8362,40 + 836,24 + 281,10 + 562,17 = 10.041,91 \text{ €}$

#### 4.2.7. Recuperación de la inversión

En el presente apartado se obtiene el periodo de recuperación de la inversión que supone la instalación de la cubierta vegetal. Este periodo se calculará dividiendo el coste de instalación de la cubierta ajardinada entre una estimación del ahorro anual que la misma supone.

$\text{Periodo } T \text{ (año)} = \text{Coste (€)} / \text{Ahorro anual (€/año)}$
--

Para estimar el ahorro anual se partirá del estudio energético calculado anteriormente, buscando los valores del kWh y kgCO<sub>2</sub> en bibliotecas online accesibles.

El precio considerado para el kWh es de 0,1354 €/kWh obtenido según la siguiente tabla:



Compañía eléctrica	Tarifa de electricidad	Precio kWh
	Tarifa PVPC	0.11610 €/kWh
	Fórmula Luz	0.14521 €/kWh
	One Luz	0.13907 €/kWh
	Óptima Luz	0.12980 €/kWh
	Conecta Luz	0.14755 €/kWh
	Centinela	0.13466 €/kWh

Fig. 38 Precios kWh

El precio considerado para la tonelada de CO<sub>2</sub> es de 4,66 €/t, obtenido según el Sistema Europeo de Negociación de CO<sub>2</sub> (SENDECO<sub>2</sub>):

Precios CO <sub>2</sub> (SPOT)	EUA
Último cierre (29-08-2016)	4,68 €
Media de las últimas 5 sesiones	4,67 €
Media de las últimas 30 sesiones	4,66 €
Media de los últimos 12 meses	6,42 €

Fig. 39 Precios emisión CO<sub>2</sub>

Con los precios anteriores, el ahorro total anual será de 892,66 €:

Concepto	Ahorro anual	Unitario	Ahorro
Demanda de calefacción (kWh/m <sup>2</sup> )	66,5	0,1354	9,00 €
Demanda de refrigeración (kWh/m <sup>2</sup> )	17,3	0,1354	2,34 €
Emisiones de calefacción (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	18,2	0,00466	0,08 €
Emisiones de refrigeración (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	2,8	0,00466	0,01 €
Emisiones de ACS (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	0	0,00466	- €
		<b>TOTAL/m<sup>2</sup></b>	<b>11,44 €</b>
		<b>TOTAL</b>	<b>892,66 €</b>
		<b>PERIODO</b>	<b>11</b>

El periodo de recuperación de la inversión es de **11 años**.

Gráfica 4-56. Amortización de la inversión por vivienda tipo de la Comunitat Valenciana sin subvención y con consumos medios

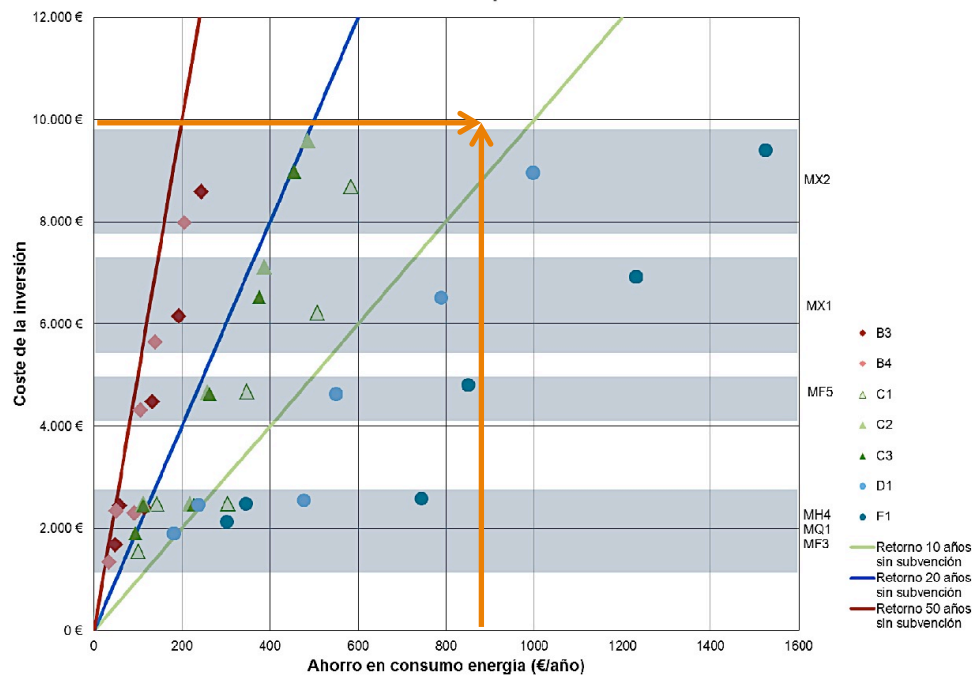


Fig. 40 Amortización de la inversión según el IVE

Comparando los resultados obtenidos con (IVE, 2015), podemos observar que el periodo de amortización calculado, 11 años, coincide con los resultados del mencionado estudio.

## CONCLUSIONES

Como hemos visto, las cubiertas vegetales se han venido utilizando a lo largo de la historia por diferentes motivos. En la actualidad, presentan un potencial muy alto en pos de la consecución de los objetivos mundiales de sostenibilidad y lucha contra el cambio climático.

En este apartado comentaremos los resultados obtenidos en el análisis realizado en el apartado anterior. Como podemos observar la sustitución de una cubierta tradicional por una cubierta vegetada supone que la vivienda suba dos posiciones en la calificación energética, pasando de la clase G a la E.

Tal y como se aprecia en los resultados del Anejo 3, esta mejora de la calificación energética viene gobernada por la gran reducción de la demanda de calefacción. La instalación de este tipo de cubiertas supone un descenso de la misma de un 66.5%. Por otra parte, se produce una disminución del 42.5% en la demanda de refrigeración. Esto se debe, fundamentalmente, a que la instalación de una cubierta vegetal mejora el aislamiento térmico de la vivienda; evitando una gran pérdida de calor.

Al monetizar los resultados anteriores en euros se aprecia el impacto cuantitativo de las cubiertas vegetadas. La instalación de una cubierta ajardinada, sustituyendo una cubierta a la catalana tradicional, supone un ahorro de 892,66 €/año. Este ahorro implica que la inversión en la cubierta vegetal se amortiza en un plazo de 11 años. Podemos observar que el periodo de amortización calculado, coincide con los resultados del estudio del IVE. Además, según la literatura consultada, se estima una vida útil de 40 años para la cubierta vegetada; esto supone un ahorro de 25.887,14 € antes de su restauración. En el presupuesto no se ha tenido en cuenta el sobrecoste que supondría reforzar la estructura de la vivienda para la instalación de la cubierta vegetal, ya que el peso de la cubierta actual se supone similar al de la cubierta ajardinada.

Los resultados anteriores son obtenidos del estudio de una única vivienda de la última planta del bloque de viviendas. Si realizamos este mismo estudio para un zaguán completo (8 viviendas más elementos comunes), no obtenemos resultados tan buenos como ocurre en una única vivienda. El motivo fundamental de esto se debe a que la cubierta sólo afecta a las dos últimas viviendas y a que la superficie de las fachadas representa un peso mayor que cuando se considera una vivienda.

Además de las reducciones del consumo eléctrico, la utilización de cubiertas vegetales producen una mejora en el ambiente de la ciudad; generando zonas que actúan como pulmones verdes. Este efecto no se representa en el modelo CE3X utilizado para hacer los cálculos de eficiencia energética. Extrapolando a nuestro país el ahorro económico relacionado con las emisiones de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> de la literatura, éstos suponen un 10% del ahorro relacionado energético. Por lo tanto, la instalación de una cubierta vegetada supone una mejora de 2.588,71 € extra al valor anterior.

Como conclusión, la instalación de una cubierta ajardinada presenta unos beneficios económicos y ambientales tanto a escala individual como a escala de ciudad. Sin embargo, se ha observado que el efecto de la instalación de este tipo de cubiertas se disipa rápidamente fuera de la vivienda directamente en contacto con la misma. Por ello, la instalación de una cubierta vegetal es especialmente interesante en viviendas unifamiliares o de una sola altura.

## REFERENCIAS

<http://www.construmatica.com/construpedia/Cubiertas>

<http://www.arquitectura.com/arquitectura/inter/perfiles/miralles/btbw/>

[https://es.wikiarquitectura.com/index.php/Ópera\\_de\\_Sydney](https://es.wikiarquitectura.com/index.php/Ópera_de_Sydney)

<http://www.arquitectosdevalencia.es/arquitectura-de-valencia/1936-1974/grupo-residencial-virgen-del-carmen>

[http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/vigilancia\\_clima/resumenes](http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/vigilancia_clima/resumenes)

<http://www.urbanarbolismo.es/blog/evolucion-historica-de-las-cubiertas-vegetales/>

<https://www.sempergreen.com/es/informacion-relacionada/las-ventajas-de-una-cubierta-vegetal/beneficios-economicos-de-una-cubierta-vegetal>

## BIBLIOGRAFÍA

025, P. (2013). *La Cubierta Vegetal*. Paisea revista s.l.

AEMET. (s.f.). *Resúmenes climatológicos de España*. Obtenido de [http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/vigilancia\\_clima/resumenes](http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/vigilancia_clima/resumenes)

Copenhagen town hall. *Green roofs Copenhagen*.

Cubiertas (I). (1999). *Tectónica 6* . ATC EDICIONES

Cubiertas (II). (1998). *Tectónica 8* . REVISTAS

Department Technology of Architecture . *Green Roofs, History and The Present*. Sofia, Bulgaria.

Deutsch, B., Whitlow, H., Sullivan, M., & Savineau, A. (2005). *Regreening Washington DC*.

G. Wark, C., & W. Wark, W. (2003). *Green Roof Specifications and Standards*.

II, C. C. (2014/2015). *Asignatura CT2, cubiertas industrializadas*.

IVE, I. V. (2015). *Estudio del Potencial de ahorro energético y reducción de emisiones de CO2 en la Comunitat Valenciana*.

Machado, M., Brito, C., & Neila, J. (2000). *La cubierta ecológica como material de construcción*.

Massad, F., & Guerrero Yeste, A. (s.f.). *La inconclusa arquitectura del sentimiento*.

Messina, R., van Mens, L., & Nobel, C. (2015). *Green Roofs in Amsterdam, a policy assessment*.

Niu, H., Clark, C., Zhou, J., & Adriaens, P. (2010). *Scaling of Economic Benefits from Green Roof implementation in Washington DC*.

Owensby-Conte, D., & Yepes, V. (2012). *Green Buildings: Analysis of the state of knowledge*.

Pronatur, D. I. (1999). *Naturación urbana: cubiertas ecológicas y mejora Medioambiental*.

Roger, F. V. (2015). *Desarrollo del diseño constructivo en la arquitectura sostenible. Aportaciones de la arquitectura tradicional*.

Santamouris, M., Pavlou, C., Doukas, P., Mihalakakou, G., Synnefa, A., Hatzibiros, A., y otros. (2007). Investigating and analysing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens, Greece.

Serramia, J., Riquelme, H., & González, L. (s.f.). *Urban arbolismo*. Obtenido de <http://www.urbanarbolismo.es/blog/evolucion-historica-de-las-cubiertas-vegetales/>

Tejela, J., Navas, D., & Machín, C. (2013). *Rehabilitación, mantenimiento y conservación de cubiertas*. Tornapunta Ediciones.

Vetsch, P. (s.f.). *Erdhaus*. Obtenido de <http://www.erdhaus.ch>

[www.wikiarquitectura.com](http://www.wikiarquitectura.com). (s.f.).

---

## ÍNDICE FIGURAS

- Figura 1.** Reconstrucción actual de un posible refugio
- Figura 2.** Cubierta extensiva en la Universidad Tecnológica de Nanyang, Singapur  
<http://www.tecpa.es/cubiertas-vegetales/>
- Figura 3.** Green roofs, Copenhagen
- Figura 4.** Mercado de Santa Caterina, Barcelona. Enric Miralles  
<http://www.construmatica.com/construpedia/Cubiertas>
- Figura 5.** Ópera House, Sydney. Jorn Utzon  
[https://es.wikiarquitectura.com/index.php/Ópera\\_de\\_Sydney](https://es.wikiarquitectura.com/index.php/Ópera_de_Sydney)
- Figura 6.** Detalle cubierta inclinada ventilada  
Autora del trabajo
- Figura 7.** Detalle cubierta inclinada no ventilada convencional  
Autora del trabajo
- Figura 8.** Detalle cubierta inclinada no ventilada invertida  
Autora del trabajo
- Figura 9.** Detalle cubierta plana catalana  
Autora del trabajo
- Figura 10.** Detalle cubierta invertida transitable  
Autora del trabajo
- Figura 11.** Detalle cubierta invertida con protección de losa aislante  
Autora del trabajo
- Figura 12.** Detalle cubierta invertida con acabado flotante  
Autora del trabajo
- Figura 13.** Detalle cubierta invertida con protección de grava  
Autora del trabajo
- Figura 14.** Detalle cubierta deck  
Autora del trabajo
- Figura 15.** Detalle cubierta autoprotegida no transitable  
Autora del trabajo
- Figura 16.** Detalle cubierta inundada  
Autora del trabajo
- Figura 17.** Detalle cubierta ajardinada  
Autora del trabajo
- Figura 18.** Ejemplo cubierta vegetal  
<http://ovacen.com/como-construir-cubiertas-vegetales-o-verdes-manuales-guias/>
- Figura 19.** Le Petite Maison, Le Corbusier. Izq. Terminal marítima de Yokohama, Estudio Inglés FOA. Dcha
-



<http://www.urbanarbolismo.es/blog/evolucion-historica-de-las-cubiertas-vegetales/>

**Figura 20.** Newgrange, Irlanda. Izq. Jardines Colgante de Babilonia. Dcha  
<http://www.urbanarbolismo.es/blog/evolucion-historica-de-las-cubiertas-vegetales/>

**Figura 21.** Reconstrucción de la granja Stöng, Islandia  
<http://www.urbanarbolismo.es/blog/evolucion-historica-de-las-cubiertas-vegetales/>

**Figura 22.** Definición de la arquitectura biosostenible  
Green Buildings: Analysis of State of Knowledge

**Figura 23.** Desglose de beneficio expresado en VAN  
Scaling of Economic Benefits from Green Roof Implementation in Washington, DC

**Figura 24.** Estadística del uso de la energía  
Green Roof Specifications and Standards

**Figura 25.** Edificio sin aislamiento. Izq. Edificio con aislamiento. Dcha  
Investigating and analysing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens, Greece

**Figura 26.** Planta General de la intervención  
<http://www.arquitectosdevalencia.es/arquitectura-de-valencia/1936-1974/grupo-residencial-virgen-del-carmen>

**Figura 27.** Vistas de la urbanización original  
<http://www.arquitectosdevalencia.es/arquitectura-de-valencia/1936-1974/grupo-residencial-virgen-del-carmen>

**Figura 28.** Planta baja y tipo del bloque lineal  
<http://www.arquitectosdevalencia.es/arquitectura-de-valencia/1936-1974/grupo-residencial-virgen-del-carmen>

**Figura 29.** Vistas de la urbanización actual  
<https://www.google.es/maps/>

**Figura 30.** Edificio elegido en planta  
<https://www.google.es/maps/>

**Figura 31.** Estado actual del edificio  
<http://www.arquitectosdevalencia.es/arquitectura-de-valencia/1936-1974/grupo-residencial-virgen-del-carmen>

**Figura 32.** Cerramiento actual  
Programa CE3X

**Figura 33.** Cubierta actual  
Programa CE3X

**Figura 34.** Cubierta renovada  
Programa CE3X

**Figura 35.** Cubierta renovada  
Programa CE3X

---

**Figura 36.** Calificación energética envolvente actual  
Programa CE3X

**Figura 37.** Calificación energética envolvente renovada  
Programa CE3X

**Figura 38.** Precios kWh  
<http://comparadorluz.com/faq/precio-kwh-electricidad>

**Figura 39.** Precios emisión CO<sub>2</sub>  
<http://www.sendeco2.com/es/>

**Figura 40.** Amortización de la inversión según el IVE  
Estudio del Potencial de ahorro energético y reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en la  
Comunitat Valenciana

**ANEXO 01**

---

**ANEXO 02**

---

**ANEXO 03**

---