



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA

TRABAJO FINAL DE GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA

ANÁLISIS CONSTRUCTIVO DE LAS CUBIERTAS INUNDADAS



AUTOR: LÓPEZ ORTIZ, LÁZARO

TUTOR: CUBEL ARJONA, FRANCISCO JOSÉ

CURSO ACADÉMICO 2017 - 2018

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	5
1. RESUMEN.....	6
2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	7
3. INTRODUCCIÓN.....	8
3.1. EL ORIGEN DE LAS CUBIERTAS	8
3.2. HISTORIA DE LAS CUBIERTAS.....	12
4. CUBIERTAS.....	16
4.1. DEFINICIÓN	16
4.2. CONDICIONES DE COMPORTAMIENTO.....	16
4.2.1. FUNCIONES PROYECTUALES	16
4.2.2. FUNCIONES TÉCNICAS	17
4.3. GENERALIDADES	22
5. LA CUBIERTA PLANA	23
5.1. DEFINICIÓN	23
5.2. EVOLUCIÓN DE LA CUBIERTA PLANA.....	23
5.3. PREJUICIOS SOBRE LA CUBIERTA PLANA	25
5.4. EXIGENCIAS BÁSICAS DE LAS CUBIERTAS PLANAS	26
5.5. CLASIFICACIÓN TIPOLOGICA	26
5.5.1. CUBIERTAS TRANSITABLES	27
5.5.2. CUBIERTAS NO TRANSITABLES	33
6. LA CUBIERTA INUNDADA O CUBIERTA ALJIBE	38
6.1. INTRODUCCIÓN	38
6.2. DEFINICIÓN	39
6.3. FASES DE EJECUCIÓN DE LAS CUBIERTAS INUNDADAS.....	39
6.3.1. SOPORTE ESTRUCTURAL.....	39
6.3.2. ANTEPECHO.....	40
6.3.3. CAPAS SEPARADORAS	40
6.3.4. BARRERA CORTA-VAPOR.....	41
6.3.5. AISLAMIENTO TÉRMICO	42
6.3.6. CAPA DE FORMACIÓN DE PENDIENTES.....	42
6.3.7. CAPAS DE REGULARIZACIÓN	42
6.3.8. JUNTAS DE DILATACIÓN	43
6.3.9. IMPERMEABILIZACIÓN.....	43
6.3.1. CAPA DE PROTECCIÓN O ACABADO.....	54

6.4. TIPOS DE CUBIERTAS INUNDADAS	55
6.4.1. CUBIERTA INUNDADA CONVENCIONAL NO TRANSITABLE	55
6.4.2. CUBIERTA INUNDADA CONVENCIONAL TRANSITABLE.....	57
6.4.3. CUBIERTA INUNDADA CONVENCIONAL ECOLÓGICA.....	58
6.4.4. CUBIERTAS INUNDADAS INVERTIDAS	59
6.5. VENTAJAS DE LA CUBIERTA INUNDADA	60
6.6. INCONVENIENTES DE LA CUBIERTA INUNDADA.....	61
6.7. MEJORAS Y RECOMENDACIONES PARA CUBIERTAS INUNDADAS	62
6.7.1. PROTECCIONES SOLARES.....	62
6.7.2. DEPÓSITOS DE ALMACENAMIENTO DE AGUA	63
6.7.3. UTILIZACIÓN DE COLORES CLAROS	63
6.7.4. PLAN DE MANTENIMIENTO	64
7. EJEMPLO DE APLICACIÓN.....	65
7.1. JUSTIFICACIÓN DEL EDIFICIO ESCOGIDO	65
7.2. EMPLAZAMIENTO	66
7.3. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE LA CUBIERTA ACTUAL.....	67
7.3.1. VISTAS	67
7.3.2. PLANOS PRINCIPALES.....	68
7.3.3. DIMENSIONES DE LA CUBIERTA.....	69
7.3.4. DISPOSICIÓN CONSTRUCTIVA ACTUAL	70
7.4. EJECUCIÓN DE LA CUBIERTA INUNDADA CONVENCIONAL.....	71
7.4.1. DEMOLICIÓN	71
7.4.2. ANTEPECHO	71
7.4.3. JUNTA DE DILATACIÓN	72
7.4.4. CAPA DE REGULARIZACIÓN	72
7.4.5. BARRERA CORTA-VAPOR.....	72
7.4.6. AISLANTE TÉRMICO	72
7.4.7. FORMACIÓN DE PENDIENTES	74
7.4.8. CAPA REGULADORA DE MORTERO DE CEMENTO	74
7.4.9. IMPERMEABILIZACIÓN.....	74
7.5. ELEMENTOS Y DISPOSITIVOS SINGULARES	80
7.5.1. REBOSADEROS	80
7.5.2. INTERRUPTORES DE NIVEL	80
7.5.3. ELECTROVÁLVULAS	81
7.5.4. SUMIDEROS	81
7.5.5. CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA	82
7.6. ACCESO A CUBIERTA POR MANTENIMIENTO.....	82

7.7. PRESUPUESTO	83
8. EDIFICIOS EMBLEMÁTICOS CON CUBIERTAS INUNDADAS	84
9. CONCLUSIÓN	85
10. BIBLIOGRAFÍA.....	86
11. ÍNDICE DE IMÁGENES	88

AGRADECIMIENTOS

“A mi madre Ana María, a mi padre Jesús y a mi hermano Jesús Mario, por su comprensión, por sus innumerables consejos y su apoyo incondicional en mis buenos, y sobre todo en mis peores momentos vividos como estudiante, habiendo depositado en mí toda la confianza necesaria para seguir luchando día a día por un futuro próspero, ofreciéndome todo cuanto estaba en sus manos.

A mi novia Alicia, por alegrarme la vida, por verle siempre el lado positivo de las cosas, por ser la única capaz de sacarme una sonrisa cuando las cosas se complican y por llenar de felicidad cada instante, por pequeño que sea.

A mis compañeros de piso, entre los cuales estaban mi hermano, mi primo Miguel Ángel y mi amigo Manuel, por compartir el día a día de una de las etapas más bonitas de la vida.

A todos los compañeros y profesores de la escuela, por haber hecho posible mi formación personal y profesional y en especial a Francisco José Cubel Arjona, tutor del presente trabajo, por haber hecho posible su desarrollo gracias a su ayuda e interés.”

1. RESUMEN

La cubierta inundada por definición es un contenedor de agua sobre el edificio. Al contrario del resto de cubiertas, esta tipología no intenta expulsar el agua, sino retenerla, sacarle partido a todas las posibilidades que nos ofrece para usarlas de forma beneficiosa en nuestras edificaciones, respetando el Medio Ambiente con conceptos como la reutilización o la captación de agua.

En el presente trabajo se analizan constructivamente las cubiertas inundadas, estudiando desde su desarrollo histórico hasta las tipologías, fases constructivas, ventajas y desventajas de dichas cubiertas para llegar a comprenderlas con la finalidad de desarrollar constructivamente una cubierta de este tipo en un edificio real.

Palabras clave: #construcción - #arquitectura - #cubierta - #plana - #inundada - #aljibe

RESUM

La coberta inundada per definició es un contenidor d'aigua sobre l'edifici. Al contrari de la resta de cobertes, aquesta tipologia no intenta expulsar l'aigua, sino retindre-la i traure partit a totes les possibilitats que ens oferix per a usar-les de forma beneficiosa en les nostres edificacions, respectant el Medi Ambient, amb conceptes com la reutilització o la captació d'aigua.

En el present treball s'analitzen constructivament les cobertes inundades, estudiant des del seu desenvolupament històric fins les tipologies, fases constructives, avantatges i desavantatges de dites cobertes per a comprendre-les en la finalitat de desenvolupar constructivament una coberta d'aquest tipus en un edifici real.

Paraules clau: #construcció - #arquitectura - #coberta - #plana - #inundada - #aljub

ABSTRACT

The flood cover is, by definition, a water container over the building. Unlike the rest of covers, this typology does not try to expel water, but to retain it and take advantage of all the possibilities it offers in order to be used in a beneficial way in our buildings, respecting the environment with the concepts of water reuse or collection.

In the present work, flooded covers are analyzed constructively, studying from the historical development up to the typologies, their constructive phases, advantages and disadvantages so we can understand them in order to constructively develop a flooded cover in a real building.

Key words: #construction - #architecture - #deck - #flat - #flooded - #cistern

2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

Es objetivo del presente trabajo analizar constructivamente las cubiertas inundadas. Para ello empezaremos estudiando las cubiertas de una manera global, focalizándonos en la tipología a analizar conforme avanza el trabajo.

Comenzaremos estudiando el origen y evolución de la cubierta a lo largo de la historia, con la finalidad de comprender todo su desarrollo.

En segundo lugar nos centraremos en el concepto de cubierta plana, estudiando todos los tipos de cubiertas que engloba, entre los cuales se encuentran las cubiertas inundadas, así como sus principales características y componentes.

Una vez tengamos claro el concepto de cubierta plana desarrollaremos la tipología de cubierta inundada, analizando sus fases de construcción, tipos, ventajas e inconvenientes y desarrollando una serie de posibles mejoras.

Posteriormente estudiaremos la construcción de una cubierta inundada en un edificio real definiendo sus detalles constructivos y el coste de ejecución. El edificio elegido es un colegio de Valencia, que es un colegio tipo que se ha repetido en distintos municipios. El uso dotacional se presta a la utilización de una cubierta aljibe por los beneficios que supone utilizar el agua de lluvia recogida.

Para finalizar se dispondrán las conclusiones del trabajo realizado.

3. INTRODUCCIÓN

3.1. EL ORIGEN DE LAS CUBIERTAS

Desde su origen, el hombre, dada su natural debilidad física, tuvo la **necesidad de protegerse** del medio agresivo que le rodeaba: agentes climatológicos adversos, fieras, otros hombres, etc. En un primer momento ese cobijo lo encontró ocupando las **cuevas naturales** tal y como la madre naturaleza se las ofrecía y más adelante fueron los propios hombres quienes, excavando y tallando la tierra y la piedra construyeron **cuevas artificiales** para satisfacer la necesidad de refugio, llegando en algunas ocasiones a originar resultados espectaculares tallando la roca compacta llegando en ciertos momentos a conformar espacios para venerar su fe en la vida más allá de la muerte, como la tumba de Atreo, en Micenas.¹

"Consideremos al hombre en su primer origen y sin ningún auxilio; sin otra guía que el instinto natural de sus necesidades. Precisa un lugar de reposo." LAUGIER, M-A. *Essai sur l'architecture*. 1753.

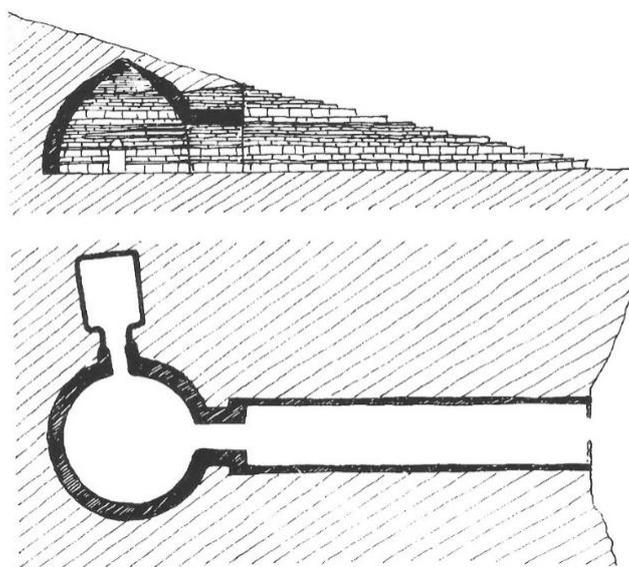


Ilustración 1. Cueva artificial en Micenas, conocida como Tesoro de Atreo.

"...Primeramente la gruta natural... por sí misma no es arquitectura; pero según en qué circunstancias, puede trascender su natural condición geológica en cuanto cobija esa misma naturaleza, haciéndola arquitectónica... el hombre gusta de pintar en los muros de las cuevas y los abrigos que habita, no sólo con fines estéticos, sino también con una finalidad mágica o propiciatoria". ALONSO PEREIRA, J. R. (2005). *Introducción a la historia de la arquitectura. De los orígenes al siglo XXI*. Barcelona: Editorial Reverté.

¹ BRITTO CORREA, C. (2001). *Análisis de la viabilidad y comportamiento energético de la cubierta plana ecológica*. Tesis doctoral. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

...las cuevas naturales – con sus irregulares paramentos de roca – sugirieron el levantamiento de muros de piedra para soportar losas pétreas a modo de cubierta. El modelo primero de la casa egipcia exhibe esta influencia de la cueva sobre la planta, diseño y material de las construcciones primitivas... (FLETCHER, B. 1993).

Por otra parte, los primeros hombres no siempre encontraban grutas naturales para guarecerse y debían contentarse con tiendas fijadas en el suelo. Estas habitaciones improvisadas y estables constituyeron las primeras **cabañas**, cuyas cubiertas aluden a la forma natural de las montañas, a la forma triangular que tienen las manos al protegerse, pues es la forma que mejor evacúa el agua. Según Filarete: *“Con el gesto de las manos sobre la cabeza se dio origen a un elemento que puede ser arquitectura en sí misma”*.

“...en aquellos tiempos los cazadores y los pescadores buscaron naturalmente el cobijo de cuevas en la roca, y éstas constituyeron los primeros alojamientos humanos; quienes laboraban la tierra se resguardaron bajo las copas de los árboles, de donde derivaron chozas de ramaje y barro; y los pastores en trashumancia se cubrirían con pieles que, con solo alzarlas sobre un mástil, dieron lugar a tiendas... (FLETCHER, B. 1993).

Es en los principios del Neolítico cuando el número de cabañas que se construyen aumenta considerablemente, pues remite el clima glacial. Las nieves se retiran y posibilitan que el hombre salga de la cueva. Así, en contra de la cueva, enterrada en la oscuridad de la tierra, la cabaña emerge del terreno, elevándose sobre él.²

...las arboledas sugerirían cabañas cuyas paredes las formarían los troncos y cuyas techumbres serían de ramaje y capa vegetal. Tales cabañas restan en uso entre pueblos primitivos...” (FLETCHER, B. 1993).

El hombre primitivo construyó las cabañas con los materiales que disponía en su entorno (cañas y tallos, hojas y ramas, troncos, piedras, pieles y restos de animales...). De estos materiales debía crear estructuras estables y durables, lo que consiguió solapándolos y entretejiéndolos entre sí para cubrir, abovedar o salvar el espacio útil.³

² ALONSO PEREIRA, J.R. (2005). *Introducción a la historia de la arquitectura. De los orígenes al siglo XXI*. Barcelona: Editorial Reverté.

³ BRITTO CORREA, C. (2001). *Análisis de la viabilidad y comportamiento energético de la cubierta plana ecológica*. Tesis doctoral. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

En las primeras cabañas no había distinción entre cerramiento y cubierta, pues ambos estaban resueltos con los mismos materiales, pero con el paso del tiempo estas construcciones fueron evolucionando hasta diferenciar ambos elementos constructivos, dando lugar al **sistema adintelado** compuesto por dos familias constructivas, una vertical y otra horizontal, un soporte y una cubierta.

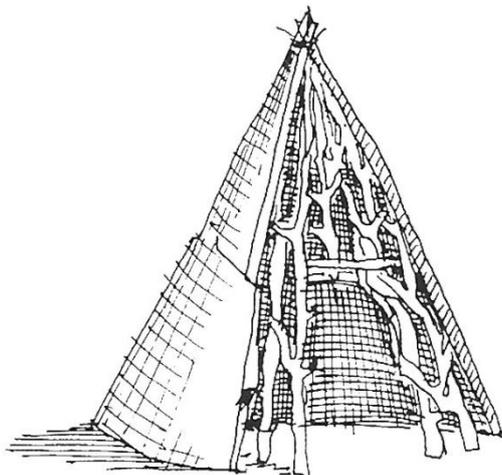


Ilustración 2. La cabaña primitiva, imaginada en el siglo XVIII, sólo diferencia el cerramiento de la estructura, pero sin distinguir entre la estructura portante y la cubierta.

A lo largo de la historia la posibilidad de vivir fuera de las cuevas se va reafirmando gracias a las mejoras constructivas, resultado de la imaginación humana, el uso de nuevos materiales, y el cambio de la economía recolectora y depredadora (caza y pesca) por la agricultura y ganadería. Todo ello llevó a la configuración de los primeros asentamientos apareciendo edificaciones como las primeras viviendas, cuadras, murallas, etc. Pasando del nomadismo al sedentarismo.⁴

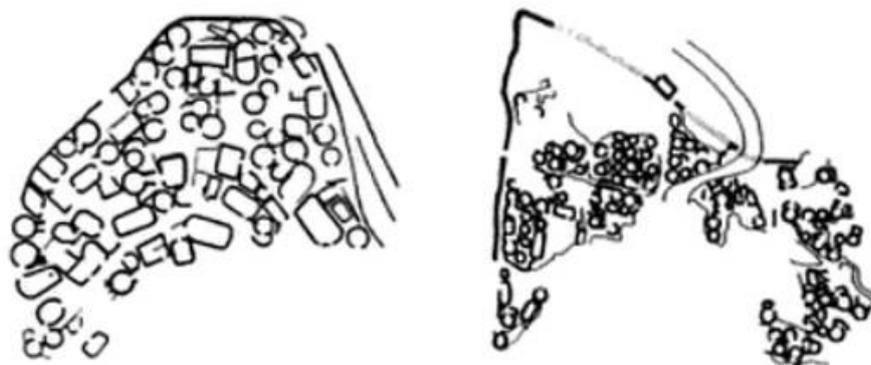


Ilustración 3. Primeros asentamientos. Castros celtas en Asturias (izquierda) y de Santa Tecla, en Galicia.

⁴ ALONSO PEREIRA, J.R. (2005). *Introducción a la historia de la arquitectura. De los orígenes al siglo XXI*. Barcelona: Editorial Reverté.

Tal como muchos autores afirman, **el origen de la arquitectura es el origen de las cubiertas**, y más concretamente **el de las primeras cabañas**, ligadas al **origen del hombre** y su lucha por la búsqueda de cobijo.

...“El hombre quiere construirse un alojamiento que lo proteja sin enterrarlo. Unas ramas caídas en el bosque son los materiales apropiados para su propósito. Escoge cuatro de las más fuertes, las levanta perpendicularmente y las dispone formando un cuadrado. Encima pone otras cuatro atravesadas y sobre éstas levanta, partiendo de dos lados, un grupo de ramas que, inclinadas contra sí mismas, se encuentran en el punto alto. Cubre esta especie de tejado con hojas, lo bastante juntas para que ni el sol ni la lluvia puedan traspasarlo, y ya está el hombre alojado. Ciertamente, el frío y el calor le harán sentirse incómodo en su casa abierta por todas partes, pero entonces rellenará el hueco entre los pilares y se sentirá resguardado”... LAUGIER, M-A. *Essai sur l'architecture*. 1753.

... “La pequeña cabaña rústica que acabo de describir es el modelo a partir del cual se han imaginado todas las magnificencias de la arquitectura.” LAUGIER, M-A. *Essai sur l'architecture*. 1753.

Además dando un salto de escala, el concepto de cabaña podría incluir en él el concepto de **urbanismo**, tal y como dijo Leon Battista Alberti en el siglo XV.

“La ciudad es una casa grande, y la casa es una ciudad pequeña”. **Leon Battista Alberti. Siglo XV.**

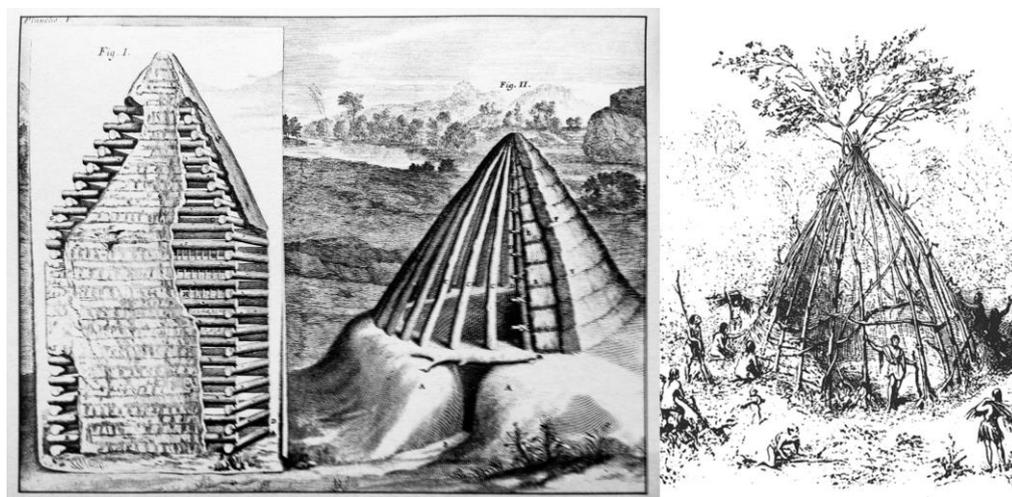


Ilustración 4. Visiones de la cabaña primitiva según Claude Perrault (izquierda) y Viollet (derecha).

3.2. HISTORIA DE LAS CUBIERTAS

A lo largo de la historia la cabaña será el origen de la arquitectura, fundamentada en la búsqueda de cobijo por el ser humano, pero conviene estudiar también las llamadas **arquitecturas primeras o primarias**, cuya finalidad no era la de suplir una necesidad básica como el refugio, sino totalmente opuesta, pues eran arquitecturas no habitables, **de carácter meramente simbólico**.⁵

Hablamos de las **construcciones megalíticas** (del griego megas: grande y lithos: piedra), constituidas por enormes bloques de piedra sin tallar o escasamente desbastadas, enterradas en el terreno.⁶ De este tipo de construcciones, y centrándonos en el concepto de cubierta, cabe destacar:

- El **menhir** en una definición estricta, es todo monolito hincado verticalmente en el suelo.

- El **sistema trilítico** está basado en dos piedras verticales con una piedra horizontal simplemente apoyada sobre ellas a modo de dintel, conformando lo que sería una cubierta plana. (Stonehenge).

- El **dolmen**, que en bretón quiere decir "mesa grande de piedra", es una construcción formada generalmente por grandes losas de piedra clavadas en la tierra en posición vertical que soportan una o más losas horizontales, a modo de cubierta.⁷

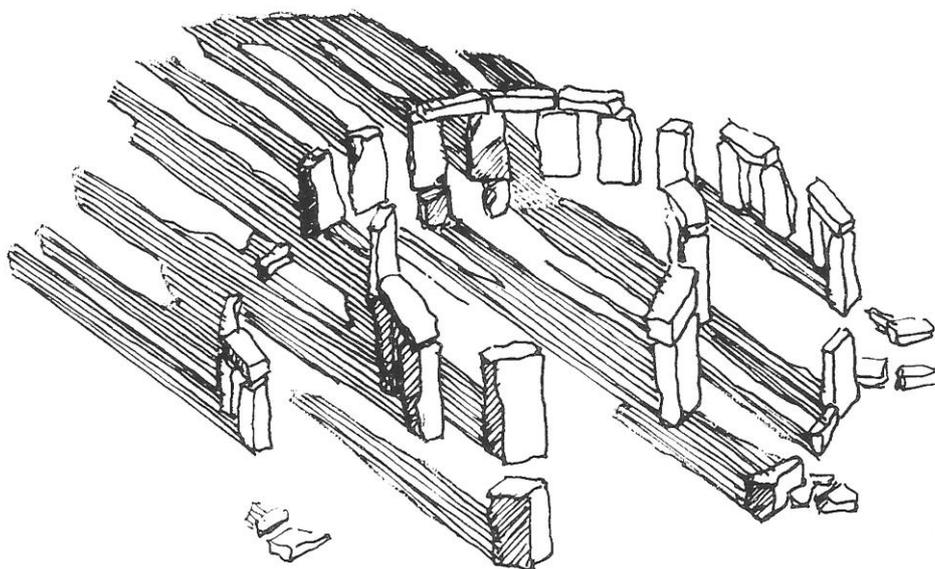


Ilustración 5. Círculo megalítico de Stonehenge (Salisbury).

⁵ ALONSO PEREIRA, J.R. (2005). *Introducción a la historia de la arquitectura. De los orígenes al siglo XXI*. Barcelona: Editorial Reverté.

⁶ Portal Arquitectura técnica. *Arquitectura prehistórica*.

<<http://www.arquitecturatecnica.net/historia/arquitectura-prehistorica.php>> [Consulta: 3/10/2017].

⁷ REVISTA DIGITAL MUY INTERESANTE. ¿Qué es un dolmen? <<https://www.muyinteresante.es/cultura/arte-cultura/articulo/i-que-es-un-dolmen>> [Consulta: 3/10/2017].

Dejando de lado las construcciones megalíticas, y volviendo al concepto de la arquitectura como cobijo, con el paso del tiempo y gracias a la imaginación e intelecto del hombre, las cubiertas, y con ellas la arquitectura, fueron evolucionando hasta que la necesidad de refugio ya no presentaba un problema, pues la inventiva llevó a soluciones que paliaban dicha urgencia, pasando entonces a plantearse otros retos que resolver, a mejorar. En este contexto empieza a evolucionar la arquitectura a lo largo de la historia, hasta la actualidad.

De las **primeras civilizaciones**, y en cuanto a la evolución histórica de las cubiertas, destacan:

La civilización egipcia, durante la cual se emplearon tanto sistemas adintelados cubiertos con maderas u hojas, como sistemas de bóvedas primitivas.⁸ Éstas últimas utilizadas sobre todo durante la cuarta dinastía egipcia, época en la que se desarrolló el uso del arco. De vital importancia son las famosas pirámides egipcias, en las que la cubierta adopta esa forma triangular que nos recuerda a la protección de las manos sobre la cabeza, evolucionando hasta convertirse en un volumen piramidal macizo que genera espacios interiores.

Gran relevancia tiene la **civilización mesopotámica**, pues fue donde aparecieron los primeros ejemplos de **“cubiertas inundadas”** (tema principal del presente trabajo) y “cubiertas ajardinadas” con la ejecución de los célebres **Jardines Colgantes de Babilonia**.

Esta obra constituyó una de las Siete Maravillas del Mundo Antiguo y la construyó Nabucodonosor VII en un gesto de amor hacia su esposa, la reina Semirámide.

Una de las versiones del mito de Semirámide, la reina de Babilonia, narra el origen de los Jardines Colgantes de Babilonia, obra mandada construir por Nabucodonosor VII como muestra hacia su esposa Semirámide. El mito cuenta que la nueva reina, echaba de menos las regiones montañosas y los vergeles de su antigua patria, tan diferentes a la llanura babilónica. Para paliar dicho sentimiento nostálgico, el rey mandó construir en el centro de la ciudad un edificio cuyas cubiertas serían terrazas artificiales con jardines por donde pasear y explayar la vista, que dejaran de lado la mera función de paraguas protector y evacuador de aguas para pasar a ser un lugar con doble uso, además de cumplir las funciones que a una cubierta se le exigían, ser un espacio de retiro donde disfrutar de los placeres que otorgan el sol, la vegetación, el agua... Un lugar de dominio sobre el paisaje.⁹

⁸ TEJELA JUEZ, J., NAVAS DELGADO, D., MACHÍN HAMALAINEN, C. (2013). *Rehabilitación, mantenimiento y conservación de cubiertas*. Madrid: Tornapunta Ediciones, S.L.U.,
<http://libreria.fundacionlaboral.org/ExtPublicaciones/Rehab_Cubiertas.pdf>

⁹ GRAUSS, R. (2005). *La cubierta plana, un paseo por su historia*. Barcelona: Editorial Texsa.

Los Jardines Colgantes de Babilonia se ubicaron junto al río Éufrates, del cual se obtenía aguas para riego. Se construyeron básicamente con adobe, material abundante de esas tierras y estaban compuestos por una serie de cubiertas planas impermeabilizadas con betún.¹⁰ El arco y la bóveda eran los sistemas utilizados para las cubiertas de entradas y ventanas.



Ilustración 6. Pintura del siglo XVI de los Jardines Colgantes de Babilonia, Martin Heemskerck. Siglo XVII



Ilustración 7. Los Jardines Colgantes de Babilonia según Athanasius Kircker (1602-1680)

La **arquitectura cretense** carece de la unidad y monumentalidad egipcia o mesopotámica, pero presenta un carácter abierto con terrazas con cubiertas planas adinteladas formadas por vigas de madera ornamentadas (frisos).¹¹ En la arquitectura funeraria encontramos, además de cuevas excavadas en la roca, cubiertas vegetales en algunos "tholos", construcciones de piedra de planta circular.

En la **arquitectura griega** se desarrollaron las cubiertas inclinadas, ventiladas, con estructuras de madera y con gran protagonismo al ser vistas por sus dos caras y protegidas mediante el solape de materiales pétreos o cerámicos. Los griegos utilizaron el mismo concepto de columna y dintel pero con una cubierta mucho más elaborada, contando con entablamento, cornisa, frontón y alero.

Para las cubiertas, durante la **arquitectura romana** se emplearon estructuras sencillas de madera y estructuras más complejas de hormigón primitivo romano (un tipo de hormigón "armado") con el que conformaban cúpulas y bóvedas sobre las cuales se tiene constancia que en ocasiones descansaban cubiertas planas. Para impermeabilizar las cubiertas, los romanos solapaban elementos de poca dimensión unidos con mortero: tejas de bronce o cerámicas en edificios singulares y tejas romanas en el resto de construcciones.¹⁰

¹⁰ TEJELA JUEZ, J., NAVAS DELGADO, D., MACHÍN HAMALAINEN, C. (2013). *Rehabilitación, mantenimiento y conservación de cubiertas*. Madrid: Tornapunta Ediciones, S.L.U., <http://libreria.fundacionlaboral.org/ExtPublicaciones/Rehab_Cubiertas.pdf>

¹¹ Portal de la historia del arte. *Arte prehelénico*. <<http://www.arteespana.com/artecretense.htm>> [Consulta: 3 de octubre de 2017].

Las cubiertas de la **arquitectura bizantina** estaban impermeabilizadas principalmente de dos formas: mediante el conocido sistema de tejas solapadas y mediante vertidos de arcilla.¹²

La **cubierta medieval** se caracteriza por sus grandes pendientes impermeabilizadas por solape de piezas de madera, pizarra, teja, etc. Estas cubiertas eran soportadas por vigas de madera y bóvedas de piedra y contaban con eficientes sistemas de evacuación de agua.

De la **arquitectura musulmana** destacan, entre otras cosas, los vivos colores de sus "tejas árabes", tejas vidriadas de colores verdes, azules, etc.

Los sistemas de impermeabilización sufrieron grandes avances entre el **Renacimiento y el siglo XIX**. Se superpusieron pizarras sobre elementos de madera, utilizaron por primera vez canalones de cerámica tratada con aceites, se sirvieron del plomo para fabricar piezas de encuentros singulares y baberos, usaron tejas de madera tratadas con aceites las cuales trataban con pinturas periódicamente. Además en este periodo de tiempo aparecieron las "cubiertas a la catalana".¹²

La metalurgia, y en concreto el proceso de la fundición, sufrió grandes avances durante **el siglo XIX** con el desarrollo del ferrocarril. Ello se vio reflejado en la construcción, donde aparecieron construcciones metálicas: puentes, estaciones... y cubiertas con grandes superficies acristaladas.¹²

El **siglo XX** es una época en la que se perfeccionaron las cubiertas tradicionales. Para ello había dos maneras: la primera era seguir utilizando los materiales tradicionales (teja, pizarra, metales...) intentando mejorar las técnicas constructivas, y la segunda era implementar el uso de nuevos materiales a sistemas constructivos tradicionales (uralita, paneles sándwich, maderas hidrófugas, chapas onduladas, láminas impermeables...)¹²

En este siglo, y focalizando en el tipo de cubiertas objeto del presente trabajo, cabe destacar como se verá con mayor detenimiento en siguientes apartados, que la cubierta plana y en especial la cubierta inundada y la ajardinada sufrirán un gran auge, pues con la llegada de productos impermeables como telas asfálticas o de PVC se resolverán problemas difícilmente paliables que presentaban las cubiertas planas. De esta forma se consiguen terrazas con vida, espacios de disfrute que logran mejorar el medio ambiente de nuestras ciudades.

¹² TEJELA JUEZ, J., NAVAS DELGADO, D., MACHÍN HAMALAINEN, C. (2013). *Rehabilitación, mantenimiento y conservación de cubiertas*. Madrid: Tornapunta Ediciones, S.L.U., <http://libreria.fundacionlaboral.org/ExtPublicaciones/Rehab_Cubiertas.pdf>

4. CUBIERTAS

4.1. DEFINICIÓN

Las cubiertas, en el ámbito de la arquitectura, se definen como elementos constructivos cuya función principal es la de proteger a los edificios, y más concretamente a los espacios ubicados inferiormente a las mismas, ante los posibles agentes meteorológicos adversos, con la finalidad de conseguir alcanzar unos requisitos proyectuales y de confort, actuando de la misma forma que un cerramiento exterior.

4.2. CONDICIONES DE COMPORTAMIENTO

4.2.1. FUNCIONES PROYECTUALES

Las cubiertas constituyen uno de los elementos constructivos más importantes de los edificios y pueden ir más allá de resolver meramente problemas técnicos “allá arriba”, en la parte superior de los edificios, quedando en el olvido. Las cubiertas pueden volverse protagonistas en los edificios, dotándolas de carga artística mediante el uso de colores y formas expresivas, convirtiéndose en el elemento principal, el que le otorga identidad.

Dos claros ejemplos son la cubierta del Mercado de Santa Caterina en Barcelona, de Enric Miralles, cuya cubierta resolvió con formas onduladas que recuerdan las olas del mar y coloreó de vivos colores referenciando las variedades frutales que alberga en su interior y la Ópera de Sídney en Australia, de Jørn Utzon, que resolvió la cubierta con un planteamiento plástico resuelto mediante superficies curvas, blancas y brillantes.¹³

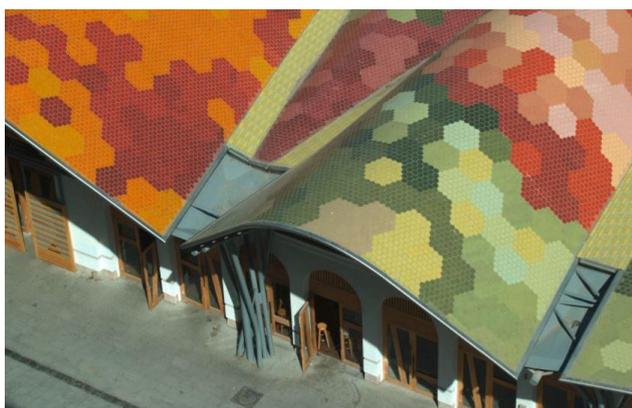


Ilustración 8. Mercado de Santa Caterina, Barcelona. Enric Miralles.



Ilustración 9. Ópera de Sídney. Jørn Utzon.

¹³ CRESPO CABILLO, I. (2005). *Control gráfico de formas y superficies de transición*. Tesis doctoral. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.

4.2.2. FUNCIONES TÉCNICAS

4.2.2.1. RESISTENCIA MECÁNICA

Las cubiertas deberán estar dimensionadas para que cuenten con la suficiente resistencia mecánica y estabilidad como para soportar todas las acciones a las que están sometidas, tanto las **directas** (permanentes, variables y accidentales), como las **indirectas** (térmicas y reológicas).

Según el **CTE-DB-SE-AE**, las acciones que afectan a las cubiertas son:

- **Acciones permanentes.** Las debidas al peso propio de los materiales que conforman la cubierta.
- **Acciones variables:** Cargas que varían a lo largo del tiempo. Hay tres tipos:
 - **Sobrecarga de uso.** Compuesta por todo lo que gravita sobre el edificio según su uso.
 - **Sobrecarga de viento.** Distribución y valor de las presiones que ejerce el viento sobre el edificio.
 - **Sobrecarga de nieve.** Distribución e intensidad de carga de nieve sobre un edificio.

Tabla 4.1 Coeficientes parciales de seguridad (γ) para las acciones

Tipo de verificación ⁽¹⁾	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
Resistencia	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
Estabilidad		desestabilizadora	estabilizadora
	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

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

Ilustración 10. Tabla de coeficientes parciales de seguridad para las acciones.

- **Acciones accidentales: Sismo, incendio e impactos.** Las cargas debidas a sismo las prescribe la Norma de construcción sismorresistente (NCSE).

- **Acciones térmicas.** Son las debidas a los cambios de temperatura. La cubierta es un elemento muy expuesto a los efectos del sol, por lo que sus capas exteriores sufren sobrecalentamientos que se transmiten a sus capas interiores, provocando dilataciones y contracciones cíclicas. ¹⁴

- **Acciones reológicas.** Retracciones y fluencia de los materiales.

Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad (ψ)

	ψ_0	ψ_1	ψ_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)		(1)	
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría G)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes \leq 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

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

Ilustración 11. Tabla de Coeficientes de simultaneidad.

¹⁴ CÁTEDRA DE CONSTRUCCIÓN 2. (2015). *Cubiertas tecnológicas*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

4.2.2.2. ESTANQUEIDAD

Las cubiertas son los elementos de los edificios que más expuestos están en lo que se refiere a estanqueidad. Se debe impedir la entrada de agua de lluvia o nieve al interior del edificio con el fin de evitar patologías y falta de higiene. Ello se consigue mediante dos sistemas que deben funcionar a la par: la geometría de la cubierta y el conjunto y disposición de los materiales que la conforman.

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.

Ilustración 12. Cita del CTE sobre el grado de impermeabilidad.

4.2.2.3. AISLAMIENTO TÉRMICO

La cubierta es parte del cerramiento del edificio, de su envolvente y por lo tanto deberá cumplir una serie de requisitos en cuanto a ahorro de energía se refiere con el fin de controlar las pérdidas y ganancias de calor para reducir el consumo energético de los edificios.

Dependiendo de la ubicación del edificio, el CTE-DB-HE (ahorro de energía) define unos valores de transmitancia máximos que no podrán ser superados por la envolvente del edificio. En el Apéndice E del CTE HE se definen las transmitancias orientativas para muros, suelos y cubiertas, para cumplir con el CTE HE0 y HE1.

Tabla E.1. Transmitancia del elemento [W/m² K]

Transmitancia del elemento [W/m ² K]	Zona Climática					
	α	A	B	C	D	E
U _M	0.94	0.50	0.38	0.29	0.27	0.25
U _S	0.53	0.53	0.46	0.36	0.34	0.31
U _C	0.50	0.47	0.33	0.23	0.22	0.19

U_M: Transmitancia térmica de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno

U_S: Transmitancia térmica de suelos (forjados en contacto con el aire exterior)

U_C: Transmitancia térmica de cubiertas

Ilustración 13. Tabla de transmitancias de elementos.

4.2.2.4. AISLAMIENTO ACÚSTICO

El CTE-DB-HR (Protección frente a ruido) tiene por función limitar el ruido (aéreo, de impacto y vibraciones) en el interior de los edificios para evitar molestias y enfermedades buscando el confort.

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 ⁽¹⁾ , 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

⁽¹⁾ 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.

Ilustración 14. Tabla de valores de aislamiento acústico a ruido aéreo.

4.2.2.5. SEGURIDAD EN CASO DE INCENDIO

El CTE-DB-SI (Seguridad en caso de incendios) establece unas condiciones que deben cumplir los edificios como seguridad frente al fuego.

Entre las exigencias básicas es de vital importancia el concepto de **propagación exterior**, ya que las cubiertas se diseñan muy condicionadas a evitarlo.

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*.

Ilustración 15. Apartado 11.2 del Artículo 11. Exigencias básicas de seguridad en caso de incendio.

4.2.2.6. SEGURIDAD DE UTILIZACIÓN Y ACCESIBILIDAD

El CTE-DB-SUA (Seguridad de utilización y accesibilidad) establece una serie de exigencias de resbaladidad a los pavimentos y medidas para limitar el riesgo de caídas.

4.2.2.7. DURABILIDAD Y COMPATIBILIDAD DE MATERIALES

Las cubiertas deberán conservar durante un cierto periodo de tiempo su funcionalidad. Para ello habrán de cumplir una serie de circunstancias, que tendremos que tener en cuenta al diseñarlas.

- La durabilidad de la cubierta está muy ligada a la durabilidad de los materiales que la componen, mientras éstos no pierdan su funcionalidad, la cubierta en su conjunto tampoco lo hará.¹⁵

- Debido a su ubicación en el edificio, la radiación solar y la posible acumulación de hielo afectan de manera agresiva a las cubiertas. Para atenuar o evitar el deterioro de las partes más importantes como el aislamiento térmico y la impermeabilización, se dispondrán capas de acabado y protección.¹⁶

- Las cubiertas están sometidas a cargas térmicas variables que les provocan variaciones dimensionales (dilataciones y contracciones). Por ello los elementos que las componen se diseñarán para que sean capaces de absorber posibles movimientos sin perder la funcionalidad del conjunto.

- Los elementos impermeabilizantes deberán ser compatibles con los movimientos de la cubierta.

- Se debe encontrar el equilibrio entre peso y durabilidad. Cuanto más protejamos los materiales de la cubierta, más pesará en su conjunto, hecho que puede llegar a ser contraproducente en determinadas ocasiones, sobre todo a nivel estructural.¹⁶

¹⁵ MAS TOMÁS, A. (2014). *Cubiertas en plano inclinado*. Valencia: Editorial Universidad Politécnica de Valencia.

¹⁶ VERA MINGUILLÓN, F X. (2015). *Análisis de la cubierta plana inundada*". Memoria para optar al título de ingeniero constructor. Chile: Facultad de Ingeniería.

4.3. GENERALIDADES

Las cubiertas soportan cargas permanentes, cargas variables y cargas debidas a la variación de las temperaturas (dilataciones, contracciones) además de verse afectadas por el constante deterioro de los agentes atmosféricos. Por ello es de vital importancia prestar mucha atención a la hora de diseñarlas, pues son uno de los elementos constructivos que más lesiones sufre.

Las cubiertas se pueden diferenciar en tres partes:

- **Superficie exterior de acabado:** Sometida constantemente a los agentes atmosféricos.
- **Capas intermedias:** Su finalidad es doble, impermeabilizar y aislar. Sufren asentamientos y deformaciones debido a las alteraciones dimensionales fruto de las variaciones de temperatura.
- **Soporte:** También sufre dilataciones, contracciones térmicas y asentamientos debidos a las variaciones de temperatura, y su función es la de dirigir los esfuerzos a los que está sometida la cubierta hacia la estructura del edificio.¹⁷

¹⁷ VERA MINGUILLÓN, F X. (2015). *Análisis de la cubierta plana inundada*". Memoria para optar al título de ingeniero constructor. Chile: Facultad de Ingeniería.

5. LA CUBIERTA PLANA

5.1. DEFINICIÓN

Se denominan cubiertas planas a aquellas cuyas pendientes **tienen inclinaciones inferiores al 5% y superiores al 1%** por cuestiones de drenaje y evacuación de aguas. Por encima del 5% aparecen cubiertas cuyo tránsito resulta molesto, y por debajo del 1% el drenaje es poco eficaz.

Deben poseer una absoluta continuidad en su envolvente impermeable para garantizar que la cubierta permanezca totalmente estanca. Hay dos métodos para conseguirlo:

-Sellantes: Se encargan de impedir la posible entrada de agua a través de las juntas de materiales no continuos.

-Solapes: Consisten en la superposición de piezas por sus bordes para garantizar la continuidad.

5.2. EVOLUCIÓN DE LA CUBIERTA PLANA

Desde los primeros tiempos han existido dos tipos de cubiertas, las inclinadas y las planas. La existencia de ambas ha llevado siempre ligadas cuestiones como cuál de ellas era mejor, qué ventajas e inconvenientes tenían una respecto a la otra, si existía la posibilidad de combinar ambos tipos para conseguir la cubierta "ideal"...

Las cubiertas inclinadas han sido las más utilizadas tradicionalmente. Parece lógico que una cubierta deba tener cierta inclinación para evacuar el agua con facilidad y por lo tanto a priori puede parecer que sean la mejor solución, pero también tienen ciertas desventajas como el uso de sus espacios, impracticables en su cara exterior, y relegados en la mayoría de los casos a ser utilizados como cámaras de aire en su cara interior.

En cuanto a las cubiertas planas, se han utilizado desde tiempos ancestrales sobre todo en zonas con climas muy secos, donde se utilizaban para protegerse del sol y recolectar agua. En climas húmedos, donde lo que se pretendía era evacuar el agua, no se utilizó este tipo de cubierta de manera generalizada hasta el **siglo XX**, época en la que nacieron las **láminas continuas impermeables**, ya que hasta entonces las técnicas utilizadas para impermeabilizar las cubiertas consistían en la superposición y el solape de piezas de pequeña dimensión, llevando a la necesidad de inclinar las cubiertas para lograr evacuar el agua.¹⁸

¹⁸ Revista *Tectónica* (1999). Cubiertas (I). Madrid: ATC Ediciones, S.L.

El **Movimiento Moderno**, marcando una ruptura con la tradicional configuración de espacios y formas compositivas, trajo consigo el uso generalizado de la cubierta plana, que pasó a considerarse un plano más. Este uso intensivo de la cubierta plana durante el siglo XX se debió a varios factores: El primero fue el **avance tecnológico de la industria química**, que desarrolló productos de gran capacidad impermeable (asfálticos primero, y láminas bituminosas más tarde) que conseguían la estanqueidad necesaria para reducir pendientes y "llegar" a la cubierta plana ofreciendo una alternativa al tradicional solape de piezas de pequeña dimensión. La **economía** fue el segundo factor, pues constructivamente las cubiertas inclinadas eran más complejas que las planas, las actuales se podrían considerar "un forjado más", simplificando los procesos constructivos y la ejecución. Y en tercer lugar **la sociedad**, pues la cubierta pasó de tener un papel meramente volumétrico a verse como un lugar de disfrute al exterior de placeres como el sol, el espacio, la vegetación e incluso del agua, asimilándose a la cubierta de los barcos (paradigma de la construcción industrializada).¹⁹ Le Corbusier incluyó la cubierta plana en los cinco puntos de su "nueva arquitectura": Elevación sobre pilotes, planta libre, fachada libre, ventana alargada y la **cubierta-jardín**.

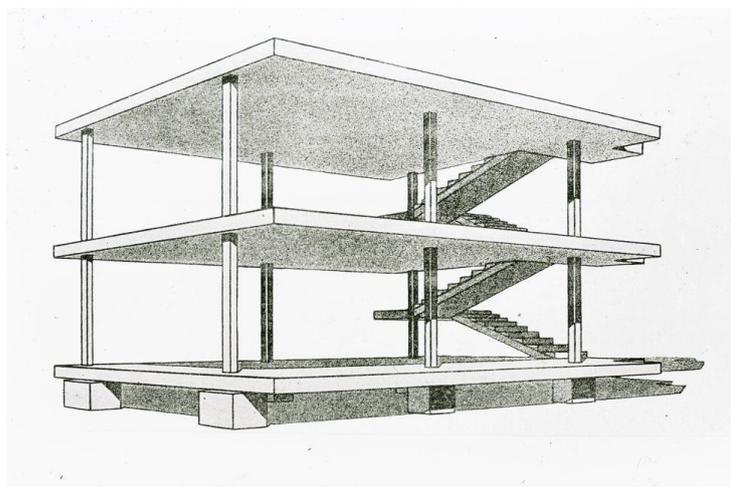


Ilustración 16. Casa Dom-ino, Le Corbusier, 1914.

El uso de la cubierta plana se volvió habitual a partir los años 40 del siglo XX, época en la que quedó detallada la **sección tipo** de este tipo de cubiertas. Dicha sección ha ido evolucionando hasta adaptarse a cubiertas inclinadas.²⁰

La cubierta plana ha derivado en cubiertas escultóricas de gran carga artística, con geometrías onduladas en las que las pendientes no son regulares y en cubiertas ecológicas que intentan ser respetuosas con el medio ambiente, como las cubiertas ajardinadas y las cubiertas inundadas, que disminuyen la contaminación ambiental y el efecto de la isla de calor urbana, dando como resultado ciudades con mejor calidad de vida.

¹⁹ BRITTO CORREA, C. (2001). *Análisis de la viabilidad y comportamiento energético de la cubierta plana ecológica*. Tesis doctoral. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

²⁰ *Revista Tectónica* (1999). Cubiertas (I). Madrid: ATC Ediciones, S.L.

5.3. PREJUICIOS SOBRE LA CUBIERTA PLANA

A pesar de que la cubierta plana ha cambiado la geometría de nuestras ciudades y nos ha brindado un escaparate de disfrute del último forjado y por lo tanto a priori podría parecer la solución ideal, la imagen deseada, en el subconsciente colectivo aún quedan vestigios que ven la cubierta inclinada más ligada al instinto de protección, de cobijo, que la plana. Como curiosidad, al finalizar la visita a una exposición de Terragni en la que se mostraban diferentes proyectos con cubiertas planas, se le pidió a un grupo de niños que dibujasen edificios que habían visto durante su visita. Lo asombroso es que muchos de ellos incorporaron la cubierta inclinada a sus obras.²¹

A ese subconsciente hay que añadirle prejuicios económicos, pues existe una idea generalizada de que las viviendas modernas son más caras que las tradicionales, asociando la cubierta plana a las viviendas modernas, y la inclinada a las tradicionales. Para intentar desmentirlo, apoyándonos en un artículo del estudio AD+ arquitectura, suponemos una casa cuya planta mida 10 x 10m de la cual vamos a presupuestar dos soluciones: por un lado tendremos una cubierta plana invertida acabada en gravas y por otro, una cubierta inclinada a dos aguas con fibrocemento y teja cerámica.²²

*En el cuadro varían las mediciones de una a otra, pues las superficies son distintas de una a otra.

CUBIERTA INCLINADA				CUBIERTA PLANA			
PARTIDA	MEDICIÓN	PRECIO	TOTAL	PARTIDA	MEDICIÓN	PRECIO	TOTAL
LOSA	120'74 m ²	78'00 €	9.417'72 €	LOSA	96'24 m ²	78'00 €	7.506'72 €
CUBIERTA	120'74 m ²	68'10 €	8.222'39 €	CUBIERTA	94'48 m ²	55'10 €	5.205'85 €
CANALÓN	21'60 m ²	25'00 €	540'00 €	ALBARDILLA	40'00 m ²	25'00 €	1.000'00 €
TESTEROS	13'50 m ²	13'50 €	1.162'35 €	IMP. PETO	29'37 m ²	27'00 €	729'99 €
				L.H.D. PETO	15'70 m ²	18'50 €	290'45 €
				L.H. CERRAM.	20'80 m ²	18'50 €	384'80 €
				AI SLAM. PETO	20'38 m ²	12'10 €	246'60 €
				ENF. + PINTURA	20'38 m ²	23'50 €	488'60 €
TOTAL			19.342'46 €	TOTAL			15.916'21 €

Ilustración 17. Tabla comparativa de precios. Cubierta inclinada VS. Cubierta plana.

Como se puede apreciar, la cubierta plana resulta 3.426'25 € más barata que la inclinada para el caso estudiado, lo que representa aproximadamente un 3'4 % del total del presupuesto. Además no se han tenido en cuenta otro tipo de consideraciones como son el hecho de que las chimeneas resultarán más aparatosas y caras en el caso de las cubiertas inclinadas y la estructura de una cubierta plana es más ligera que una inclinada y por consiguiente más económica.

²¹ Revista *Tectónica* (1999). Cubiertas (I). Madrid: ATC Ediciones, S.L.

²² Página web del estudio arquitectura AD+. *Cubierta plana vs Cubierta inclinada*. <<http://www.admasarquitectura.com/cubierta-plana-vs-cubierta-inclinada/>> [Consulta: 4 de octubre de 2017].

5.4. EXIGENCIAS BÁSICAS DE LAS CUBIERTAS PLANAS

Como se ha comentado en puntos anteriores, la cubierta es uno de los elementos con más riesgo de fallo y con los que más cuidado se ha de tener a la hora de diseñar y ejecutar, debido tanto a su ubicación en el edificio, normalmente muy expuesta a agentes meteorológicos, como la importante función que debe desarrollar, entre otras, de proteger los espacios inferiores a ellas.²³

A los problemas que conlleva el asegurar que las cubiertas cumplan con todas las funciones que deben suplir (resistencia mecánica, estanqueidad, aislamiento térmico y acústico, seguridad en caso de incendio, seguridad de utilización y accesibilidad y durabilidad) hay que añadirles el agravio extra que presentan las cubiertas planas, con todos los problemas que la horizontalidad de su plano principal conlleva, complicando más su diseño y ejecución para que trabajen de forma eficiente.

5.5. CLASIFICACIÓN TIPOLOGICA

Podemos englobar las cubiertas planas en dos tipos, las cubiertas transitables y las no transitables.

Cubiertas transitables.

Como su nombre indica, son cubiertas que deben poseer la capacidad de soportar el tránsito sobre su capa de acabado. Dicho tránsito podrá ser de diferente naturaleza: peatonal, rodado, etc. y se diseñarán teniéndolo en cuenta para proteger las capas inferiores.

Cubiertas no transitables.

En el lado opuesto nos encontramos con las cubiertas no transitables, este tipo de cubiertas solamente soportan el paso de personal de mantenimiento, por lo que su sobrecarga de uso será por lo general, menor que la de las transitables.

²³ Revista *Tectónica* (1999). Cubiertas (I). Madrid: ATC Ediciones, S.L.

5.5.1. CUBIERTAS TRANSITABLES

5.5.1.1. CUBIERTA MEDITERRÁNEA, “FRÍA” O “A LA CATALANA”

Este tipo de cubiertas han sido tradicionalmente utilizadas en climas cálidos con veranos calurosos y tienen un elemento que las diferencia del resto, la **cámara ventilada** que separa las dos hojas que las componen: una hoja interior, compuesta por la base estructural y el aislamiento térmico, y una hoja exterior, constituida por el soporte donde está la membrana impermeabilizante y sus protecciones.

Para construir estas cubiertas se levantan una serie de tabiquillos sobre los que se apoya la base soporte de la cobertura, de esta forma separamos capas de la cubierta consiguiendo una cámara de aire que logra que el último forjado no se caliente tanto y por consecuencia, que el edificio se encuentre a temperaturas más bajas. En la cámara, entre los tabiquillos, se colocará el aislante térmico que mejorará aún más la cubierta desde el punto de vista energético.

Otro aspecto importante y fundamental es el hecho de que sus cámaras sean ventiladas. Gracias a la ventilación se facilita la evaporación de humedad, impidiendo condensaciones y limitando las patologías que el agua podría ocasionar a los elementos que conforman la cubierta.

Componentes²⁴ :

1. Base estructural
2. Aislamiento térmico (lana de roca)
3. Tabiquillos de ladrillo
4. Doble tablero de rasilla
5. Capa de formación de pendientes (hormigón ligero o mortero de áridos ligeros)
6. Capa separadora de rasanteo con mortero de cemento
7. Lámina impermeable
8. Capa separadora (fieltro geotextil)
9. Mortero de agarre
10. Capa de protección (plaquetas cerámicas)

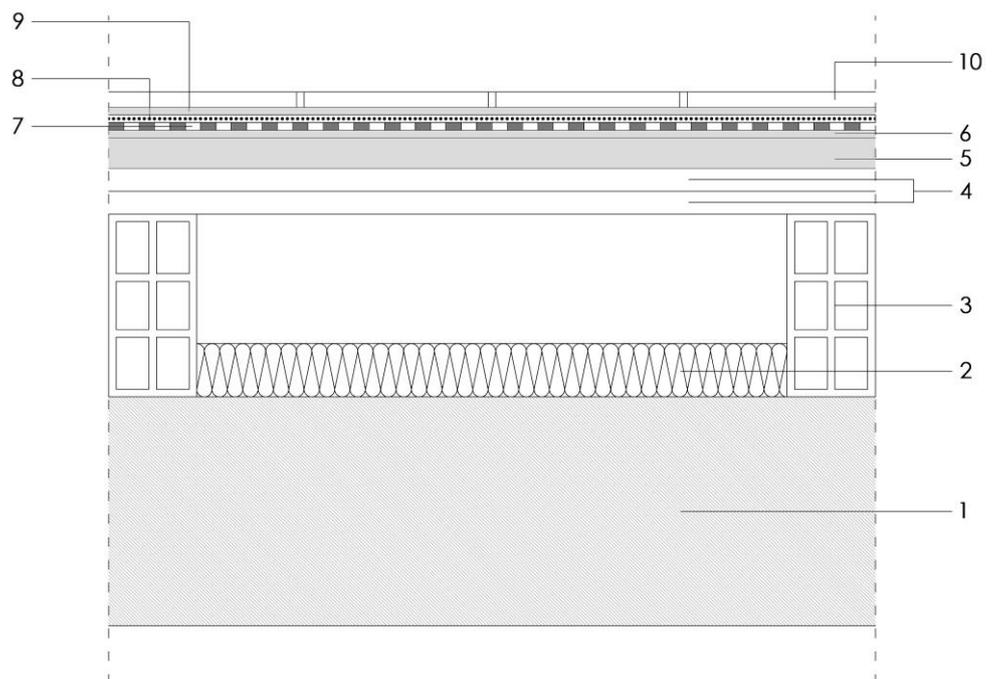


Ilustración 18. Detalle constructivo de cubierta mediterránea, fría o "catalana"

²⁴ Revista *Tectónica* (1999). Cubiertas (I). Madrid: ATC Ediciones, S.L.

5.5.1.2. CUBIERTA CALIENTE O CONVENCIONAL

Las cubiertas calientes o convencionales, al contrario de las frías, no disponen de cámara de aire, de tal manera que están compuestas por capas yuxtapuestas de diferentes materiales que están en contacto directo, formando una sola hoja. Este tipo de cubiertas tienen menor pérdida calorífica que las frías y por lo tanto han sido las más utilizadas en climas fríos con veranos templados, donde lo que se quiere es evitar al máximo las pérdidas de calor.

Componentes²⁵:

1. Base estructural
2. Capa de formación de pendientes (hormigón ligero o mortero de áridos ligeros)
3. Capa separadora de rasanteo (mortero de cemento)
4. Capa de separación (barrera corta-vapor)
5. Aislamiento térmico. Al ser transitable debe ser rígido (placas rígidas de poliestireno extruído, machihembradas en los cantos o a media madera)
6. Capa separadora (fieltro geotextil cuando la lámina impermeable sea de PVC)
7. Lámina impermeable (láminas bituminosas o sintéticas)
8. Capa separadora (fieltro geotextil o fieltro antiadherente de polietileno)
9. Capa de mortero
10. Capa de protección (plaquetas cerámicas)

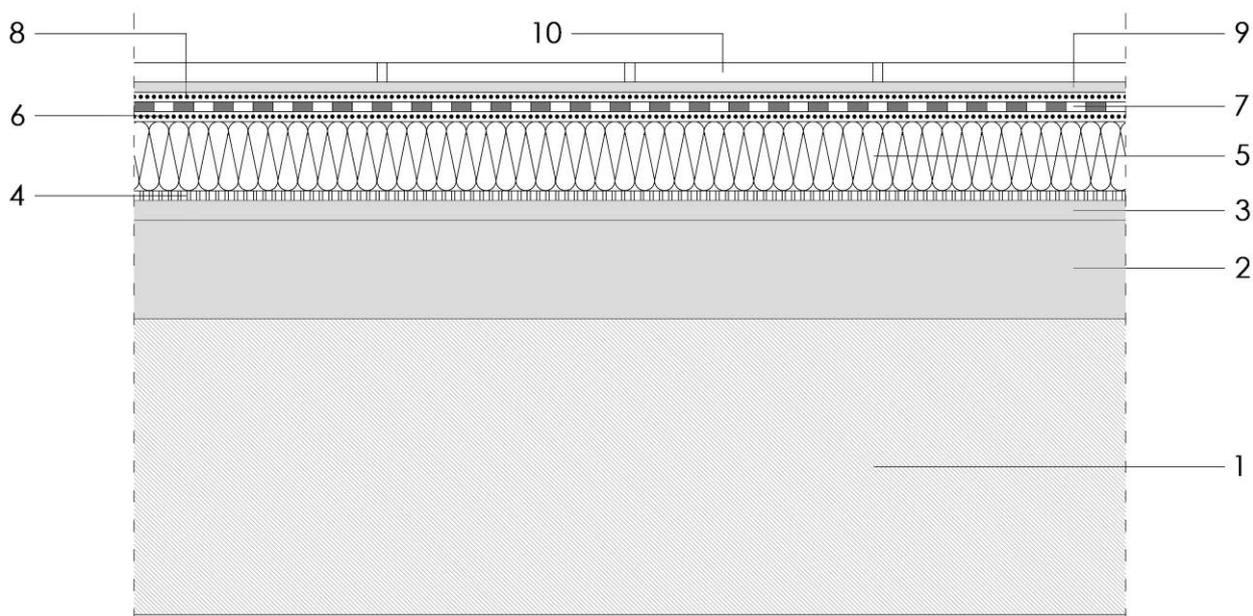


Ilustración 19. Detalle constructivo de cubierta caliente convencional.

²⁵ Revista *Tectónica* (1999). Cubiertas (I). Madrid: ATC Ediciones, S.L.

5.5.1.3. CUBIERTA INVERTIDA

Existe una variante de las cubiertas calientes, las **cubiertas invertidas transitables**, en las que se intercambia la posición del material aislante, mientras que en las calientes el impermeabilizante se coloca por encima del material aislante, en las invertidas es al revés, el material aislante se ubica sobre el impermeabilizante para proteger éste último y alargar su vida útil.

Componentes²⁶:

1. Base estructural
2. Capa de formación de pendientes (hormigón ligero o mortero de áridos ligeros)
3. Capa separadora de rasanteo (mortero de cemento)
4. Lámina impermeable (láminas bituminosas o sintéticas)
5. Capa separadora (fieltro geotextil cuando la lámina impermeable sea de PVC)
6. Aislamiento térmico. Al ser transitable debe ser rígido (placas rígidas de poliestireno extruído, machihembradas en los cantos o a media madera)
7. Capa separadora (fieltro geotextil o fieltro antiadherente de polietileno)
8. Capa de mortero
9. Capa de protección (plaquetas cerámicas)

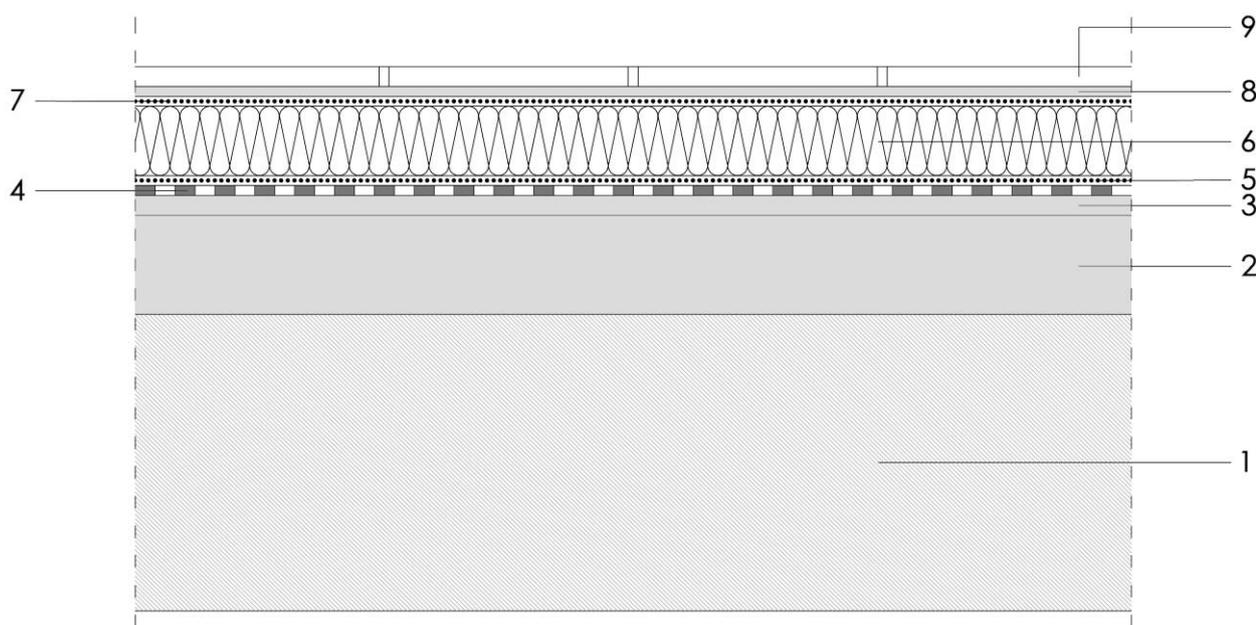


Ilustración 20. Detalle constructivo de cubierta invertida.

²⁶ Revista *Tectónica* (1999). Cubiertas (I). Madrid: ATC Ediciones, S.L.

5.5.1.4. CUBIERTA INVERTIDA CON PROTECCIÓN DE LOSA AISLANTE

Presentan características constructivas parecidas a las de las cubiertas invertidas transitables si bien su principal distinción es su material de acabado y protección, losas aislantes compuestas por placas de poliestireno extruido, terminadas con morteros modificados que las dotan de protección contra el viento y U.V. y permiten ser transitadas.

Se colocan con juntas abiertas para facilitar la evacuación del agua. Se trata de un sistema con montaje sencillo y rápido, con mantenimiento directo, pues en caso de tener que intervenir en algún punto, solamente haría falta levantar las losas. Además ofrecen buen aspecto final.

Componentes²⁷ :

1. Base estructural
2. Capa de formación de pendientes (hormigón ligero o mortero de áridos ligeros)
3. Capa separadora de rasanteo (mortero de cemento)
4. Lámina impermeable (láminas bituminosas o sintéticas)
5. Capa separadora (fieltro geotextil cuando la lámina impermeable sea de PVC)
6. Aislamiento térmico. Al ser transitable debe ser rígido (placas rígidas de poliestireno extruido adheridas a losas flotantes.)
7. Capa de protección (losas flotantes)

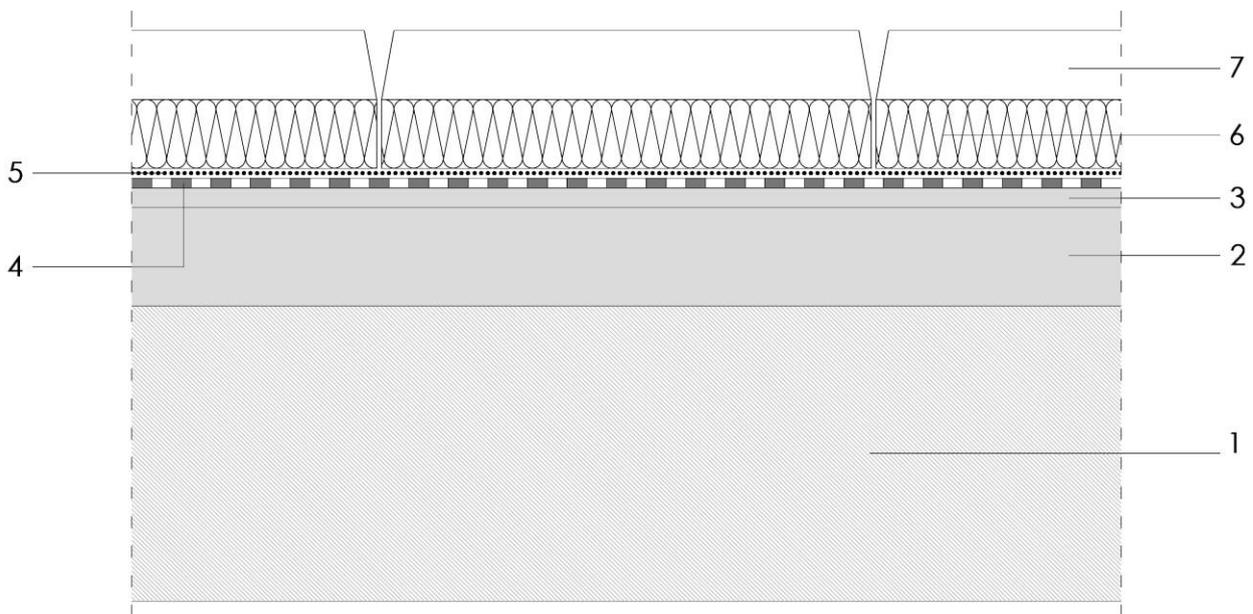


Ilustración 21. Detalle constructivo de cubierta inundada con protección de losa aislante.

²⁷ Revista *Tectónica* (1999). Cubiertas (I). Madrid: ATC Ediciones, S.L.

5.5.1.5. CUBIERTA INVERTIDA CON ACABADO FLOTANTE

Están inspiradas en las cubiertas frías, pues poseen una cámara de aire ventilada que permite la eliminación del vapor de agua y además son una variante de las cubiertas invertidas, en las que se sustituyen las losas aislantes por baldosas de diferentes materiales apoyadas sobre plots regulables mediante los cuales se consiguen cubiertas transitables totalmente planas, de 0° de inclinación, en las que las pendientes para evacuar el agua quedan relegadas a capas inferiores. Al igual que las cubiertas invertidas con losa aislante, este tipo de cubiertas presenta un fácil montaje y mantenimiento.

Componentes²⁸ :

1. Base estructural
2. Capa de formación de pendientes (hormigón ligero o mortero de áridos ligeros)
3. Capa separadora (capa de regularización con mortero de cemento)
4. Lámina impermeable (láminas bituminosas o sintéticas)
5. Capa separadora (fieltro geotextil cuando la lámina impermeable sea de PVC)
6. Aislamiento térmico. Al estar sometido a esfuerzos debe ser rígido (placas rígidas de poliestireno extruído, machihembradas en los cantos o a media madera)
7. Capa separadora (fieltro geotextil filtrante, antipunzonante)
8. Plots regulables
9. Capa de protección (baldosas pétreas, baldosas armadas de hormigón o terrazo)

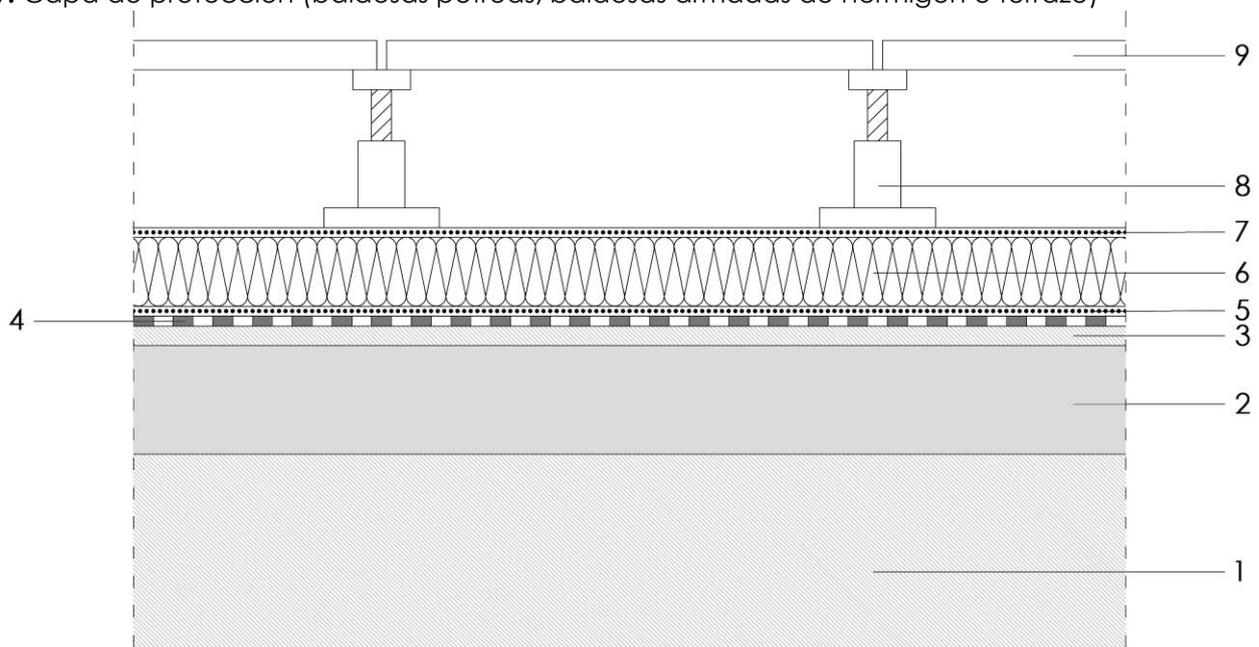


Ilustración 22. Detalle constructivo de cubierta invertida con acabado flotante.

²⁸ Revista *Tectónica* (1999). Cubiertas (I). Madrid: ATC Ediciones, S.L.

5.5.1.6. CUBIERTA APARCAMIENTO (TRÁFICO RODADO)

Son el tipo de cubierta adecuado para soportar grandes cargas puntuales y dinámicas, como las producidas por la circulación de vehículos.

Las capas de acabado deben ser capaces de absorber esfuerzos considerables, para ello se utilizan losas de hormigón, capas de cierto espesor de asfalto, etc. Pero no sólo la capa de acabado va a resistir fuertes cargas, elementos como sumideros, rejillas y canaletas también lo harán, por ello deberán ser elementos de acero de fundición que los soporten.³¹

Componentes²⁹ :

1. Base estructural
2. Capa de barrera de vapor (si las condiciones higrotérmicas del espacio a cubrir así lo exigen)
3. Capa de formación de pendientes (hormigón ligero o mortero de áridos ligeros)
4. Capa separadora (capa antipunzonante especial, mediante lámina geotextil de gramaje medio)
5. Lámina impermeable (láminas bituminosas o sintéticas)
6. Capa separadora (capa antipunzonante especial, mediante chapas de cartón con asfalto y cargas minerales)
7. Capa de protección (pavimento aglomerado asfáltico en caliente, espesor mínimo de 5cm)

* Se podría incorporar aislante térmico de alta resistencia a compresión, pero se considera que son cubiertas para espacios no habitados y por lo tanto no es necesario acondicionarlos térmicamente.

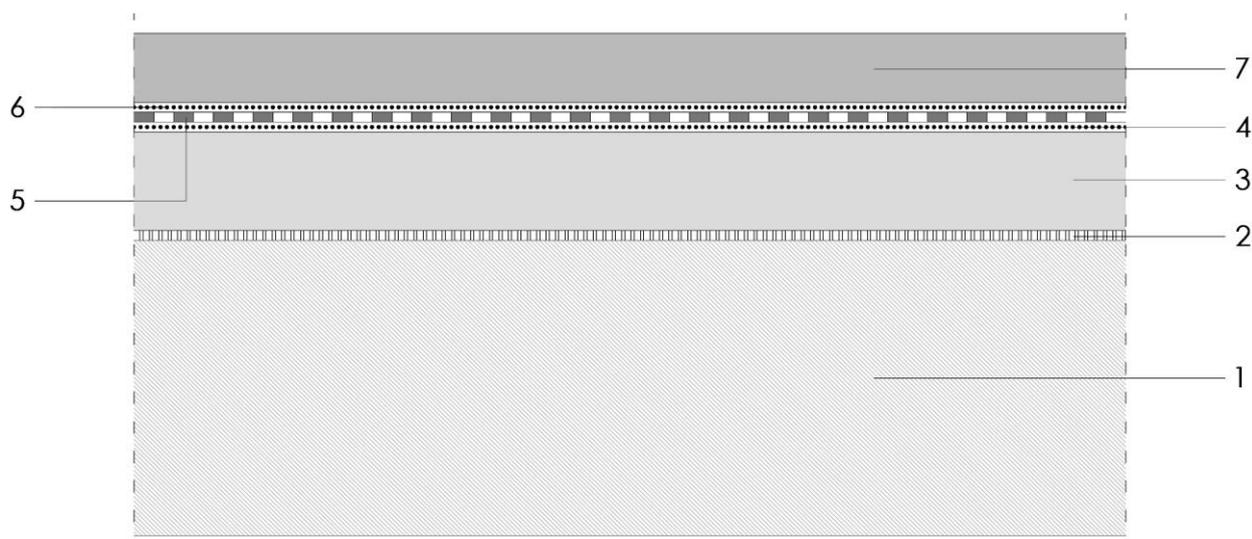


Ilustración 23. Detalle constructivo de cubiertas aparcamiento.

²⁹ Revista *Tectónica* (1999). Cubiertas (I). Madrid: ATC Ediciones, S.L.

5.5.2. CUBIERTAS NO TRANSITABLES

5.5.2.1. CUBIERTA AUTOPROTEGIDA NO TRANSITABLE

Su uso queda relegado a cubiertas que vayan a pasar inadvertidas, pues su aspecto es meramente funcional y poco estético al disponer como acabado final de láminas impermeables.

Este tipo de láminas son las llamadas autoprotegidas ya que al estar en contacto con el medio ambiente deben ser capaces de soportar acciones de viento y radiación solar (U.V) por lo que llevan una base de gránulos minerales o recubrimiento en sus capas superficiales.

Componentes³⁰ :

1. Base estructural
2. Capa de formación de pendientes (hormigón ligero o mortero de áridos ligeros)
3. Capa separadora (capa de regularización con mortero de cemento)
4. Capa separadora (capa corta-vapor)
5. Aislamiento térmico (placas rígidas de material aislante ancladas mecánicamente o adheridas)
6. Capa separadora (fieltro geotextil cuando la lámina impermeable sea de PVC)
7. Láminas impermeable autoprotegida (láminas sintéticas fijadas mecánicamente y láminas de betún polimérico con gránulos minerales o acabado metálico sobre imprimación bituminosa adherente)

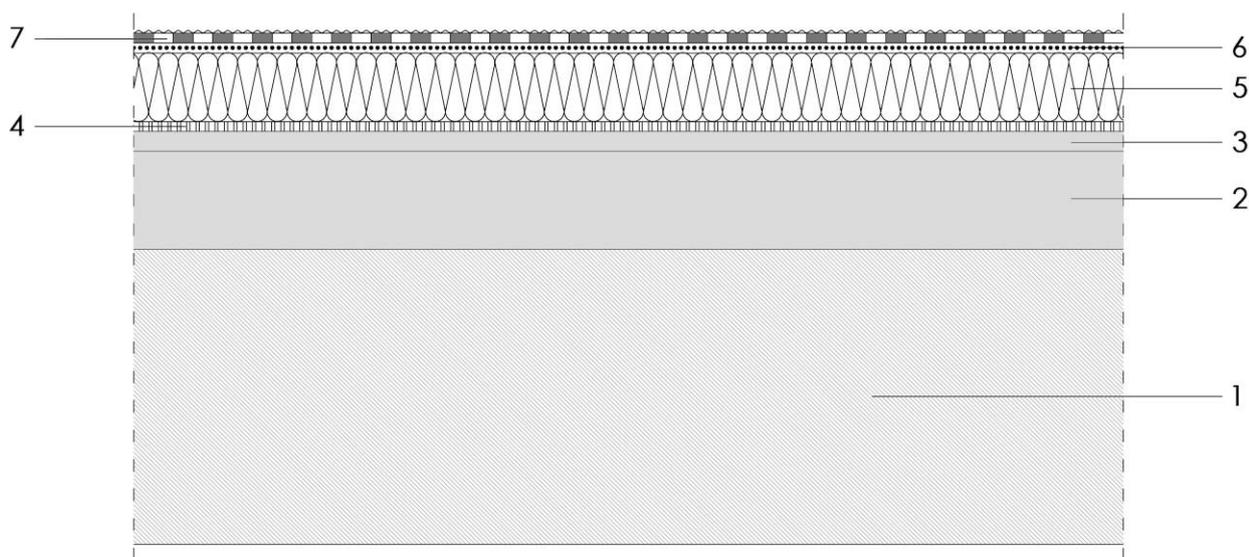


Ilustración 24. Detalle constructivo de cubierta autoprotegida no transitable

³⁰ Revista *Tectónica* (1999). Cubiertas (I). Madrid: ATC Ediciones, S.L.

5.5.2.2. CUBIERTA “DECK” O INDUSTRIAL

Son cubiertas desarrolladas generalmente para edificios con grandes luces diáfanas, que precisen de poca pendiente y con cargas reducidas, donde el aislamiento acústico no sea importante, como es el caso de naves industriales o pabellones deportivos.³¹

De ser importante el aislamiento acústico, se controlará aumentando la masa del soporte colocando placas con propiedades aislantes.

En caso de disponer de maquinarias o instalaciones pesadas, serán reforzadas en los puntos convenientes.

Para impermeabilizar se utilizan láminas impermeables autoprotegidas.

Componentes³² :

1. Base estructural (suelen ir sobre estructuras metálicas)
2. Capa de soporte (chapa grecada de acero galvanizado con un espesor mínimo de 0´7mm)

* Se supone ventilado el espacio subyacente. En todo caso la chapa grecada puede funcionar como barrera corta-vapor.

3. Aislamiento térmico (placas rígidas aislantes con una resistencia a la compresión mayor de 2Kp/cm², ancladas mecánicamente)

4. Capa separadora (fieltro geotextil si la lámina es de PVC)

6. Láminas sintéticas (EPDM, PVC, etc.), fijadas mecánicamente en los solapes. Láminas bituminosas autoprotegidas fijadas mecánicamente o adheridas sobre aislamiento con una imprimación previa

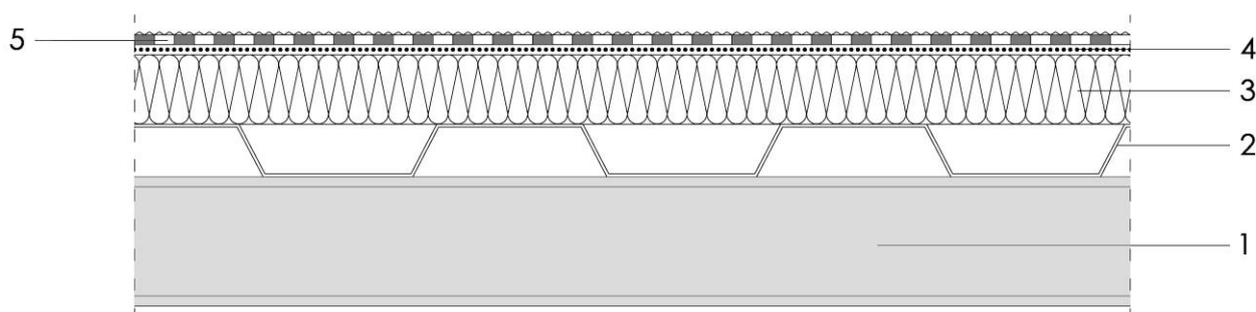


Ilustración 25. Detalle constructivo de cubierta industrial.

³¹ VERA MINGUILLÓN, F X. (2015). *Análisis de la cubierta plana inundada*". Memoria para optar al título de ingeniero constructor. Chile: Facultad de Ingeniería.

³² Revista *Tectónica* (1999). Cubiertas (I). Madrid: ATC Ediciones, S.L.

5.5.2.3. CUBIERTA INVERTIDA CON PROTECCIÓN DE GRAVA

Este tipo de cubierta recibe su nombre porque utiliza gravas como material de protección de los elementos constituyentes de la cubierta, evitando la posible succión del viento y la radiación solar. Son cubiertas no transitables que exigen poco mantenimiento. Es importante controlar los tamaños de las gravas, pues no deben ser ni tan pequeñas como para taponar los desagües, ni tan grandes como para dificultar su puesta en obra. Además es importante proteger las capas inferiores a las gravas frente al posible punzonamiento producido por éstas, interponiendo capas protectoras, las cuales pueden ser antirraíces si se prevé la presencia de especies vegetales en las gravas.

Componentes³³ :

1. Base estructural
2. Capa de formación de pendientes (hormigón ligero o mortero de áridos ligeros)
3. Capa separadora (capa de regularización con mortero de cemento)
4. Capa separadora (capa corta-vapor)
5. Lámina impermeable (láminas bituminosas o sintéticas)
6. Capa separadora (fieltro geotextil cuando la lámina impermeable sea de PVC)
7. Aislamiento térmico (placas rígidas de poliestireno extruído, machihembradas en los cantos o a media madera)
8. Capa separadora (fieltro geotextil filtrante)
9. Capa de protección a base de cantos rodado de diámetro 16/30 mm con un espesor mínimo de 50 mm

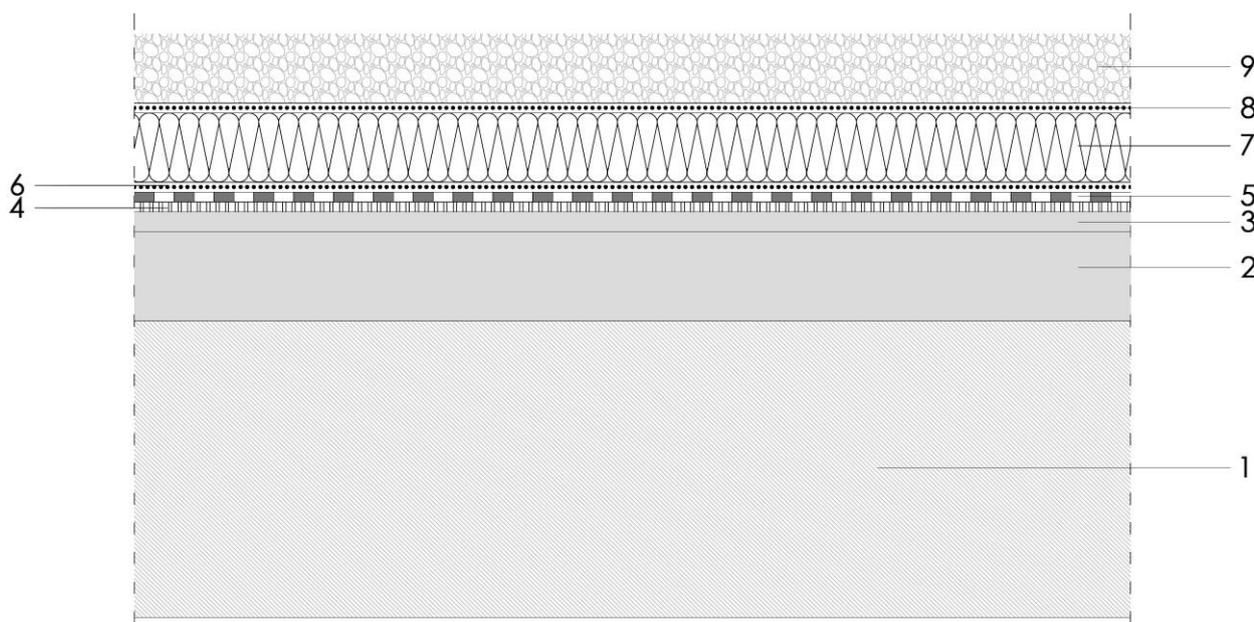


Ilustración 26. Detalle constructivo de cubierta invertida con protección de grava.

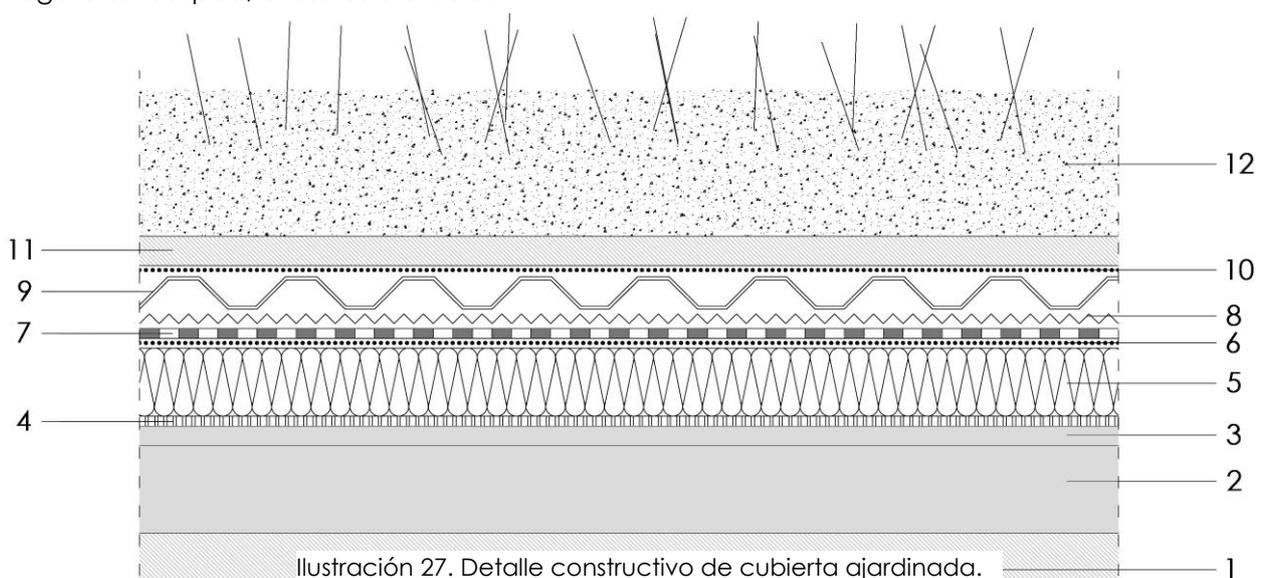
³³ Revista *Tectónica* (1999). Cubiertas (I). Madrid: ATC Ediciones, S.L.

5.5.2.4. CUBIERTA AJARDINADA O CUBIERTA “VERDE”

El elemento protagonista de este tipo de cubiertas es la capa de protección y acabado, que se trata de una capa de sustrato vegetal. El espesor de dicha capa irá determinada acorde al tipo de vegetales que en ella se deseen plantar si bien el mínimo es de 10 cm. A partir de 30 cm de espesor ya no es necesaria la capa de aislante térmico, pues el propio manto general hace su función. Es importante proteger las capas inferiores al manto vegetal con láminas antirraíces.

Componentes³⁴ :

1. Base estructural
2. Capa de formación de pendientes (hormigón ligero o mortero de áridos ligeros)
3. Capa separadora (capa de regularización con mortero de cemento)
4. Capa separadora (capa corta-vapor)
5. Aislamiento térmico bajo la impermeabilización, si se considera necesario.
6. Capa separadora cuando haya aislamiento (fieltro geotextil si la lámina impermeable es de PVC)
7. Lámina impermeable, protegida contra raíces (láminas bituminosas o sintéticas)
8. Capa separadora (lámina antirraíces si no está la lámina impermeable autoprotegida para ello)
9. Capa separadora (lámina de polietileno rígido con cubiletes)
10. Capa separadora (fieltro geotextil filtrante)
11. Capa de protección (sub-base de arena de 3 cm de espesor)
12. Capa de protección (manto de tierra vegetal). Altura entre 10 cm y 90 cm, según las especies vegetales: césped, arbustos o árboles.



³⁴ Revista *Tectónica* (1999). Cubiertas (I). Madrid: ATC Ediciones, S.L.

5.5.2.5. CUBIERTA INUNDADA O CUBIERTA ALJIBE

Puesto que es el tema principal del presente trabajo, será más adelante cuando definamos este tipo de cubiertas más en detalle, pero a modo de resumen, son cubiertas que presentan grandes similitudes con las ajardinadas, pues en ellas el elemento protagonista vuelve a ser la capa de protección, en este caso una lámina de agua.

Componentes³⁵ :

1. Base estructural

2. Capa separadora (capa de barrera corta-vapor)

* Si la superficie de la base estructural puede comprometer el estado de la barrera corta-vapor se podrán interponer capas regularizadoras entre ellos, como una capa de mortero de cemento.

3. Aislamiento térmico (placas rígidas de poliestireno extruido)

4. Capa de formación de pendientes (hormigón ligero o mortero de áridos ligeros)

5. Capa separadora (capa de regularización con mortero de cemento)

6. Lámina impermeable (láminas bituminosas, autoprotegidas en los bordes vistos, o bien, láminas sintéticas o películas impermeables)

* Por encima de la lámina impermeable podrán aplicarse acabados como pinturas, baldosas cerámicas sobre capa de mortero de agarre, etc.

7. Capa de protección (lámina permanente de agua con altura mínima de 10 cm)

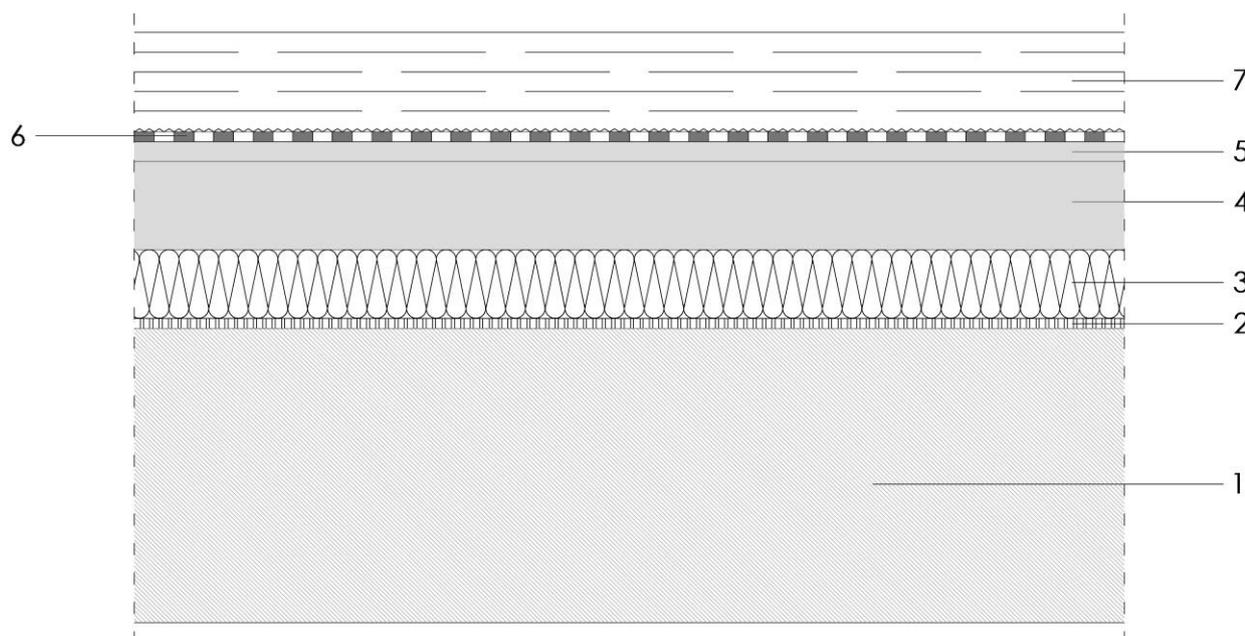


Ilustración 28. Detalle constructivo de cubierta inundada.

³⁵ Revista *Tectónica* (1999). Cubiertas (I). Madrid: ATC Ediciones, S.L.

6. LA CUBIERTA INUNDADA O CUBIERTA ALJIBE

6.1. INTRODUCCIÓN

La evolución de la cubierta inundada va de la mano de la cubierta plana, desarrollándose a lo largo del siglo XX, época en la que, como se ha comentado en puntos anteriores, surgieron materiales que aportaron técnicas alternativas al tradicional solape de piezas pequeñas, que imposibilitaba superficies horizontales totalmente estancas, para dar paso a sistemas con impermeabilización continua que posibilitaban la estanqueidad de planos horizontales, es decir, posibilitaban soluciones eficaces para cubiertas planas.

Si bien las primeras láminas asfálticas abrían un gran abanico de posibilidades, cuando estaban expuestas a la intemperie ofrecían resultados negativos, degradándose y perdiendo flexibilidad y capacidad impermeabilizante. Sin embargo se observó que dichas láminas tenían una mayor vida útil y mejoraban sensiblemente su funcionalidad y estanqueidad cuando tenían una fina capa de agua sobre ellas, ello hizo desarrollar las cubiertas inundadas.³⁶

El concepto de cubierta inundada no apareció hasta el año 1976, fecha en la cual un ingeniero de "The University of Queensland", Irshad Ahmad, realizó su tesis titulada "The roof pool and its influence on the internal thermal environment". Este estudio fue precedido por más estudios experimentales, como el llevado a cabo en Israel por Brauch Givoni en el año 1981 "*La cubierta piscina y su influencia en el ambiente térmico interno*".³⁷

Los problemas que presentaban las primeras láminas asfálticas quedaron atrás conforme la industria avanzaba, pues aparecieron nuevas láminas impermeables que respondían mejor a la intemperie, con mayor vida útil que sus predecesoras, sobre todo en puntos críticos como la banda que se encuentra a nivel del agua, zona que exige mucho más a las láminas debido a su variación continua. Estas láminas nuevas fueron las láminas sintéticas y láminas bituminosas autoprotegidas.

³⁶ CÁTEDRA DE CONSTRUCCIÓN 2. (2015). *Cubiertas tecnológicas*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

³⁷ VERA MINGUILLÓN, F X. (2015). *Análisis de la cubierta plana inundada*". Memoria para optar al título de ingeniero constructor. Chile: Facultad de Ingeniería.

6.2. DEFINICIÓN

Las cubiertas inundadas son cubiertas planas completamente cubiertas por una capa de agua que protege las láminas impermeables de la radiación del sol y evita posibles succiones por viento gracias a la carga que supone el peso del agua.

Este tipo de cubiertas funcionan correctamente si están constantemente cubiertas por una lámina de agua de determinado espesor. Para controlarlo y conseguirlo es necesario un alimentador continuo que evite la pérdida de agua por evaporación así como rebosaderos que evacúen o dirijan el exceso de agua sobrante o de lluvia para mantener el espesor deseado y evitar sobrecargas.

Al tener constantemente una capa de agua sobre ellas y puesto que en ello se basa el éxito de este tipo de cubiertas, hay que poner especial interés en conseguir un sistema impermeable sin fallos, ejecutándolo con extrema precaución para evitar cualquier tipo de filtración. Además el agua necesita mantenimiento, por lo que se realizarán tratamientos antialgas.

Es posible que deban ser vaciadas por diferentes motivos (labores de mantenimiento...), por ello dispondrán de sumideros capaces de evacuar o dirigir el agua.

6.3. FASES DE EJECUCIÓN DE LAS CUBIERTAS INUNDADAS

Hoy en día no existe un material único con el que construir y que logre de forma simultánea solucionar todos los requisitos que un edificio, y la normativa, exigen. Ello lleva a construir utilizando varios materiales, cada cual con su función, interactuando entre sí para llegar a cumplir todas las exigencias, trabajando como si de un único elemento se tratara.

Si bien a la hora de estudiar los tipos de cubierta inundada veremos que cada una está ejecutada con materiales diferentes y con procesos constructivos diversos, a continuación se desarrollarán los principales componentes de este tipo de cubierta, así como su ejecución.

6.3.1. SOPORTE ESTRUCTURAL

Toda cubierta precisa de una base estructural sobre la que apoyarse, las cubiertas planas descansan generalmente sobre el último forjado de los edificios y puede ser de diferente naturaleza: de hormigón armado, de madera, metálico, etc. Su función es soportar tanto los pesos propios de las cubiertas como las sobrecargas derivadas del uso, agua, nieve, viento, mantenimiento...

6.3.2. ANTEPECHO

Todas las cubiertas inundadas necesitan un antepecho, un peto perimetral de contención para mantener el agua en la posición deseada. Su altura vendrá determinada por el uso principal de la cubierta e irá en función del espesor de los materiales, especialmente de la lámina de agua.

Son elementos que deben tener estabilidad para soportar esfuerzos horizontales, para ello se prolongarán los pilares de plantas inferiores, con machones que traben bien la cara exterior e inferior o se dotarán suficiente espesor.

Los remates de coronación o albardilla deben disponer de sistemas que evacúen el agua de forma rápida y eficaz y disponerse juntas selladas y goterones.

6.3.3. CAPAS SEPARADORAS

La colocación de estas capas tiene como finalidad alargar la vida de los elementos que conforman la cubierta. Se utilizan para:

- Evitar el contacto directo entre elementos que puedan ser incompatibles químicamente, por ejemplo el poliestireno extruído de los aislantes térmicos no es químicamente compatible con láminas impermeabilizantes de P.V.C.

- Evitar punciones en láminas impermeables debidas a elementos que descansen sobre ellas.

- Evitar rozamientos y roturas ocasionados por el tránsito de operarios en labores de mantenimiento.

- Impedir la adherencia de las láminas impermeables con otras y permitir libres movimientos estructurales.

- Evitar humedades intersticiales, en este caso se utilizan láminas como barreras corta-vapor, a las que le dedicaremos un apartado a continuación.

Para este tipo de láminas se utilizan materiales de diferente naturaleza, como geotextiles de diferentes densidades, geotextiles reforzados con membrana de poliuretano, láminas de polietileno, fieltros de fibra de vidrio...³⁸

³⁸ Metaportal de Arquitectura, Ingeniería y Construcción Construmática. *Partes de las Cubiertas Planas*. <http://www.construmatica.com/construpedia/Partes_de_las_Cubiertas_Planas#Evacuaci.C3.B3n_del_Agua> [Consulta: 3/10/2017].

6.3.4. BARRERA CORTA-VAPOR

La función de estas barreras es impedir el paso del agua que contiene el vapor de agua de los locales a proteger hacia las diferentes capas de la cubierta con el fin de impedir su deterioro y aparición de patologías, especialmente de la capa protagonista, la lámina impermeable.

Estas capas solamente serán necesarias si existen riesgos de condensaciones, es decir cuando los espacios a proteger tengan ambientes húmedos y temperaturas no muy altas. Además son de vital importancia en las cubiertas inundadas ya que son convencionales y su aislamiento térmico se encuentra por debajo de la lámina impermeable lo cual, como veremos a continuación, origina condensaciones.

El vapor de agua que se encuentra en el interior del edificio generalmente se encuentra a mayor presión que el vapor de agua que hay en el exterior. Dicha diferencia tiende a equilibrarse trasladándose de mayores presiones a menores, es decir, desde el interior hacia el exterior. Este movimiento se ve agravado con la temperatura, que de igual manera que el vapor de agua, en el interior de los edificios suele ser más elevada que en el exterior y por lo tanto su movimiento natural de equilibrado "empuja" hacia el exterior el vapor de agua.

Este vapor de agua va atravesando fácilmente las diferentes capas que constituyen la cubierta hasta llegar a la lámina impermeable que, al no estar aislada térmicamente por tener el aislante térmico debajo, está más fría que el vapor de agua que "choca" contra ella, originando condensaciones intersticiales que podría dañarla, pudiendo causarle todo tipo de lesiones.³⁹

Estos elementos son elaborados con láminas de oxiasfalto con armadura de polietileno o sintéticos unidos con adhesivo, o mediante láminas de betún modificado unidas mediante soldadura térmica o disolvente.

Su puesta en obra debe realizarse debajo del aislamiento térmico o en las capas más calientes de la cubierta y puede hacerse mediante **sistemas monocapa, adheridos o no adheridos** elevándose verticalmente en los cuerpos salientes del plano horizontal de la cubierta.

Si la superficie sobre la que se instalarán las membranas corta-vapor presenta irregularidades o imperfecciones que puedan comprometer su buen estado, se pueden interponer capas separadoras o reguladoras que afiancen la correcta instalación originando superficies planas y regulares, alargando su vida útil.

³⁹ MAS TOMÁS, A. (2011). *Cubiertas planas sin ventilar*. Valencia: Editorial Universidad Politécnica de Valencia.

6.3.5. AISLAMIENTO TÉRMICO

La función del aislante térmico es controlar los intercambios de calor entre el interior y el exterior del edificio, teniendo como finalidad alcanzar el confort interior.

El espesor de esta capa dependerá de la zona climática en la que se encuentre la edificación, atendiendo al cumplimiento del valor de transmitancia térmica U marcado por la normativa.

Si bien como se verá más adelante a la hora de analizar los diferentes tipos de cubiertas inundadas, existen diferentes posibilidades en cuanto al tipo y posición del aislante térmico en este tipo de cubiertas, generalmente se utilizan aislantes con buena resistencia a compresión, como son las capas de hormigones aislantes especiales y sobre todo **placas rígidas de poliestireno extruído**, colocadas mediante anclajes expansivos o clips de fijación y a base de adhesivos compatibles con los materiales con los que entrará en contacto.

6.3.6. CAPA DE FORMACIÓN DE PENDIENTES

La función de las pendientes en toda cubierta es la de evacuar el agua con rapidez y eficacia, todo lo opuesto que lo pretendido en las cubiertas inundadas, cuyo éxito reside en mantener constantemente una lámina de agua. No obstante se deben realizar pequeñas pendientes capaces de evacuar dicha capa por si fuera necesario para labores de mantenimiento, o para utilizar el agua con otros fines ajenos a la funcionalidad de la cubierta.

Las pendientes se realizan con materiales no demasiado pesados para aligerar las cargas que se transmiten al soporte estructural, materiales como hormigones celulares, o morteros de áridos ligeros como la perlita, que además aportan mejoras aislantes gracias a sus propiedades.

6.3.7. CAPAS DE REGULARIZACIÓN

Son capas intermedias que se extienden sobre capas cuyas superficies de acabado presentan ciertas irregularidades. Su función es la de conseguir superficies sin desperfectos, lisas y regulares para evitar que láminas más delicadas que descansan sobre ellas, como las impermeables, sean dañadas.

6.3.8. JUNTAS DE DILATACIÓN

Debido a ciclos de frío-calor, los elementos constructivos experimentan movimientos por dilataciones y contracciones, siendo proporcionalmente mayores cuanto mayor es la superficie del elemento constructivo. En el caso de las cubiertas, al ser elementos donde prima la dimensión de su superficie, hay que prestar especial atención a este fenómeno para que no afecte a su correcta funcionalidad y a su vida útil ya que podría ocasionarles grietas y/o fisuramientos.

Hay que tener en cuenta que las cubiertas están formadas por materiales de diferente naturaleza, y por lo tanto cada uno de ellos reacciona de una forma a las variaciones térmicas. Ello lleva a realizar juntas de dilatación, tanto las propias de la cubierta, como las estructurales del edificio (que también cortan las cubiertas), que permitan absorber los movimientos originados.

Los únicos materiales que sí que tienen que ser continuos en su totalidad, sin cortes, son las láminas impermeables, para asegurar la estanqueidad, para ello se incorporarán láminas de refuerzo cuya geometría y disposición posibiliten el libre movimiento.

6.3.9. IMPERMEABILIZACIÓN

Si la impermeabilización es la protagonista de toda cubierta, más aún de las cubiertas planas, dada la dificultad de ser horizontales y todavía más en las cubiertas inundadas, en las que la impermeabilización trabaja constantemente y está sometida a tensiones mucho mayores. **En las cubiertas inundadas** lo habitual es impermeabilizar con **láminas bituminosas**, autoprotegidas en los bordes vistos, o mediante **láminas sintéticas**.

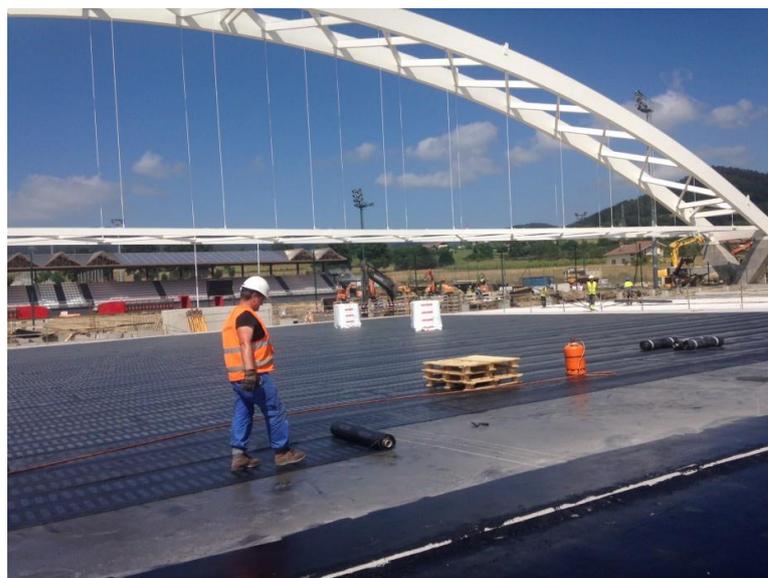


Ilustración 29. Láminas bituminosas en las instalaciones del Athletic Club. Lezama.

6.3.9.1. IMPERMEABILIZACIÓN CON LÁMINAS BITUMINOSAS

Son láminas de **materiales bituminosos y bituminosos modificados** cuyo origen son los crudos petrolíferos y la destilación destructiva de sustancias de origen carbonoso. Contienen en su composición asfaltos naturales, betunes asfálticos, alquitranes o breas y son de colores normalmente oscuros.⁴⁰

El betún se ha utilizado en la construcción desde muy antiguo debido a sus **múltiples aplicaciones**: aglomerante, como pavimento, impermeabilizando estanques y depósitos de agua...⁴¹

Los materiales bituminosos se pueden clasificar en dos grupos:

- **Productos elaborados**: Son aquellos que tienen una puesta en obra in situ y cuyo éxito reside en procesos físicos y químicos. (Emulsiones, pinturas, pegamentos, materiales de sellado...).

- **Productos prefabricados**: Como su nombre indica son productos ya sometidos a diferentes procesos industriales y llegan a la construcción en forma de láminas, rollos o placas. Estos productos son los más utilizados a la hora de impermeabilizar las cubiertas inundadas, por ello nos centraremos en su estudio y análisis.

Dentro de los productos prefabricados nos encontramos con las láminas bituminosas, compuestas por capas de betún con la suficiente capacidad flexible como para poder ser enrolladas para su transporte y desenrolladas para su colocación en obra sin sufrir daños que perjudiquen la impermeabilización y estanqueidad de las cubiertas.

⁴⁰ JARQUE DOLZ, A. (2011). *Análisis y ejecución de las cubiertas planas, tipologías y evolución*. Proyecto Final de Carrera. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

6.3.9.1.1. TIPOS DE LÁMINAS BITUMINOSAS

6.3.9.1.1.1. LÁMINAS AUTOPROTEGIDAS

Casi todos los tipos de láminas pueden englobarse en dos grandes grupos: Las que son autoprotegidas y las que no. Siendo habituales las autoprotegidas en las cubiertas inundada.

Las láminas autoprotegidas se utilizan en cubiertas no transitables cuyo acceso será restringido a labores de mantenimiento y reciben su nombre porque poseen la capacidad de valerse por sí mismas a la hora de protegerse frente a los agentes atmosféricos adversos. Ello lo consiguen mediante capas exteriores de betún con mejores características que llevan incorporados de fábrica gránulos de pizarra o áridos finos y láminas metálicas.⁴²

6.3.9.1.1.2. LÁMINAS CON / SIN ARMADURAS

Al igual que ocurre con las autoprotegidas, las láminas pueden dividirse en las que poseen armaduras y las que no. Las armaduras se incorporan a las láminas bituminosas para servirles de base soporte y dotarlas de resistencia mecánica. Existen varios tipos, como las de poliéster que refuerzan frente al punzonamiento, y las de fibra de vidrio, que dotan de estabilidad dimensional.

6.3.9.1.1.3. LÁMINAS DE OXIALFALTO

Son láminas compuestas por una o varias armaduras, recubrimientos bituminosos y material antiadherente. Pueden ser láminas autoprotegidas o no y son las que comúnmente se utilizan como láminas de sacrificio.⁴³

6.3.9.1.1.4. LÁMINAS DE BETÚN MODIFICADO

Las hay de dos tipos, láminas de betún modificado con elastómeros y de betún modificado con plastómeros dependiendo de si sus armaduras están recubiertas por másticos bituminosos modificados con elastómeros o con plastómeros. Tienen gran capacidad resistente frente a temperaturas extremas y una vida útil más larga que las de oxiasfalto además de no presentar patologías a la hora de ser desenrolladas.

⁴² VILLARINO OTERO, A., Escuela Politécnica Superior de Ávila. Ingeniería Técnica de Obras Públicas. Tema 7; materiales bituminosos. < <http://ocw.usal.es/enseanzas-tecnicas/ciencia-y-tecnologia-de-los-materiales/contenido/TEMA%207-%20MATERIALES%20BITUMINOSOS.pdf> > [Consulta: 2//10/2017].

⁴³ JARQUE DOLZ, A. (2011). *Análisis y ejecución de las cubiertas planas, tipologías y evolución*. Proyecto Final de Carrera. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. [Consulta: 2 de octubre de 2017].

6.3.9.2. SISTEMAS LAMINARES BITUMINOSOS

6.3.9.2.1. LÁMINAS MONOCAPA

En el sistema de láminas monocapa solamente actúa una capa de impermeabilización y será el elegido cuando lo que se busque sea la sencillez y rapidez de ejecución constructiva.

Que sea un sistema sencillo de construir no significa que no haya que tener sumo cuidado en su colocación, puesto que al tratarse de una única lámina el sistema es más delicado y cualquier fallo derivaría en filtraciones de agua y por lo tanto, humedades en las capas inferiores de la cubierta.

No es el sistema más recomendable cuando la lámina vaya a estar expuesta a los efectos del medio ambiente sin protección, o cuando se prevea el tránsito de operarios sobre ellas, pues es fácil que la perforen. Para protegerlas es aconsejable colocar sobre ellas una capa protectora antipunzonante, como pueden ser fieltros geotextiles o capas de mortero.⁴⁴

6.3.9.2.2. LÁMINAS MULTICAPA: BICAPA / TRICAPA

Cuando se pretenda conseguir cubiertas con mayor nivel de seguridad se optará por sistemas en lo que actúen más de una lámina como impermeabilización, dos en el caso de las bicapa y tres en las tricapa.

Es un sistema de mayor complejidad que el monocapa pero el hecho de que cuenten con más de una lámina no significa que no haya que tener rigor a la hora de ejecutar su puesta en obra para evitar patologías.⁴⁴

La elección de un tipo de lámina y otra dependerá principalmente del grado de seguridad que se pretenda conseguir y de la puesta en obra, en criterios de ejecución.

⁴⁴ JARQUE DOLZ, A. (2011). *Análisis y ejecución de las cubiertas planas, tipologías y evolución*. Proyecto Final de Carrera. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. [Consulta: 2 de octubre de 2017].

6.3.9.3. SISTEMAS DE FIJACIÓN DEL IMPERMEABILIZANTE

6.3.9.3.1. SISTEMA NO ADHERIDO MONOCAPA

En el sistema no adherido, la lámina impermeable está independizada de la superficie horizontal de la cubierta, de su soporte, mejorando su comportamiento frente a posibles movimientos estructurales. Precisamente esa desolidarización exige que el sistema se proteja con capas pesadas para evitar las posibles succiones debidas al viento, como por ejemplo agua, paramentos flotantes o grava.

En pavimentos no fijos como el caso de cubiertas inundadas, éste sistema facilita la sustitución de las láminas o parte de ellas que estén dañadas por otras nuevas.

Para su puesta en obra se comenzará colocando las láminas impermeables, que en el mercado se venden en forma de rollos, extendiéndolas sobre la superficie horizontal a lámina entera de forma que queden "flotando" sobre la base, extendiéndolas perpendicularmente a la línea de máxima pendiente y en orden ascendente, desde los puntos de menor cota has los más altos, con el fin de crear solapes que eviten estar en contra de "la marcha del agua", mejorando la impermeabilidad.

En el sistema no adherido las láminas solo quedan solidarizadas en dos zonas:

-En los solapes de unas con otras, zonas que deben tener como mínimo 10 cm de espesor y estar unidas mediante calor de llama.

- En los perímetros de puntos singulares como juntas, desagües, petos, etc. y en el perímetro de elementos salientes como chimeneas, claraboyas, etc. En estas zonas se fijará la lámina impermeable a la superficie horizontal mediante calor de llama en un ancho no menor de 20 cm. Albardillas o puntos singulares podrían forrarse y solidarizarse con ellos si fuera necesario.

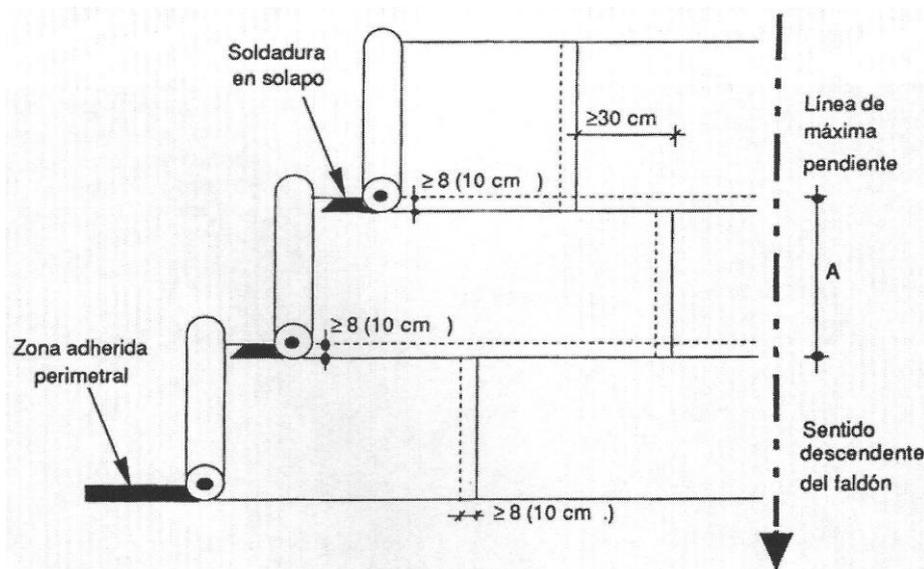


Ilustración 30. Sistema no adherido monocapa.

6.3.9.3.1.1. SISTEMA NO ADHERIDO BICAPA

El sistema de fijación de láminas impermeables al soporte de forma no adherida puede ejecutarse de dos maneras:

- **Sistema normal.** La primera capa impermeabilizante se realiza igual que en el sistema monocapa y a la hora de solapar la segunda capa se haría de tal manera que las hileras fuesen desplazadas en la dirección de la línea de máxima pendiente como mínimo la mitad del ancho de láminas, menos el ancho del solape, colocándose sobre los solapes de la membrana inferior.⁴⁵

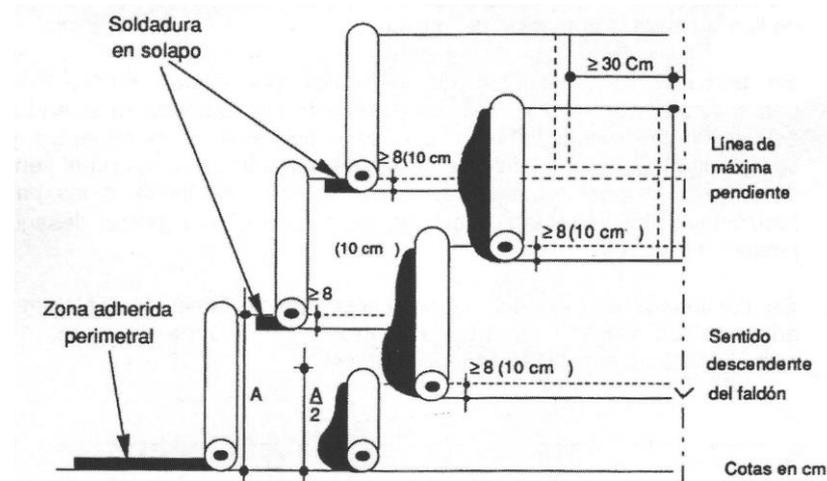


Ilustración 31. Sistema no adherido bicapa normal.

- **Sistema a la inglesa.** En este sistema se consigue la doble membrana de forma diferente, si bien en el sistema normal primero se realiza una capa y después se superpone otra sobre los solapes, en el sistema a la inglesa se hace la doble membrana de una tirada aumentando el ancho de los solapes entre láminas considerablemente, solapando cada hilera sobre la hilera anterior la mitad del ancho del rollo más 2 cm, de forma que toda la superficie cuente con doble capa.

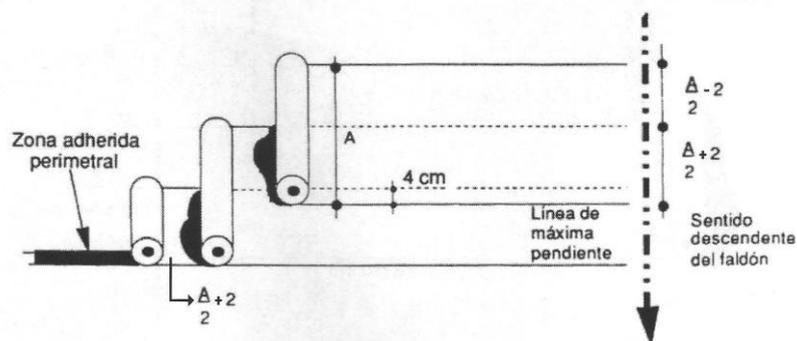


Ilustración 32. Sistema no adherido bicapa a la inglesa.

En ambos casos se solidarizarían en el perímetro de elementos y puntos singulares de igual manera que el sistema no adherido monocapa.

⁴⁵ MAS TOMÁS, A. (2011). *Cubiertas planas sin ventilar*. Valencia: Editorial Universidad Politécnica de Valencia.

6.3.9.3.1.2. SISTEMA ADHERIDO MONOCAPA

Cuando se utiliza este tipo de fijación, las láminas impermeables quedan adheridas por completo tanto entre sí como a la superficie de la cubierta. Para conseguir esta solidarización lámina-soporte previamente se debe aplicar una imprimación sobre éste último y después aplicar calor de llama a las láminas mientras se extienden para que queden totalmente adheridas.

En este sistema de fijación es muy fácil detectar los puntos de las láminas que presentan patologías, pues coincidirán con las zonas donde aparezcan humedades.

La ejecución de este sistema comienza extendiendo una capa de imprimación asfáltica (emulsión asfáltica que debe tener una consistencia adecuada) a lo largo de toda la superficie de la cubierta. Después se desplegarán los rollos de láminas impermeables y se extenderán al tiempo que se les aplica calor de llama para que queden totalmente solidarizadas, junto con la imprimación, a la base soporte. El sentido de colocación es el mismo que en el sistema no adherido, extendiendo los rollos a lámina entera, perpendicularmente a la línea de máxima pendiente y solapando cada hilera con la anterior un mínimo de 10 cm en orden ascendente, desde los puntos más bajos hasta los más altos para evitar solapes en contra de "la marcha del agua".

En el sistema no adherido había que tratar el perímetro de los puntos y elementos singulares de manera diferente al resto de la superficie de la cubierta, pero en el sistema adherido como la totalidad de la superficie está solidarizada, estas zonas singulares también lo están.

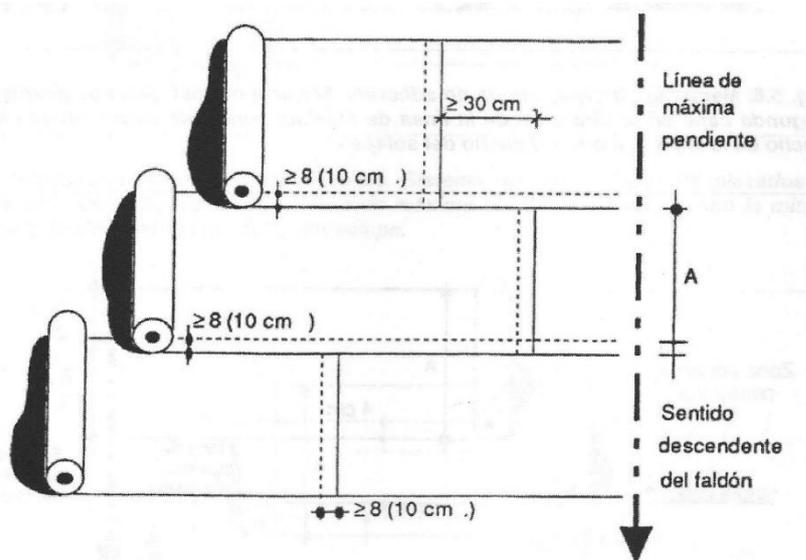


Ilustración 33. Sistema adherido monocapa

6.3.9.3.1.3. SISTEMA ADHERIDO BICAPA

En los sistemas **bicapa** hay dos formas de ejecutar el sistema de fijación adherido:

- **Sistema normal.** La primera capa impermeabilizante se realiza igual que en el sistema monocapa y a la hora de solapar la segunda capa se haría de tal manera que las hileras fuesen desplazadas en la dirección de la línea de máxima pendiente como mínimo la mitad del ancho de láminas, menos el ancho del solape, colocándose sobre los solapes de la membrana inferior.⁴⁶

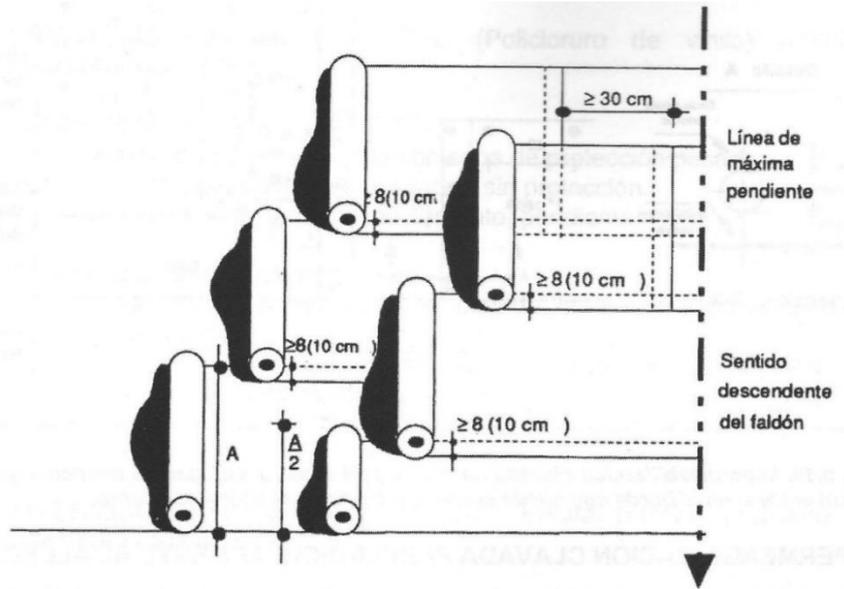


Ilustración 34. Sistema adherido bicapa normal.

- **Sistema a la inglesa.** Éste sistema consigue la doble capa gracias a los amplios solapes en los que se basa, ya que cada hilera solapa sobre la hilera anterior la mitad del ancho del rollo más 2 cm.

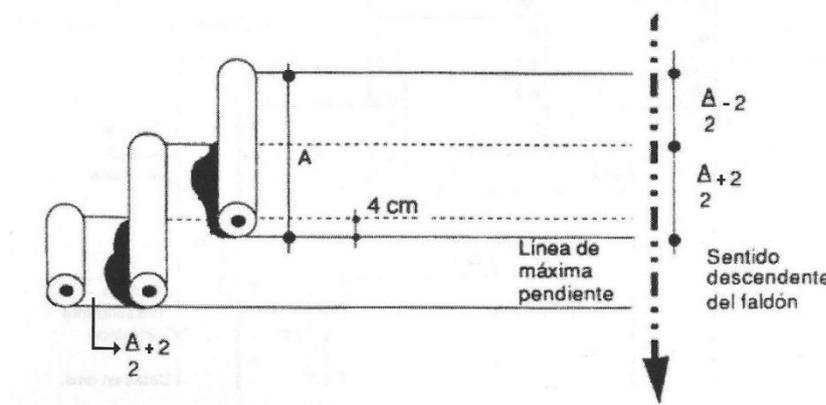


Ilustración 35. Sistema adherido bicapa a la inglesa.

⁴⁶ MAS TOMÁS, A. (2011). *Cubiertas planas sin ventilar*. Valencia: Editorial Universidad Politécnica de Valencia.

6.3.9.3.1.4. PUNTOS DE ESPECIAL CUIDADO

-Empalmes entre láminas. Los empalmes entre láminas son zonas delicadas que deben ejecutarse con meticulosidad para evitar filtraciones. Para ejecutarlos correctamente se deben soldar de una vez, aplicando calor en las zonas de solape desde el principio de la hilera hasta que se acabe totalmente el rollo, y achaflanando su borde superior con rodillo o espátula caliente.

En los sistemas bicapa, los solapes entre hileras de la capa superior no coincidirán con los solapes de la inferior, debiendo estar desplazados un mínimo de 30 cm.

-Encuentros con paramentos verticales (claraboyas, petos, albardillas...). En los elementos salientes como chimeneas, claraboyas, etc. Se deberán aplicar láminas extra, las llamadas láminas de refuerzo, que se elevarán verticalmente sobre los paramentos no menos de 20 cm mediante piezas. Para que queden correctamente sellados en sistemas adheridos, los 20 cm mínimos deberán haber recibido previamente la imprimación de la misma manera que el resto de la cubierta.

-Desagües y canalones. Son los puntos más bajos de las cubiertas, por lo tanto se tendrá que partir de ellos a la hora de comenzar a extender las láminas, colocándose láminas de refuerzo sobre ellos.

-Juntas. Al tratarse de zonas que deben tener libre movimiento, se colocarán láminas de refuerzo que lo posibiliten cuando se trate de sistemas adheridos, ya que los no adheridos permiten dichos movimientos.

- Zonas perimetrales de los puntos singulares. En los sistemas adheridos se colocará sobre las láminas de los sistemas no adheridos láminas a modo de rodapié final de 0'5m de anchura y 1 metro de longitud como mínimo solapadas entre sí 10cm.⁴⁷

⁴⁷ MAS TOMÁS, A. (2011). *Cubiertas planas sin ventilar*. Valencia: Editorial Universidad Politécnica de Valencia.

6.3.9.4. IMPERMEABILIZACIÓN CON LÁMINAS SINTÉTICAS

6.3.9.4.1. LÁMINAS DE PVC

⁴⁸Las láminas de policloruro de vinilo (PVC) plastificado son láminas sintéticas flexibles con características impermeables y termoplásticas.

Se presentan en el mercado en forma de rollos y deben poder soldarse de forma homogénea mediante varios procedimientos como son la soldadura con aire caliente, alta frecuencia, disolventes, etc.

Existen tres Grupos de láminas de PVC:

- Láminas de PVC plastificado sin armadura.
- Láminas de PVC plastificado con armadura de fibra de vidrio.
- Láminas de PVC plastificado con armadura de tejidos de hilo sintético.

Las láminas sintéticas de PVC se presentan únicamente en **sistemas laminares monocapa** con **dos variantes de fijación a la base soporte** de cubiertas planas:

- **Sistema no adherido** con capa pesada de protección para evitar succiones por el viento.
- **Sistema adherido** sin capa de protección.

Se deben controlar las condiciones meteorológicas cuando se vaya a realizar su colocación en obra evitando realizarlas si la temperatura es menor de:

+5°C para adhesivos en sistemas con soldadura por disolventes.

-5°C cuando se realicen soldaduras por aire caliente.

Las **ventajas** que se consiguen con las láminas de PVC, entre otras son las de total impermeabilidad, altas resistencias mecánicas, buena permeabilidad al vapor de agua y buena adaptación a diversas formas y pendientes así como buena absorción de movimientos estructurales dada su flexibilidad y elasticidad.

Son **incompatibles** con asfaltos, poliuretanos, poliestireno expandido y poliestireno extruido.

⁴⁸ JARQUE DOLZ, A. (2011). *Análisis y ejecución de las cubiertas planas, tipologías y evolución*. Proyecto Final de Carrera. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. [Consulta: 2 de octubre de 2017].

6.3.9.4.2. LÁMINAS DE CAUCHO E.P.D.M.

⁴⁹ Son láminas cuyo material principal es el caucho E.P.D.M. (Etilo – Propileno – Dieno – Monómero), material que se sintetizó en los años sesenta como alternativa a las láminas bituminosas multicapa y que han sufrido grandes desarrollos por su gran resistencia al ozono, a los agentes atmosféricos y climatológicos y por su buena flexibilidad frente a bajas temperaturas.

Se aplican como sistemas monocapa, fijadas mediante encolado a las cubiertas planas:

- **De una sola pieza** sin juntas o soldadas en taller si las dimensiones de la cubierta y capacidad del taller lo permiten.
- **Sistema no adherido** con capa pesada de protección para evitar succiones por el viento.
- **Sistema adherido** sin capa de protección.

Las **ventajas** que presentan este tipo de láminas son:

- Fácil aplicación y puesta en obra.
- Fácil mantenimiento.
- Resistentes al desgarró, a la perforación y a la abrasión.
- Resistentes a los cambios bruscos de temperatura.
- Flexibilidad elevada, llega a estirarse hasta un 400 %.
- Resistente a la intemperie, al calor y a las bajas temperaturas.

Las láminas sintéticas de caucho E.P.D.M. tienen una serie de indicaciones importantes en cuanto a su mantenimiento y almacenamiento.

Mantenimiento: Las cubiertas impermeabilizadas con este tipo de material deben ser supervisadas aconsejablemente cada año y en caso de detectar alguna patología se adecuará la superficie que lo rodea y se aplicará una nueva pieza sobre él.

Almacenamiento: Los adhesivos, sellantes y las láminas de caucho que contienen productos no vulcanizados deben conservarse en locales limpios, secos y a temperaturas entre 5°C y 20°C durante periodos de no más de 6 o 9 meses. De pasar más tiempo, los productos no vulcanizados vulcanizan y hacen que las láminas se vuelvan menos flexibles, con los consecuentes problemas a la hora de ser colocadas en puntos singulares.

⁴⁹ JARQUE DOLZ, A. (2011). *Análisis y ejecución de las cubiertas planas, tipologías y evolución*. Proyecto Final de Carrera. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. [Consulta: 2 de octubre de 2017].

6.3.1. CAPA DE PROTECCIÓN O ACABADO

Se trata de la capa superior de las cubiertas, en el caso de ser cubiertas inundadas se trata de una lámina de agua de 10cm de espesor como mínimo para garantizar que cumpla su acometida.

Su función es la de proteger a los elementos que se encuentran bajo ellas de:

- **La radiación solar:** Los rayos U.V. deterioran los materiales, a las láminas impermeables pueden ocasionarle pérdidas de elasticidad y pueden llegar a cuartearse, perdiendo su funcionalidad.

- **Acción del viento:** Los materiales ligeros como son los aislantes y las láminas impermeables, pueden ser arrancados de su posición por las succiones del viento.

6.4. TIPOS DE CUBIERTAS INUNDADAS

Atendiendo a la ubicación de la lámina de agua y a la posición de los materiales que las constituyen podemos clasificar las cubiertas inundadas en tres tipos:

6.4.1. CUBIERTA INUNDADA CONVENCIONAL NO TRANSITABLE

Es el tipo de cubierta inundada por excelencia y se trata de cubiertas convencionales y no transitables.

Se caracteriza por su última capa, una lámina permanente de agua que además de resolver ciertos aspectos constructivos, también sirve de acabado estético.

Es de vital importancia que el espesor de agua sea constante, para ello se dispondrán elementos de control de nivel, así como rebosaderos y sumideros, elementos todos ellos que analizaremos en el caso práctico del presente trabajo.

Componentes⁵⁰ :

1. Base estructural. Se trata del forjado de última planta, y deberá haber sido calculado con la capacidad resistente mecánica necesaria para soportar todas las cargas y sobrecargas, incluido el peso de la capa de agua.

2. Capa separadora, barrera corta-vapor. Al tratarse de cubiertas convencionales es necesario colocar capas de este tipo para evitar condensaciones intersticiales bajo la lámina impermeable.

* Si la superficie bajo la barrera corta-vapor presentase algún tipo de desperfecto que pudiese dañarla, se interpondrían capas separadoras o regularizadoras, logrando superficies lisas y regulares.

3. Aislamiento térmico. Generalmente se utilizan placas rígidas de poliestireno extruido para realizar esta función porque poseen buena resistencia a compresión, pudiendo soportar las cargas que le son transmitidas por los elementos que descansan sobre ellas, incluida la lámina de agua.

4. Capa de formación de pendientes. Se utilizan hormigones o morteros con áridos ligeros, que además de tratarse de materiales poco pesados, aportan un extra de aislamiento térmico.

El hecho de dotar de pendiente a las cubiertas se debe a mejorar la evacuación de agua. Éste tipo de cubiertas se pueden hacer de **pendiente 0°** ya que si son capaces de soportar capas constantes de agua de varios centímetros de espesor, el que pueda aparecer algún charco de varios milímetros por no evacuarse totalmente el agua de su superficie no supone problema alguno para la funcionalidad de la cubierta.

⁵⁰ CÁTEDRA DE CONSTRUCCIÓN 2. (2015). *Cubiertas tecnológicas*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

5. Capa separadora. Dado que la capa de formación de pendientes puede presentar irregularidades en su superficie, se extiende una capa reguladora que suele ser un fratasado con mortero de cemento, consiguiendo una superficie plana y regular que no dañe la lámina impermeable.

6. Lámina impermeable. Es el elemento principal de toda cubierta, pues es el encargado de garantizar la estanqueidad, pero su función se ve todavía mucho más comprometida en las cubiertas inundadas, pues una capa de agua de varios centímetros de espesor descansa constantemente sobre ella, al contrario que en el resto de cubiertas.

Las láminas habitualmente utilizadas para impermeabilizar estas cubiertas son las bituminosas autoprotegidas en los bordes vistos, o las sintéticas, debiendo ser cualquiera de ellas de buena calidad y teniendo precaución en su montaje, utilizando sistemas seguros como los bicapa.

* Por encima de la lámina impermeable podrán aparecer otros materiales de acabado y protección como baldosas cerámicas sobre capa de mortero de agarre, pinturas, etc.

7. Capa de protección. Se trata de la protagonista de este tipo de cubiertas, y es la capa permanente de agua de 10 cm de espesor mínimo que protege la lámina impermeable, y dota a la cubierta de una serie de ventajas analizadas en apartados posteriores. Esta capa de agua no será retirada salvo para labores de mantenimiento.

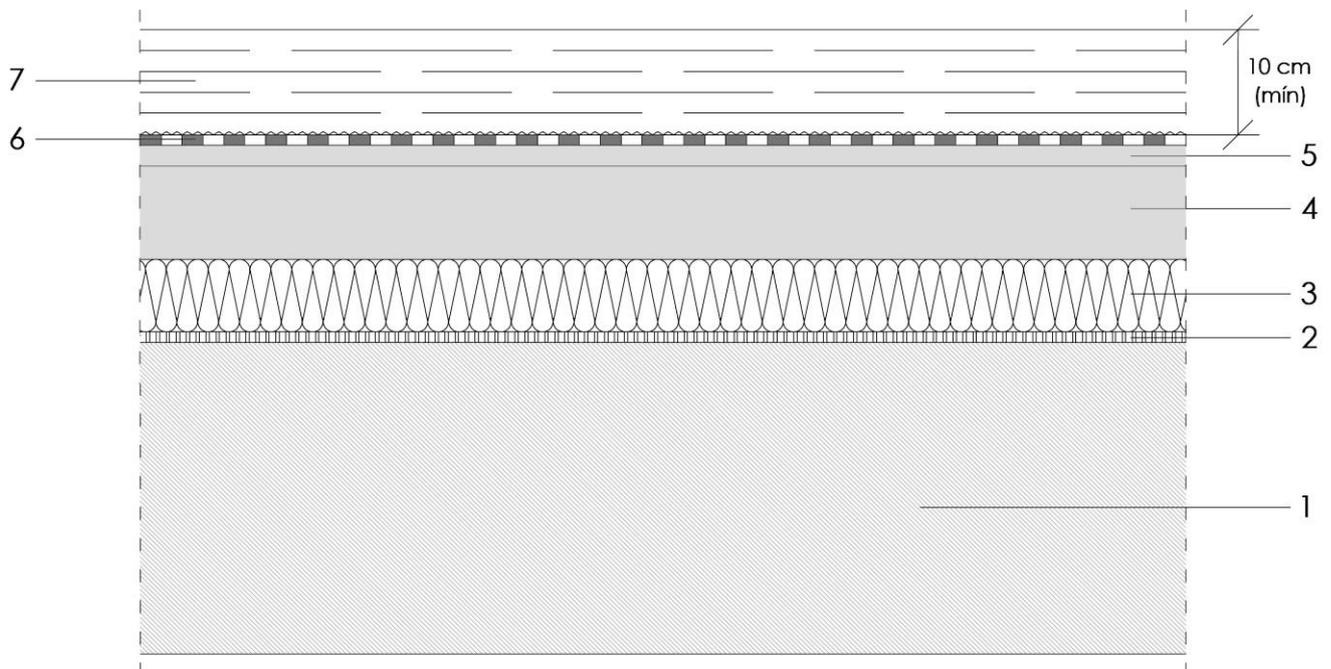


Ilustración 36. Detalle constructivo de cubierta inundada convencional no transitable.

6.4.2. CUBIERTA INUNDADA CONVENCIONAL TRANSITABLE

Se trata de una variante de la cubierta inundada convencional descrita anteriormente, pues buena parte de los materiales que las componen son los mismos y se ejecutan de la misma forma y orden, pero se diferencian en el hecho de ser transitables, y para ello incorporan una serie de elementos sobre su lámina impermeable.

Componentes⁵¹ :

Similares a la cubierta inundada convencional no transitable: **1.** Base estructural. **2.** Capa separadora, barrera corta-vapor. **3.** Aislamiento térmico. **4.** Capa de formación de pendientes. **5.** Capa separadora de regularización. **6.** Lámina impermeable. **9.** Lámina de agua.

7. Capa de protección. Para proteger la lámina impermeable de los daños mecánicos que les pueden ocasionar los elementos que descansan sobre ella, se interponen capas de protección que pueden ser **capas auxiliares anitpunzonantes** como en este caso, o una capa de mortero de 2 cm de espesor.

8. Plots regulables. Se trata de los elementos que elevan el pavimento transitable por encima de la lámina de agua, creando una cámara de aire.

10. Capa de protección. Baldosas pétreas apoyadas sobre los plots regulables. Se trata de una capa de protección "extra", mejorando la protección que ya de por sí ofrece la capa de agua.

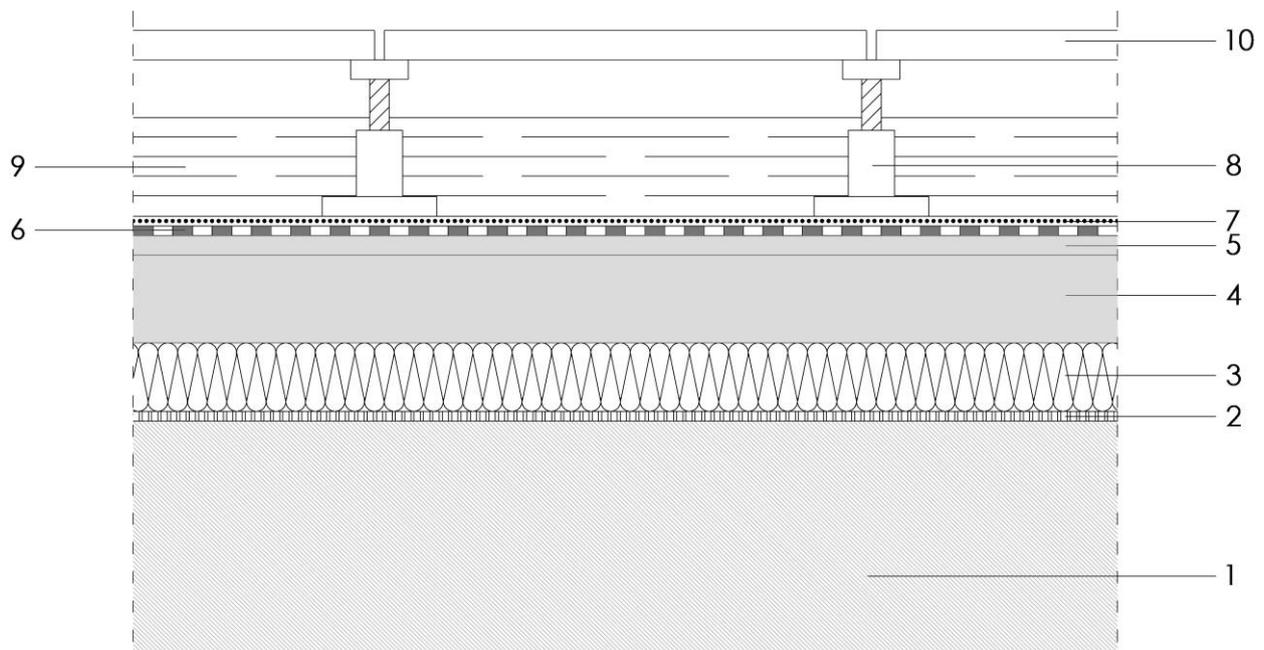


Ilustración 37. Detalle constructivo de cubierta inundada convencional transitable.

⁵¹ CÁTEDRA DE CONSTRUCCIÓN 2. (2015). *Cubiertas tecnológicas*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

6.4.3. CUBIERTA INUNDADA CONVENCIONAL ECOLÓGICA

Las cubiertas de este tipo son una variante de las anteriores, las inundadas convencionales transitables y las cubiertas ajardinadas. Se trata de cubiertas inundadas en las cuales el agua, cuyo nivel deberá ser especialmente controlado mediante rebosaderos y sumideros, sirve de riego para la capa de sustrato vegetal, llegando hasta ella mediante unas membranas absorbentes.

Este tipo de cubiertas consigue buenas propiedades térmicas, pues fusiona características de las cubiertas inundadas con las de las ajardinadas, si bien por su contra son más pesadas y necesitan de soportes estructurales más resistentes.

Componentes:

Similares a la cubierta inundada convencional transitable: 1. Base estructural. 2. Capa separadora, barrera corta-vapor. 3. Aislamiento térmico. 4. Capa de formación de pendientes. 5. Capa separadora de regularización. 6. Lámina impermeable. 7. Capa antipunzonante. 8. Plots regulables. 9. Lámina de agua.

10. Capa absorbente. Mechas de fieltro sintético geotextil que funcionan como material absorbente, haciendo llegar el agua al sustrato vegetal por capilaridad.

11. Capa soporte. Losas pétreas que sirven de base para el manto vegetal.

12. Manto vegetal. Sustrato proveedor de nutrientes para la vegetación en el cual se encuentran especies vegetales seleccionadas según criterios climatológicos, estéticos, paisajísticos...

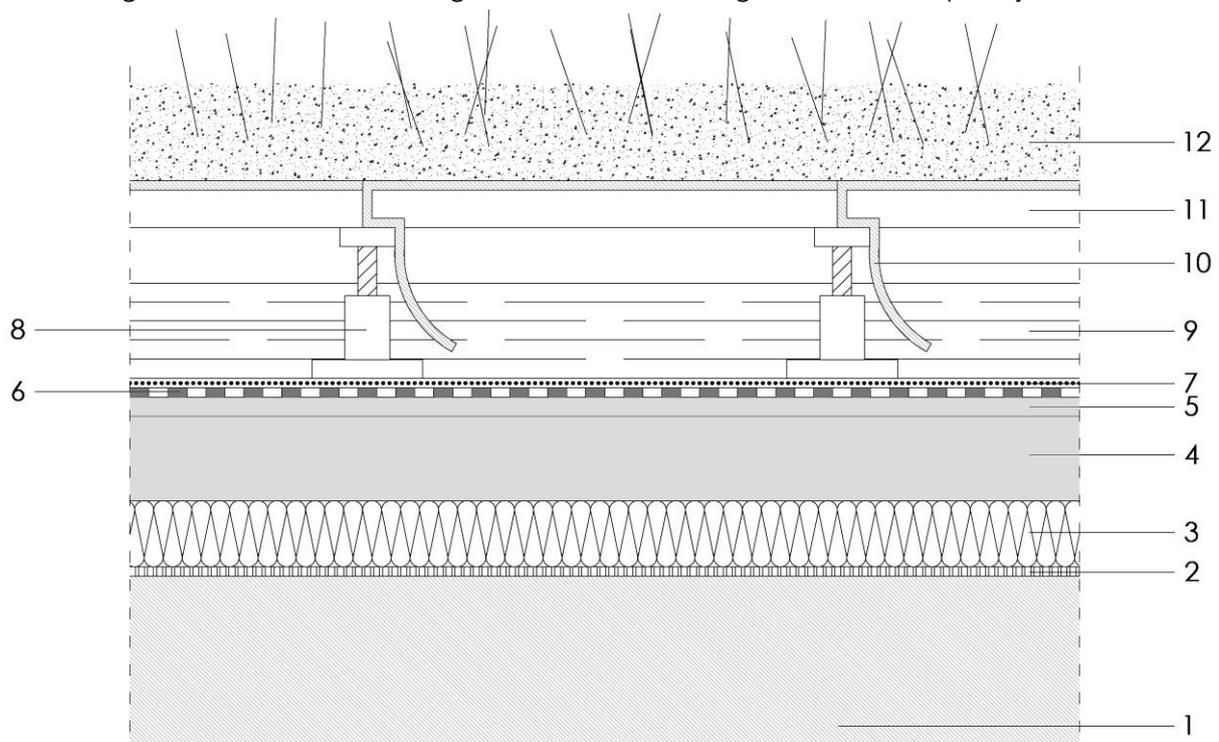


Ilustración 38. Detalle tipo de cubierta inundada convencional tecnológica

6.4.4. CUBIERTAS INUNDADAS INVERTIDAS

Diferentes marcas comerciales combinan conceptos de diferentes tipologías de cubiertas para conseguir cubiertas con grandes prestaciones.

En este tipo de cubiertas el pavimento es drenante para que el agua de lluvia se filtre a través de él, originando una capa de agua que protege la membrana impermeable (**concepto de cubierta inundada**).

Para conseguir que la cubierta fuese invertida, dicho pavimento estaría compuesto por losas con aislante térmico adherido en su cara inferior (**concepto de cubierta invertida con protección de losa aislante**) con el aislante térmico sobre la lámina impermeable.

Además el pavimento estaría sobre plots regulables para conseguir una cámara de aire (**concepto mezclado de cubiertas frías o a la catalana y cubiertas invertidas con acabado flotante**).

Si además añadimos una capa de manto vegetal y capas absorbentes conseguimos un sistema con grandes prestaciones (**concepto de cubierta inundada ecológica**).

El hecho de disponer de pavimentos drenantes imposibilita que las cámaras de aire sean totalmente estancas, característica fundamental para que funcionen correctamente, ya que al estar la cámara delimitada superiormente por el aislamiento térmico, de ser ventilada éste quedaría totalmente inutilizado, desprotegiendo térmicamente la cubierta y afectando al confort de los espacios que protege. Además, al inutilizar el aislante térmico, la lámina impermeable estará fría, y de no poseer barrera corta-vapor sufrirá patologías originadas por las condensaciones intersticiales ocasionadas por el vapor de agua que le llegará por sus capas inferiores.

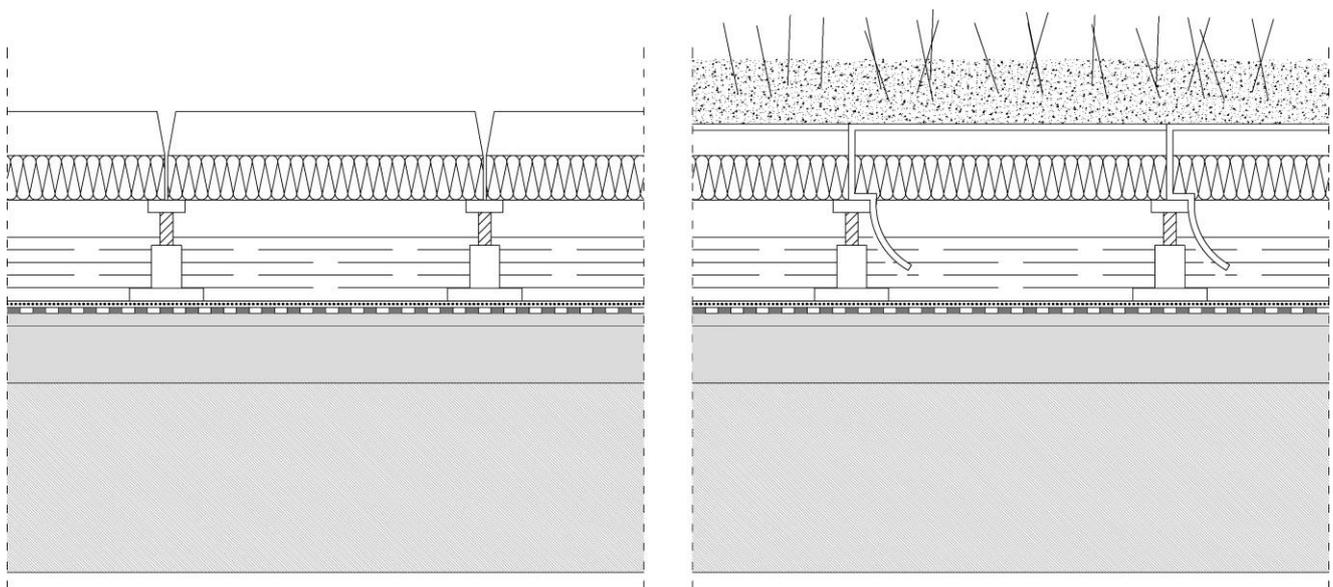


Ilustración 39. Detalles constructivos de cubierta inundada invertida transitable (izquierda) y de cubierta inundada invertida ecológica (derecha).

6.5. VENTAJAS DE LA CUBIERTA INUNDADA

La utilización de cubiertas inundadas en las construcciones otorga una serie de ventajas para nuestros edificios, nuestras ciudades y nuestra sociedad.

Es de vital importancia encontrar nuevas respuestas a las demandas de energía actuales a través de la construcción de edificios que reduzcan costes energéticos.

El manto de agua protagonista en las cubiertas inundadas resulta ser un **buen aislante térmico** para nuestros edificios, reduciendo flujos de calor y consiguiendo acondicionar los espacios que protegen de forma sostenible. Además, la inercia térmica del agua es otro factor determinante, manteniendo las cubiertas inundadas frescas por la mañana y calientes por la noche, **mejorando el confort y eficiencia de los edificios**

Son **captadoras de agua**. Además de poder suministrar agua "artificialmente" a nuestras cubiertas, éstas pueden recoger aguas pluviales, que de otra forma se perderían por el alcantarillado, además de evitar colapsos de bajantes por lluvias intensas, ya que podrían almacenar gran cantidad de agua antes de expulsarla por los rebosaderos.

Diferentes estudios aseguran que al tener láminas de agua de unos 8cm almacenados en cubiertas pueden **disminuir y suavizar el flujo de tormentas** y reducir su impacto.

El retener una lámina de agua en la parte superior de los edificios minoran los efectos producidos por cargas horizontales como sismo o viento, haciendo de **estabilizador del edificio**.

Como se ha comentado anteriormente, la lámina de agua funciona como capa protectora de la lámina impermeable de este tipo de cubiertas, **alargando su vida útil**.

Es importante mencionar la **posibilidad de reutilizar el agua** gracias a este tipo de cubiertas, pues no solamente tienen funciones de protección y aislamiento, sino que las cubiertas inundadas pueden hacer las veces de aljibe para usar el agua, pudiendo alimentar la **red doméstica de riego, de las cisternas de los inodoros o para su uso contra incendios**, entre otros.

Disminuyen la contaminación ambiental y el efecto de isla de calor urbana, consiguiendo mejorar la calidad de la vida en las ciudades creando condiciones físicas y psíquicas saludables a dos escalas, la de edificio y la de ciudad, respetando el clima y el paisaje.⁵²

Gracias a su acabado pueden ser tratadas con **finés estéticos**.

⁵² BRITTO CORREA, C. (2001). *Análisis de la viabilidad y comportamiento energético de la cubierta plana ecológica*. Tesis doctoral. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

6.6. INCONVENIENTES DE LA CUBIERTA INUNDADA

Una de las principales desventajas o inconvenientes de este tipo de cubiertas **es mantener el nivel del agua con el espesor deseado constante**, ya que el agua por naturaleza se evapora, viéndose este efecto mucho más acusado con altas temperaturas y climas secos.

La **evaporación** conlleva a que exista una fuente de alimentación que garantice el nivel de agua adecuado constante para que la cubierta inundada funcione correctamente, lo cual significa un **incremento a nivel económico** con respecto a otros tipos de cubierta planas debido a los diferentes dispositivos de suministro que se han de instalar, y supone un **impacto medioambiental** importante si se debe abastecer con mucha frecuencia la cubierta.

Otro sobrecoste que presenta este tipo de cubiertas es el **mantenimiento que debe llevar el agua** en sí mediante productos químicos y/o aparatos electrónicos, pues de no ser tratada podrían aparecer algas, haciendo que la cubierta no funcionase correctamente, y proliferar diferentes insectos, creando malestar entre los usuarios del edificio y alrededores.

Debido a la lámina de agua que tiene que tener como mínimo 10cm de espesor, y a la densidad del agua (1000 kg/m^3) son cubiertas pesadas y por ello tanto el último forjado que servirá de base estructural para la propia cubierta, como el resto de componentes de la estructura, desde los pilares hasta las cimentaciones, se verán afectados por dicha sobrecarga, algo más pesada que en las cubiertas no inundadas, dando lugar a **estructuras de mayor dimensión** que suponen un **sobrecoste económico** y medioambiental.

6.7. MEJORAS Y RECOMENDACIONES PARA CUBIERTAS INUNDADAS

6.7.1. PROTECCIONES SOLARES

Como se ha apreciado anteriormente, uno de los inconvenientes principales que tienen las cubiertas inundadas es la evaporación del agua, que debe ser controlada. Para ello además de aportar agua "artificialmente" se debe impedir lo máximo posible la evaporación con la finalidad de conseguir soluciones más eficientes a nivel medioambiental y económico.

Al elevarse la temperatura, la evaporación se ve agravada y la proliferación de bacterias y algas aumenta, por lo que resulta muy conveniente **proteger el agua de la radiación solar**.

En algunos tipos de cubierta inundada como las transitables y las ecológicas, desarrolladas anteriormente, se emplean elementos sobre plots que proporcionaban sombra al agua.

Se han realizado diferentes estudios⁵³ que demuestran la eficacia de las sombras en este tipo de cubiertas con métodos fijos, como la utilización de pavimentos flotantes o disposiciones de elementos con geometrías concretas, y con métodos móviles que permiten controlar la incidencia de la radiación solar sobre el agua y por consiguiente su temperatura, como es el caso de **toldos móviles**, que podrían utilizarse de diferente forma dependiendo del clima y estación en la que nos encontremos. Por ejemplo, en un clima mediterráneo, los toldos móviles podrían desplegarse en verano por el día para tapar la cubierta, impedir que la radiación solar caliente el agua y aprovechar la temperatura fría del agua conseguida por la noche para acondicionar los edificios.

En invierno se desplegaría por la noche para evitar heladas.

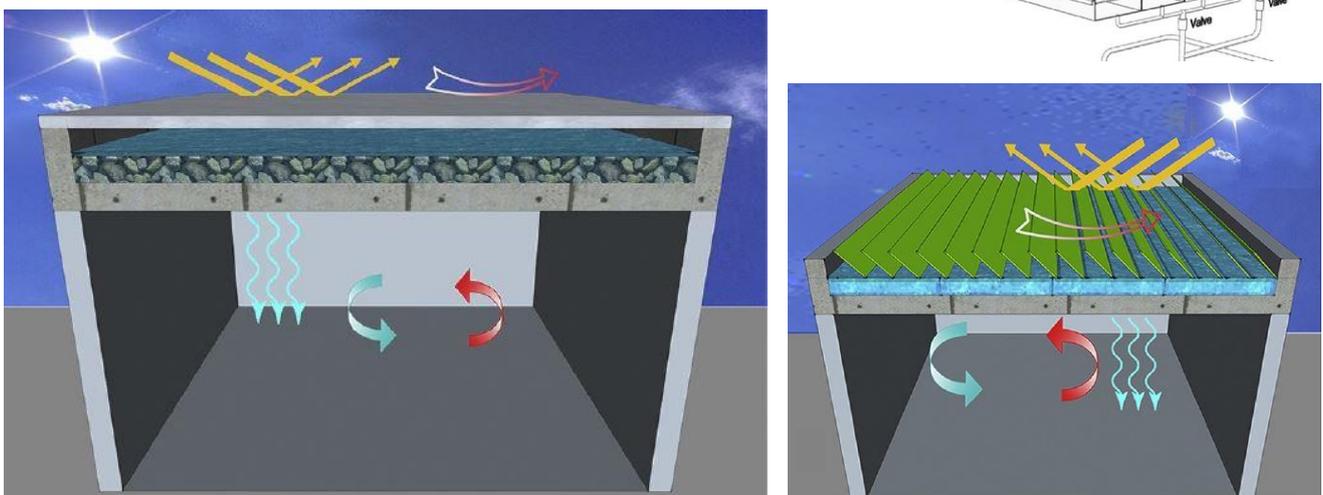
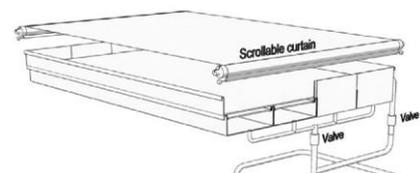


Ilustración 40. Comportamientos de cubierta inundada según diferentes tipos de cobertura y sombras.

⁵³ Ayyoob, S., Yoshiki, Y. (2015). "Roof ponds as passive heating and cooling systems: A systematic review" en *Applied Energy*. Volumen 160, 15 Diciembre 2015, páginas 336-357

6.7.2. DEPÓSITOS DE ALMACENAMIENTO DE AGUA

Puesto que además de controlar la evaporación, mantener el nivel constante de agua es el principal problema, conviene disponer de sistemas de almacenamiento de agua para su posterior utilización, y así evitar un consumo extra que incrementaría el coste y el impacto ambiental.

El nivel óptimo de agua para que una cubierta inundada funcione correctamente y la estructura no se vea cargada por encima de lo calculado durante su diseño es sobrepasado cuando aparecen aguas pluviales. Los elementos encargados de controlar ese exceso de nivel son los rebosaderos, los cuales evacúan el agua excedente. Pues bien, esa evacuación se puede dirigir hacia sistemas de almacenamiento que la conserven hasta que sea necesaria su utilización, reduciendo el consumo. Además las cubiertas de este tipo son vaciadas puntualmente por labores de mantenimiento, por lo que toda el agua expulsada por los sumideros, si está en buenas condiciones, en vez de ser evacuada y perdida, puede ser redirigida para su almacenamiento y posterior utilización.

6.7.3. UTILIZACIÓN DE COLORES CLAROS

Dependiendo del color de la superficie de las cubiertas, éstas serán más eficientes o menos. Los materiales de colores oscuros se calientan porque absorben la radiación solar, reflejando la luz poco o nada, almacenando la energía y calentando los materiales. Por otra parte, la absorción disminuye y la luz reflejada aumenta conforme el color es más claro, calentándose menos. Es por ello, y para evitar excesos de temperatura no deseados, (en verano se busca frío y las altas temperaturas aceleran la evaporación del agua y el crecimiento de microorganismos y algas) que debemos diseñar nuestras **cubiertas con acabados claros**, mediante **baldosas cerámicas claras, láminas impermeables sintéticas de colores claros** (en el mercado existe la disponibilidad de este tipo de materiales en una amplia gama de colores) **o mediante láminas impermeables bituminosas pintadas**, ya que a pesar de que este tipo de láminas existen en el mercado con una gama de colores que van desde el gris claro hasta el negro, suelen ser oscuras debido a la naturaleza de los materiales que las componen. Para conseguir láminas bituminosas de alta reflectancia y baja absorción, es necesario pintarlas con **pinturas acrílicas a base de agua de colores claros**.



Ilustración 41. Láminas sintéticas blancas.



Ilustración 42. Proceso de pintado de lámina bituminosa.



Ilustración 43. Pruebas con pinturas de diferentes colores sobre láminas bituminosas.

6.7.4. PLAN DE MANTENIMIENTO

Este tipo de cubiertas requieren un mantenimiento más exhaustivo que las no inundadas, pues la salubridad del agua es una necesidad vital y para conseguirla necesita tratamientos. Para asegurar que el agua sea de calidad, eliminar partículas en suspensión y evitar que proliferen insectos, es conveniente hacer circular el agua a través de filtros de arena, impulsada por bombas de circulación.

Para evitar la aparición de bacterias y algas y combatir la cal, además de intentar reducir la temperatura del agua como se ha comentado anteriormente, se han de utilizar productos químicos similares a los utilizados en piscinas, como antialgas, cloros, invernadores, minoradores (ácidos) o incrementadores (bases) de pH con los que intentar que el pH del agua ronde el nivel 7. De no acabar con las algas, éstas pueden ocasionar inoperatividad en los diferentes elementos que disponen este tipo de cubiertas (sumideros, interruptores de nivel...) y pueden adherirse a la superficie de la lámina impermeable, originando superficies resbaladizas que comprometen la seguridad del personal de mantenimiento a la hora de realizar sus labores.

Existen aparatos electrónicos con sistemas emisores de ondas ultrasónicas en áreas controladas, sustitutivos de los productos químicos.

A pesar de ser los elementos constructivos más elevados de los edificios, en las cubiertas pueden aparecer elementos impropios como hojas y basuras transportadas por el viento o actos vandálicos, que pueden poner en riesgo su correcto funcionamiento, por ejemplo obstruyendo sistemas de evacuación. Ello exige ciertas inspecciones periódicas para constatar su correcto estado y funcionamiento, tanto de la cubierta en general, como todos los dispositivos que contiene.

Uno de los componentes que más mantenimiento y control periódico exige, por cuestiones obvias, son las láminas impermeables, que a pesar de estar protegidas por la lámina de agua pueden sufrir patologías, especialmente en la zona de la línea de flotación (zona que más variaciones térmicas y tensionales presenta) y en las zonas a la intemperie por encima del nivel del agua, pues están expuestas directamente a radiaciones solares, pudiendo aparecer grietas y patologías.

Para sellar pequeños desperfectos o fisuras en las láminas, existen productos en el mercado capaces de actuar bajo el agua sin necesidad de vaciar la cubierta. En caso de que la estanqueidad se viese gravemente comprometida, la cubierta se vaciaría por completo y se sustituirían las láminas.⁵⁴

⁵⁴ VERA MINGUILLÓN, F X. (2015). *Análisis de la cubierta plana inundada*". Memoria para optar al título de ingeniero constructor. Chile: Facultad de Ingeniería.

7. EJEMPLO DE APLICACIÓN

A continuación desarrollaremos una cubierta inundada convencional en un edificio, para poner en práctica toda la teoría desarrollada.

7.1. JUSTIFICACIÓN DEL EDIFICIO ESCOGIDO

El edificio escogido para nuestro ejemplo de aplicación se trata de un colegio público ubicado en Valencia, en la calle Padre Urbano 42 cuya construcción tuvo lugar en el año 1985.

La intervención que se pretende realizar a dicho edificio trata de demoler la actual cubierta inclinada para ejecutar una cubierta inundada convencional sobre su último forjado, consiguiendo:

- Incorporar todas las ventajas que este tipo de cubiertas presenta, entre las cuales cabe destacar la de **reutilización del agua**.

Desde edades tempranas se podrá potenciar el respeto hacia el Medio Ambiente a través de actividades en las que se reutilice el agua de lluvia excedente de la cubierta para otros usos, como riego de huertos infantiles, etc. concienciando a los más pequeños de la importancia de la reutilización del agua, un bien escaso fundamental para el desarrollo de la vida.

- En Valencia existen diferentes campañas de carácter doméstico para **evitar la proliferación de mosquitos**, por ello las cubiertas pueden servir como laboratorio, enseñando a los niños de forma muy básica qué tratamientos y técnicas son necesarias para mantener el agua en perfectas condiciones.

- Tal como se ha comentado anteriormente, en el subconsciente popular la cubierta inclinada está muy arraigada a la idea de cobijo, de protección. Por ello y dado que el colegio representa muchos valores para los niños, se pretende acabar con la cubierta inclinada del edificio para dar paso a una cubierta plana inundada que **despertará el interés y curiosidad de los niños al ver una tipología nueva, guiándolos a otra visión de la arquitectura, con un campo más amplio**.

El haber elegido este edificio se debe a que es una tipología de colegio muy repetida en distintos municipios de la provincia de Valencia, contruidos con técnicas y diseños similares, por lo que a pesar de centrarnos en este en concreto, realmente estamos abarcando un gran número de colegios a los que se les podría realizar la misma intervención.

7.2. EMPLAZAMIENTO

El colegio se ubica en el distrito número 5 de Valencia, la Zaidía, y más concretamente en el barrio de San Antonio, en una parcela de 3.122 m² delimitada al Norte por la Calle Padre Urbano, al Sur por la Calle de Gual Villalbí, al Este por la Calle de Almazora y al Oeste por un bloque lineal de viviendas.

* Todas las imágenes están orientadas con el **Norte hacia arriba**.



Ilustración 44. Distrito La Zaidía.



Ilustración 45. Barrio de San Antonio

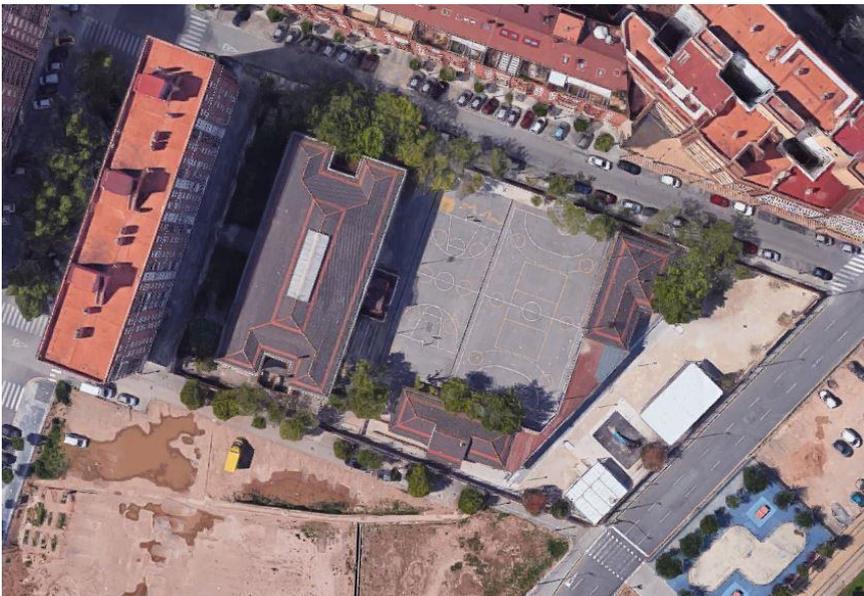


Ilustración 46. Parcela.

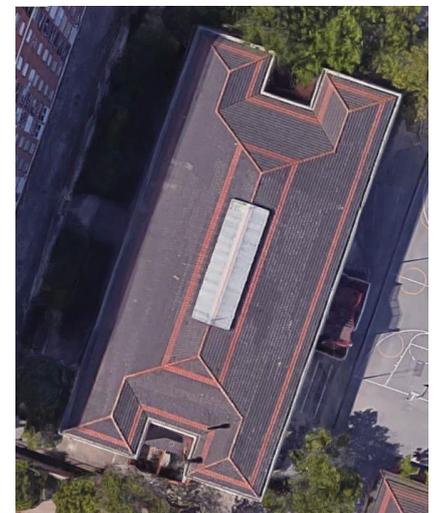


Ilustración 47. Cubierta inclinada a intervenir.

7.3. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE LA CUBIERTA ACTUAL

7.3.1. VISTAS

Actualmente el edificio cuenta con una cubierta inclinada a cuatro aguas, con una pendiente aproximada de 30° en forma de "H".

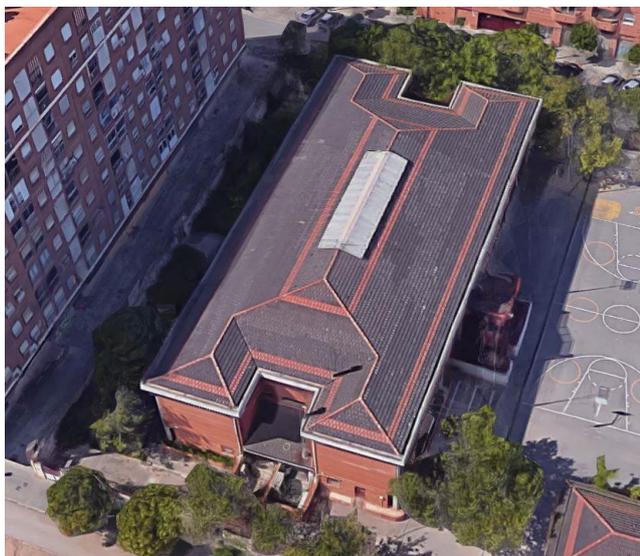


Ilustración 48. Vista de pájaro desde el Sur.

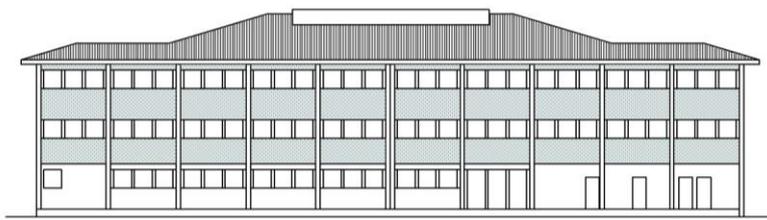


Ilustración 49. Vista de pájaro desde el Norte.

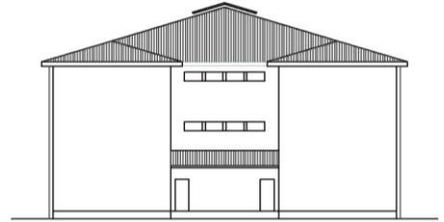


Ilustración 50. Fotografía del edificio a pie de calle.

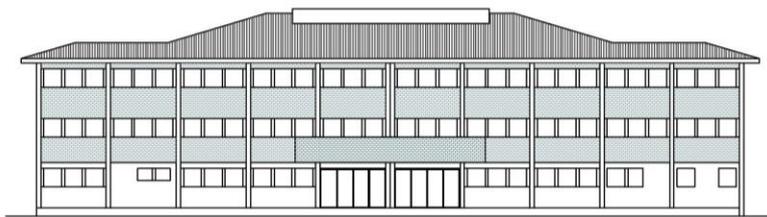
7.3.2. PLANOS PRINCIPALES



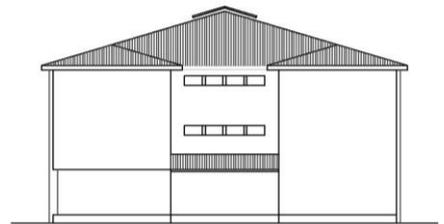
ALZADO ESTE



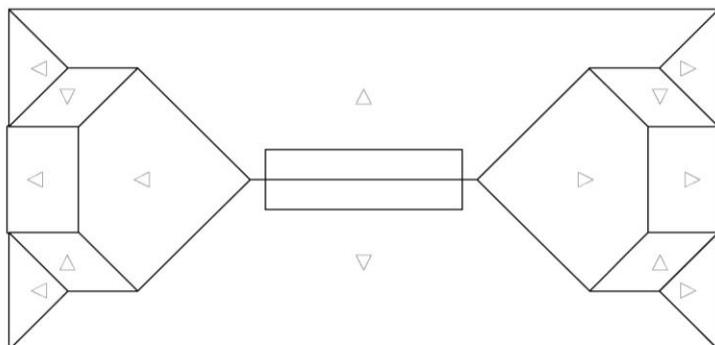
ALZADO SUR



ALZADO OESTE



ALZADO NORTE



PLANTA DE CUBIERTAS

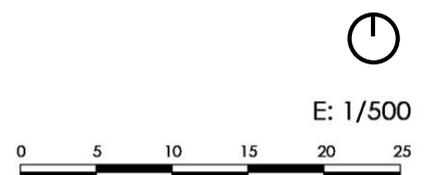


Ilustración 51. Planos principales del Colegio Público Max Aub.

7.3.3. DIMENSIONES DE LA CUBIERTA

Para abordar la ejecución de la cubierta, sobre todo de cara al presupuesto de la obra, es necesario conocer dimensiones.

- **Superficie total de la cubierta = 940 m².** (La intervención solamente se realizará en la cubierta superior, sombreada en la Ilustración 52, las dos cubiertas pequeñas inclinadas a un agua de la planta inferior se dejarán como están).

- **Longitud máxima de junta estructural = 22´79 m², aproximadamente 23 m².** El edificio mide 46´78 m (>40 m) metros de largo, por lo que al menos tendrá que tener una junta estructural en sentido transversal.

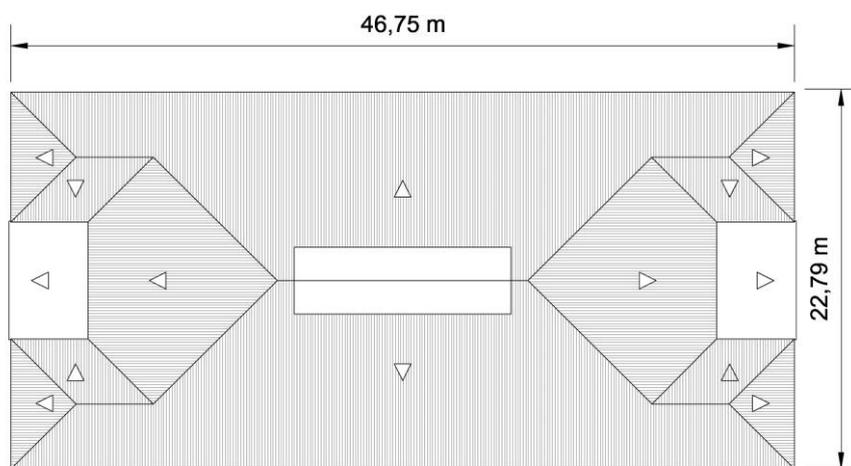


Ilustración 52. Dimensiones de planta Colegio Público Max Aub

- **Longitud total de antepecho = Longitud total de encuentros con elementos verticales = 191 m.** Se trata de todo el perímetro de la cubierta superior, a la que hay que añadirle el perímetro del patio central. (De color rojo en la imagen inferior).

- **Canalón perimetral = 157´2 m aproximadamente 153 m.** Solamente el perímetro exterior.

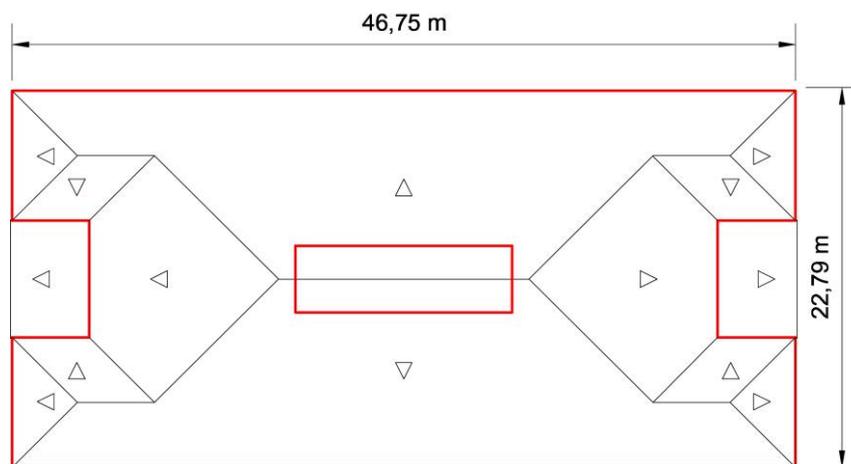


Ilustración 53. Ubicación de paramentos verticales de la cubierta.

7.3.4. DISPOSICIÓN CONSTRUCTIVA ACTUAL

Componentes:

1. Forjado de cubierta de hormigón armado
2. Aislamiento térmico (lana de roca)
3. Tabiques aligerados para formar pendientes
4. Tablero de bardos
5. Mortero
6. Pelladas de mortero
7. Teja cerámica curva
8. Canalón
9. Antepecho de ladrillo macizo
10. Chapa metálica de protección

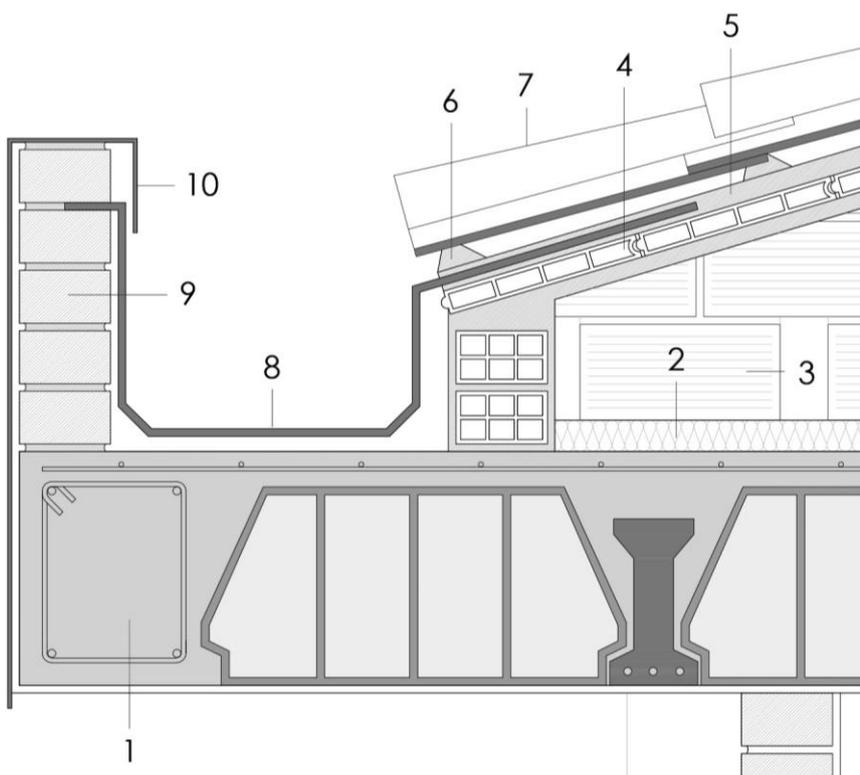


Ilustración 54. Zoom de la cubierta en la zona del antepecho E: 1/10

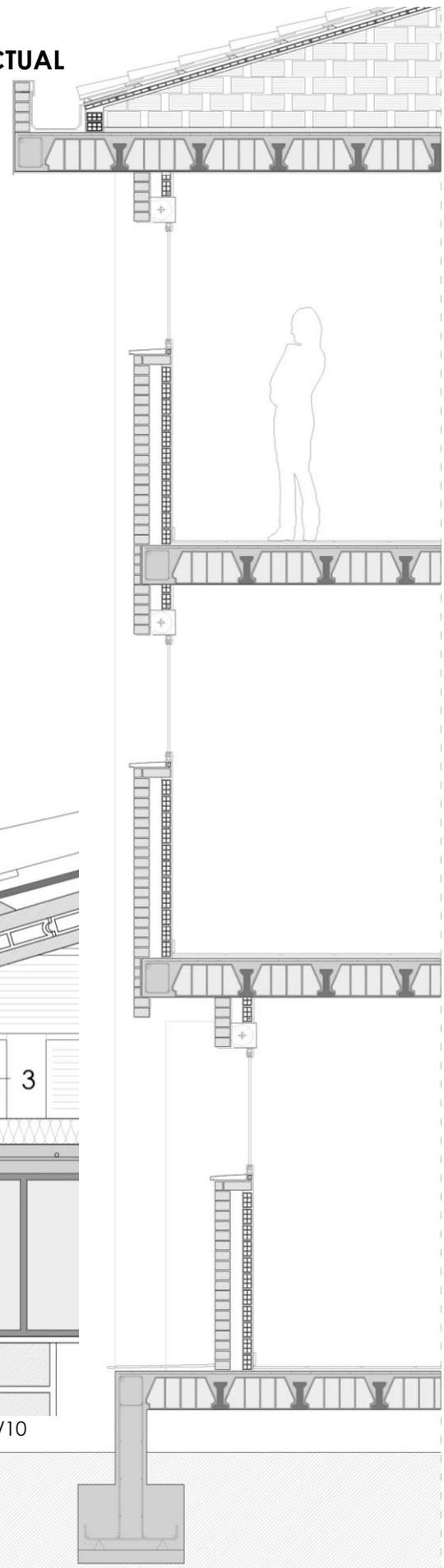


Ilustración 55. Sección tipo del edificio. E: 1/50

7.4. EJECUCIÓN DE LA CUBIERTA INUNDADA CONVENCIONAL

Para ejecutar la cubierta inundada convencional se seguirán las fases marcadas en el apartado “**6.3. FASES DE EJECUCIÓN DE LAS CUBIERTAS INUNDADAS**” desarrollado anteriormente:

Es importante mencionar que la fase inicial para la realización de la cubierta deseada no está contemplada en el apartado dedicado a ello, pues para poder comenzar a ejecutar la nueva es necesario realizar la **demolición** de la cubierta inclinada existente.

Como anteriormente se han explicado las fases para la construcción de las cubiertas inundadas, y puesto que la del ejemplo práctico seguirá el mismo proceso, haremos un repaso rápido por todos ellos haciendo hincapié en desarrollar detalles constructivos de puntos singulares antes no contemplados, así como dispositivos y elementos singulares que hacen posible la funcionalidad de este tipo de cubiertas, adaptadas al caso del colegio pero con una visión generalista.

7.4.1. DEMOLICIÓN

El primer paso del proceso constructivo pasaría por demoler la actual cubierta inclinada, retirando las tejas curvas cerámicas, el tablero de bardos, los tabiques aligerados de ladrillo para formación de pendientes, el aislamiento térmico y finalmente el canalón y el antepecho para dejar la cara superior del forjado de última planta libre.

7.4.2. ANTEPECHO

En el perímetro exterior la cubierta inclinada actual el antepecho esconde el canalón de recogida de pluviales. En nuestro caso particular, tal y como se definirá más adelante en los detalles constructivos, también incorporaremos un canalón oculto en el perímetro exterior, además hará las funciones de rebosadero y elemento retenedor de agua. 50

En el perímetro interior actualmente hay un lucernario, por lo que nuestro antepecho tendrá la función de contenedor de agua y sustento de la estructura del lucernario. 65

Ambos serán realizados con ladrillo macizo para dotarlo de resistencia frente a empujes horizontales del viento y del agua de la propia cubierta pues será el elemento de contención que la mantenga en su posición.

El antepecho del perímetro exterior tendrá 50 cm de altura, mientras que el del interior será de 65 cm. Cada uno con la altura necesaria para recoger todos los elementos de la cubierta que les llegan.

Para realizar el presupuesto se tomará una altura media de 60 cm de altura.

7.4.3. JUNTA DE DILATACIÓN

Dado que los materiales sufren variaciones dimensionales derivados del cambio de temperaturas, en la cubierta aparecerán juntas estructurales que "atravesarán" todo el edificio y juntas propias de la cubierta, que dividirán los componentes de la propia cubierta, sin afectar al resto del edificio, en superficies de unos $80 \text{ m}^2 + - 20 \text{ m}^2$ disponiéndose entre sí cada 10-15 metros lineales y en todos los perímetros con paramentos verticales (chimeneas, antepechos, huecos de ascensor...) además de en las pequeñas limatesas para conseguir la pendiente del 1% de nuestra cubierta.

Los movimientos de los materiales pueden afectar a las láminas impermeables cuarteándolas y agrietándolas, por ello se tendrá precaución en realizar soluciones constructivas que permitan absorberlos y evitar patologías.

7.4.4. CAPA DE REGULARIZACIÓN

Si nos encontrásemos la superficie de la cara superior del forjado de última planta con muchas irregularidades y desperfectos, sería conveniente extender una capa de mortero de cemento para conseguir una capa con un acabado liso y evitar posibles deterioros en la capa siguiente.

Puesto que se han realizado labores de demolición y anteriormente se disponían tabiques aligerados de ladrillo, es de suponer que convendría regularizar la superficie.

7.4.5. BARRERA CORTA-VAPOR

Como la cubierta inundada es convencional, significa que el aislante térmico se encuentra por debajo de la lámina impermeable, por lo que ésta última estará "fría". Ello posibilitará que se generen condensaciones intersticiales cuando el vapor de agua "caliente" procedente del interior del edificio atraviese todas las capas y entre en contacto con la lámina, provocándole deterioros.

7.4.6. AISLANTE TÉRMICO

Sobre la barrera corta-vapor se dispondrá el aislante térmico. Éste deberá soportar el peso de todos los elementos que se dispondrán sobre él, entre los cuales algunos como la capa de formación de pendientes o la lámina de agua tendrán pesos considerables, exigiéndole al material aislante resistencia a compresión.

Las **placas rígidas de poliestireno extruído** cumplen correctamente la doble función de aislar térmicamente y soportar las cargas de los elementos que sobre ellas descansan.

El espesor del material aislante depende del valor de la transmitancia térmica U exigida por la normativa vigente. Entrando en el DB-HE podemos obtener el valor del espesor necesario según zona climática. Nos encontramos en **Valencia**, zona climática B2 según el DB-HE. $U_c = 0'33 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tabla E.1. Transmitancia del elemento [W/m² K]

Transmitancia del elemento [W/m ² K]	Zona Climática					
	α	A	B	C	D	E
U_M	0.94	0.50	0.38	0.29	0.27	0.25
U_S	0.53	0.53	0.46	0.36	0.34	0.31
U_C	0.50	0.47	0.33	0.23	0.22	0.19

U_M : Transmitancia térmica de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno

U_S : Transmitancia térmica de suelos (forjados en contacto con el aire exterior)

U_C : Transmitancia térmica de cubiertas

Ilustración 56. Tabla de transmitancias según elemento constructivo.

	Espesor (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
R _{se}	-	-	0'04
Lámina de agua	0'10	0'58	0'17
Lámina impermeable	-	-	-
Capa mortero	0'02	1	0'02
Hormigón ligero	0'10	1'15	0'09
Aislante térmico	x	0'036	x / 0'036
Capa corta-vapor	-	-	-
Capa mortero	0'02	1	0'02
Forjado	0'3	-	0'21
R _{si}	-	-	0'10
R _{total}			0'65 + (x / 0'036)

Ilustración 57. Tabla para el cálculo del espesor del aislante térmico.

La transmitancia de nuestra cubierta debe ser: $U_c = 1/R_{total} = 1/(0'65 + (x / 0'036)) \leq 0'33 \text{ W/m}^2\text{K}$

Despejando el espesor de aislante térmico "x" de la expresión: $1/(0'65 + (x / 0'036)) \leq 0'33$, obtenemos $x \geq 0'0857 \text{ m}$. **Debiendo ser el aislante térmico como mínimo de 8'57 cm de espesor.**

Puesto que **por labores de mantenimiento la cubierta podría vaciarse**, calcularemos el espesor de aislante térmico necesario para cumplir con la normativa actual, descontando el aislamiento térmico que proporciona la lámina de agua: $1/(0'65 - 0'17 + (x / 0'036)) \leq 0'33$

Despejando el espesor de aislante térmico "x" de la expresión: $1/(0'65 - 0'17 + (x / 0'036)) \leq 0'33$, se obtiene $x \geq 0'0918 \text{ m}$. **Es decir, el aislante térmico deberá ser como mínimo de 9'18 cm de espesor.**

Por lo tanto, del lado de la seguridad y tomando el caso más desfavorable, se utilizará un aislante térmico de 10 cm de espesor para la cubierta inundada del ejemplo práctico.

7.4.7. FORMACIÓN DE PENDIENTES

A pesar de que las cubiertas inundadas pueden ser de pendiente 0, tomaremos una solución con una **pendiente del 1%** para mejorar la evacuación de aguas, evitando la aparición de charcos en caso de tener que ser totalmente vaciada por mantenimiento.

Se realizará a base de hormigón con áridos ligeros, que además de tener un peso propio reducido con respecto a otro tipo de hormigones, mejora contribuyendo en el aislamiento térmico de la cubierta.

7.4.8. CAPA REGULADORA DE MORTERO DE CEMENTO

De mayor importancia y relevancia que la capa que se coloca sobre la cara superior del forjado para proteger la barrera corta-vapor es la capa de mortero de cemento que se coloca sobre el hormigón de pendientes o mejor dicho, bajo la lámina impermeable, ya que es el elemento más importante de la cubierta y exige una superficie que le proporcione un apoyo liso y regular que no comprometa su seguridad.

7.4.9. IMPERMEABILIZACIÓN

Puesto que la cubierta será inundada, la impermeabilización estará mucho más comprometida que en el caso de otras cubiertas planas, debiendo permanecer estanca estando constantemente sometida a una lámina de agua de varios centímetros de espesor sobre ella.

Por ello se han escogido **láminas bituminosas, que se fijarán mediante sistema adherido**, que es el sistema de fijación a la cubierta que mayor seguridad garantiza.

Para que el sistema adherido funcione correctamente, antes de colocar las láminas se aplicará una **imprimación horizontal** sobre toda la superficie de la cubierta (la superficie de la capa reguladora de mortero de cemento) **y una imprimación vertical**, siendo imprimadas las superficies de los elementos salientes en una altura mínima de 20cm, altura a la que llegarán las láminas impermeables, así como elementos que cubran total o parcialmente, como el canalón.

Para proteger aún más la cubierta se utilizará el **sistema laminar bicapa** que proporciona un extra de garantía para que la estanqueidad de la cubierta funcione correctamente.

El sistema bicapa cuenta con dos membranas, y para nuestro caso la **lámina superior, así como las de refuerzo que queden en contacto directo con el agua o la intemperie, serán autoprotegidas para que tengan una mayor vida útil y estarán pintadas con pintura acrílica a base de agua, de color blanco como mejora para reducir las temperaturas.**

7.4.9.1. ENCUENTROS CON PARAMENTOS VERTICALES

7.4.9.1.1. ANTEPECHOS

En el perímetro exterior de la cubierta, el peto tendrá doble función, de rebosadero y de contención de aguas, además de contener el canalón oculto.

Componentes:

- | | |
|---|---|
| 1. Base estructural. Forjado unidireccional de hormigón | 10. Lámina impermeable de refuerzo autoprotegida |
| 2. Capa reguladora. Mortero de cemento | 11. Pintura acrílica a base de agua, color blanco |
| 3. Capa separadora. Barrera corta-vapor | 12. Lámina de agua de 10 cm |
| 4. Aislamiento térmico. Placas rígidas de poliestireno extruido | 13. Junta de dilatación (poliestireno expandido) |
| 5. Capa de formación de pendientes. Hormigón aligerado | 14. Masilla |
| 6. Capa separadora de regulación. Mortero de cemento | 15. Rebosadero de ladrillo macizo |
| 7. Imprimación | 16. Canalón metálico |
| 8. Lámina impermeable inferior | 17. Peto de ladrillo macizo |
| 9. Lámina impermeable superior (autoprotegida) | 18. Perfil metálico de remate |
| | 19. Perfil metálico |

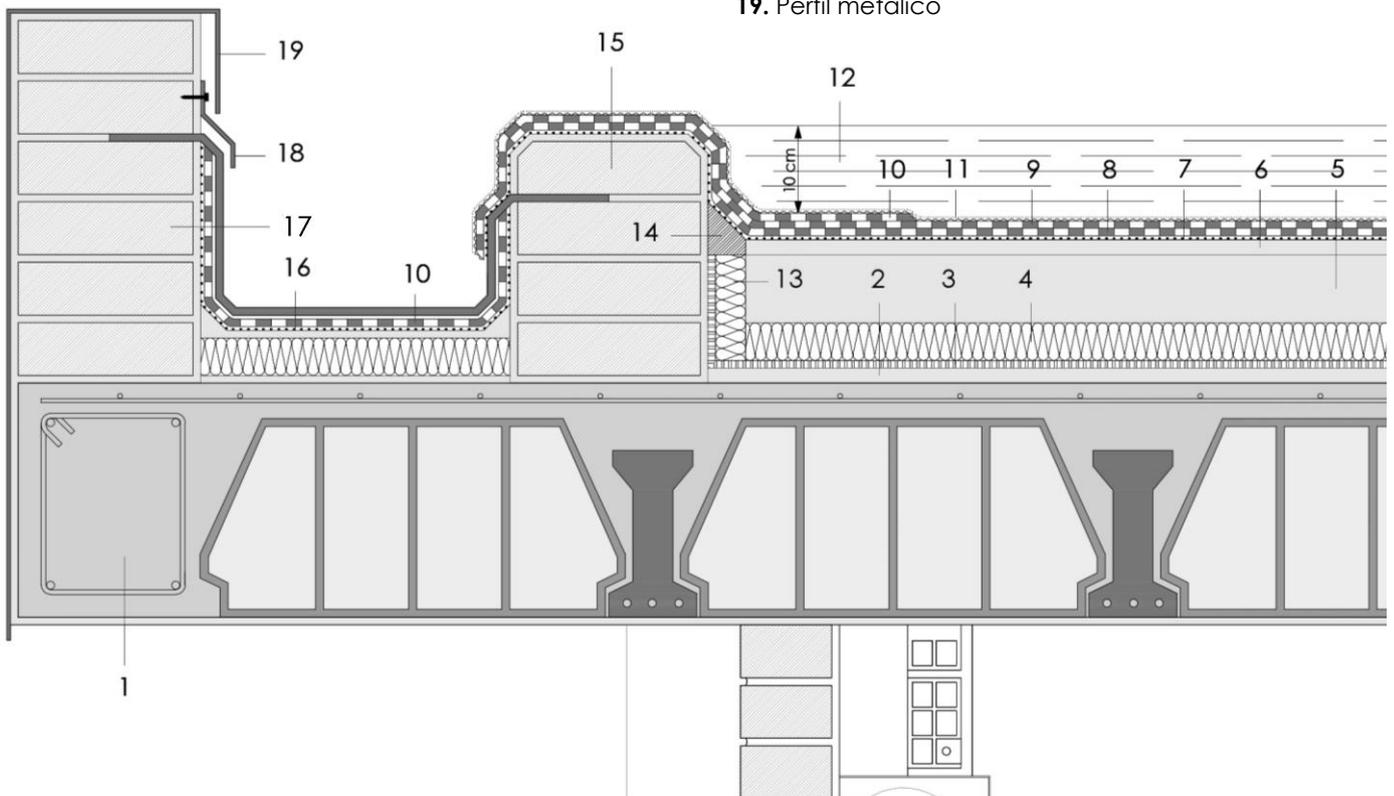


Ilustración 58. Sección constructiva del peto perimetral exterior. Rebosadero. E: 1/10

En la zona central de la cubierta nos encontramos con un lucernario, por lo que la función del peto en el perímetro interior será la de contener el agua. Es muy importante que cuando las láminas impermeables, al ser extendidas por toda la superficie de la cubierta, se encuentren con elementos verticales, éstas se doblen adhiriéndose 20cm como mínimo en vertical, asegurando la estanqueidad.

Componentes:

- | | |
|---|---|
| 1. Base estructural. Forjado unidireccional de hormigón | 10. Lámina impermeable de refuerzo autoprotegida |
| 2. Capa reguladora. Mortero de cemento | 11. Pintura acrílica a base de agua, color blanco |
| 3. Capa separadora. Barrera corta-vapor | 12. Lámina de agua de 10 cm |
| 4. Aislamiento térmico. Placas rígidas de poliestireno extruido | 13. Junta de dilatación (poliestireno expandido) |
| 5. Capa de formación de pendientes. Hormigón aligerado | 14. Masilla |
| 6. Capa separadora de regulación. Mortero de cemento | 15. Perfil metálico de remate |
| 7. Imprimación | 16. Perfil metálico |
| 8. Lámina impermeable inferior | 17. Cubierta del lucernario |
| 9. Lámina impermeable superior (autoprotegida) | 18. Estructura metálica del lucernario |
| | 19. Antepecho de ladrillo macizo |

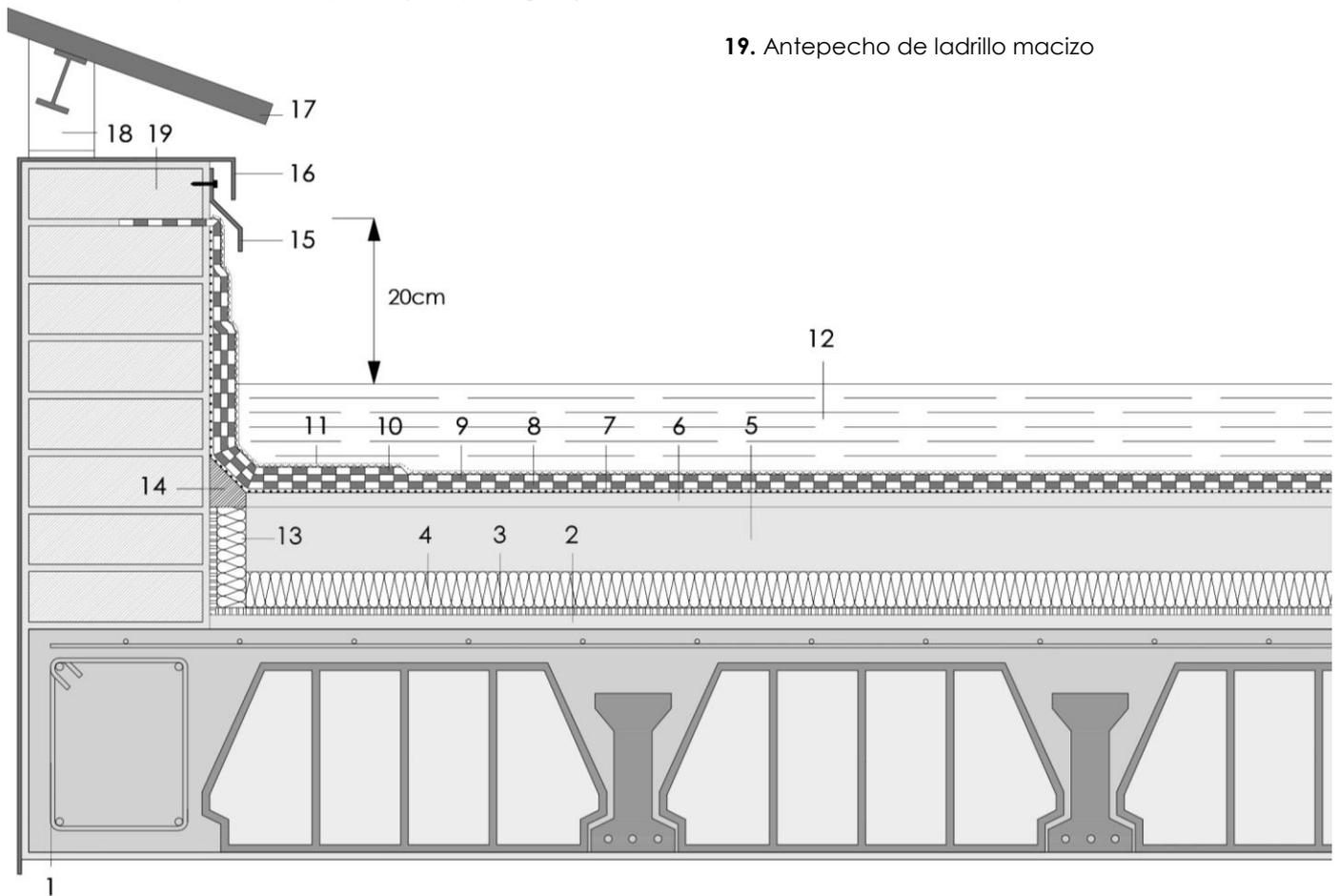


Ilustración 59. Sección constructiva del peto perimetral interior. E: 1/10

7.4.9.2. SUMIDEROS

Los sumideros de las cubiertas inundadas solamente serán utilizados en caso de que sea necesario evacuar las aguas por mantenimiento, por lo que dispondrán de tapa y **sistemas de cierre que les permitan ser totalmente estancos.**

Componentes:

- | | |
|---|---|
| 1. Base estructural. Forjado unidireccional de hormigón | 9. Lámina impermeable inferior |
| 2. Capa reguladora. Mortero de cemento | 10. Lámina impermeable superior (autoprottegida) |
| 3. Capa separadora. Barrera corta-vapor | 11. Pintura acrílica a base de agua, color blanco |
| 4. Aislamiento térmico. Placas rígidas de poliestireno extruido | 12. Sumidero con sistema de cierre estanco |
| 5. Capa de formación de pendientes. Hormigón aligerado | 13. Lámina de agua de 10 cm |
| 6. Capa separadora de regulación. Mortero de cemento | 14. Manguilla de desagüe |
| 7. Imprimación | 15. Bajante |
| 8. Lámina impermeable de refuerzo | 16. Bovedilla partida |

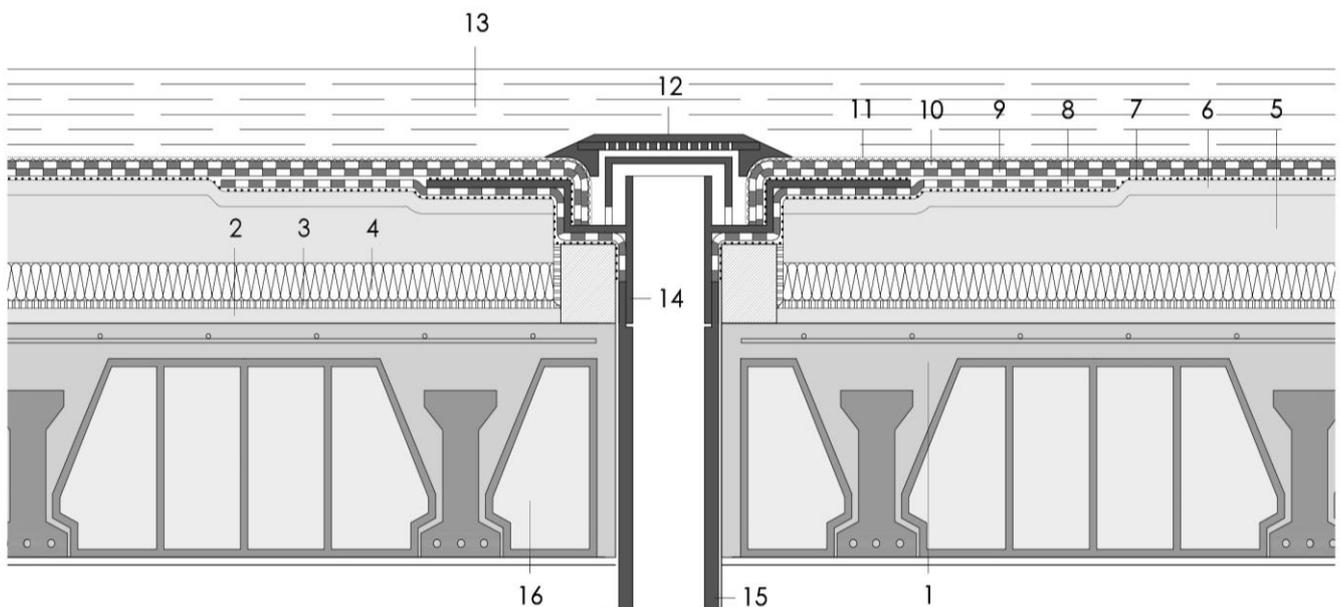


Ilustración 60. Sección constructiva por sumidero. E: 1/10

7.4.9.3. JUNTAS DE DILATACIÓN

Como se ha comentado anteriormente, existirían dos tipos de juntas, las de dilatación propia del edificio (que atravesarían el edificio por completo) y las propias de la cubierta (que afectarían solamente a las capas de la cubierta).

A continuación se muestra el detalle constructivo de una junta propia de la cubierta, si bien una junta de dilatación del edificio se realizaría de la misma forma, permitiendo que las láminas impermeables absorban los movimientos de los materiales, pero en ella aparecería la junta a lo largo de toda la construcción, dividiendo todos los elementos del edificio (forjados...).

Componentes:

- | | |
|---|---|
| 1. Base estructural. Forjado unidireccional de hormigón | 8. Lámina impermeable inferior |
| 2. Capa reguladora. Mortero de cemento | 9. Lámina impermeable superior (autoprotegida) |
| 3. Capa separadora. Barrera corta-vapor | 10. Lámina impermeable (refuerzo) |
| 4. Aislamiento térmico. Placas rígidas de poliestireno extruido | 11. Sellante mástico |
| 5. Capa de formación de pendientes. Hormigón aligerado | 12. Pintura acrílica a base de agua, color blanco |
| 6. Capa separadora de regulación. Mortero de cemento | 13. Lámina de agua de 10 cm |
| 7. Imprimación | 14. Junta de dilatación (poliestireno expandido) |

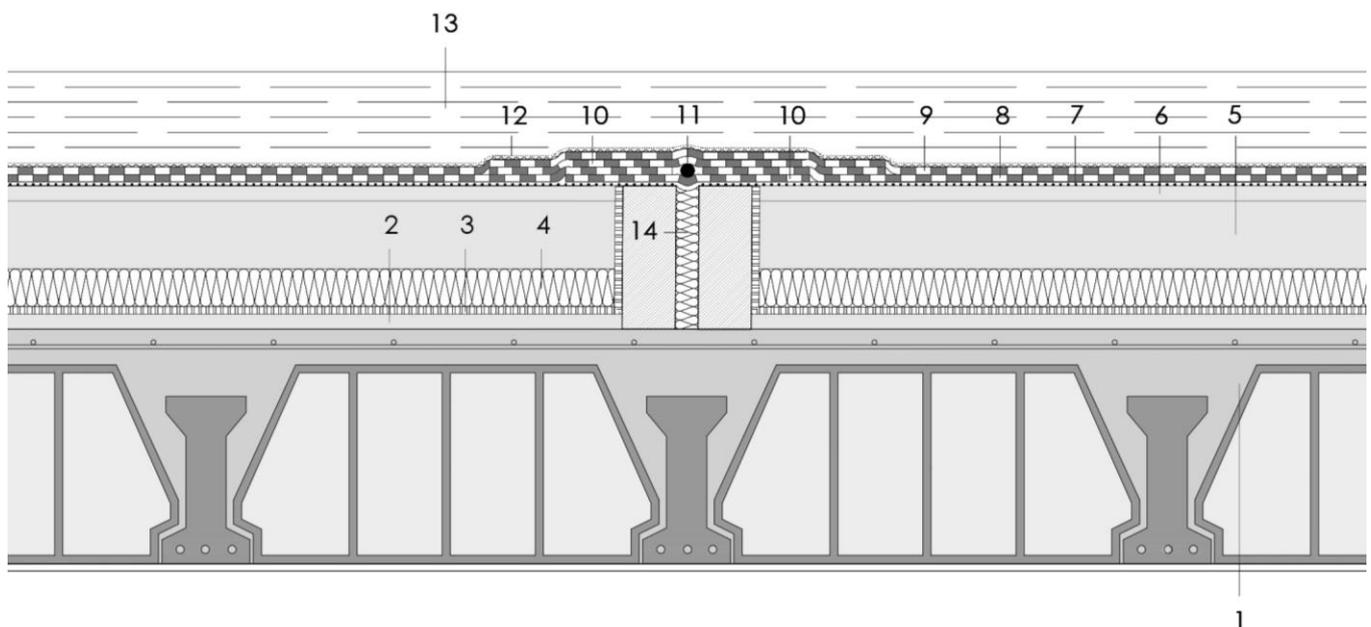


Ilustración 61. Detalle constructivo de junta de dilatación de la cubierta. E: 1/10

7.4.9.4. COMPARATIVA DE CUBIERTAS

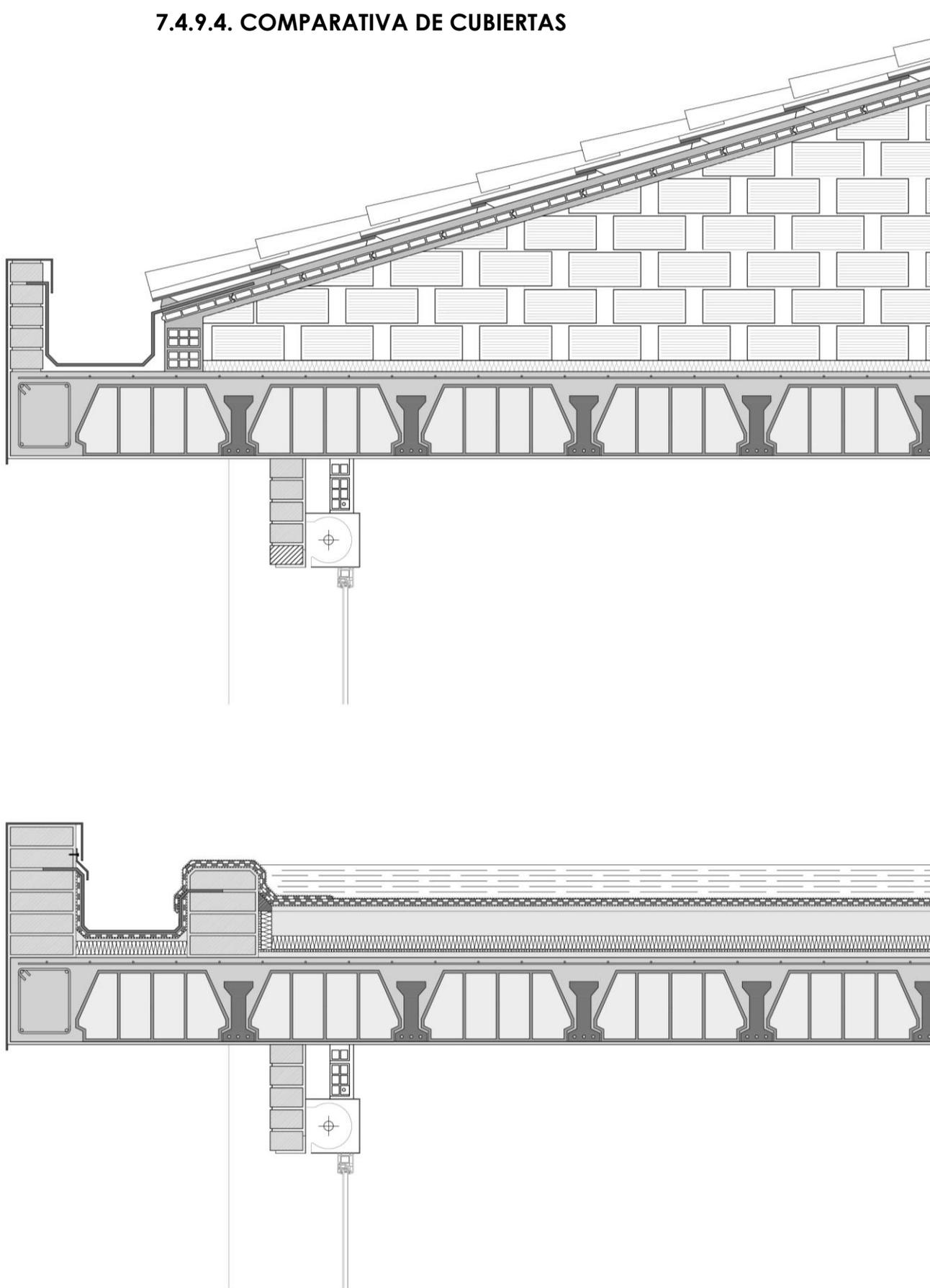


Ilustración 62. Secciones tipo del colegio. Cubierta inclinada (arriba) y cubierta plana inundada tipo convencional (abajo). E: 1/20

7.5. ELEMENTOS Y DISPOSITIVOS SINGULARES

Las cubiertas inundadas necesitan una serie de elementos y dispositivos que consigan mantener el agua con un espesor constante y con una calidad adecuada.

7.5.1. REBOSADEROS

Dado que el nivel del agua varía, cuando excede del deseado se debe reconducir o evacuar el agua excedente (pluvial) a través de rebosaderos.

En nuestro caso se ha utilizado un rebosadero de obra, pero existen más soluciones, como gárgolas o elementos prefabricados que posibilitan dicha función a modo de sumidero elevado por el nivel deseado, como tubos cuyo diseño impide que sean taponados con elementos impropios.



Ilustración 63. Tubo peine rebosadero.

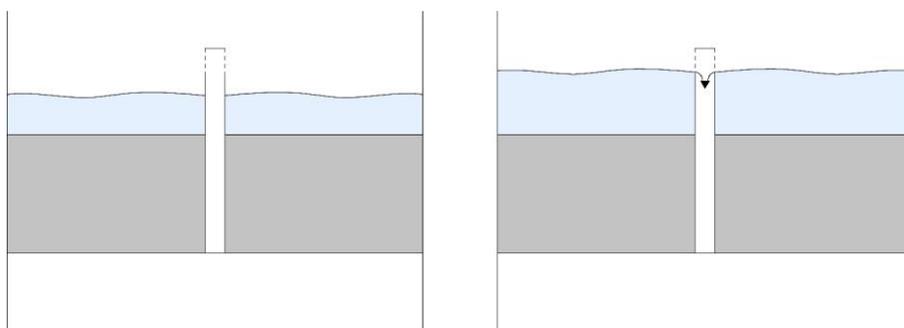


Ilustración 64. Esquema de rebosadero por tubo.

7.5.2. INTERRUPTORES DE NIVEL

Una vez controlado el exceso de agua con los rebosaderos, el nivel de agua se controla mediante interruptores de niveles, los cuales ordenan el aporte de agua en caso de carencia y el corte de suministro una vez alcanzado el nivel deseado. En el mercado encontramos dispositivos con diferentes tecnologías como los que utilizan microondas guiadas, radar, ultrasónicos, flotadores o diapasón.

En nuestro caso utilizaremos un interruptor de nivel de flotador que cuando detecte un nivel de agua por debajo del deseado mandará una señal a una electroválvula para alimentar la cubierta.



Ilustración 65. Interruptor de nivel por flotador.

7.5.3. ELECTROVÁLVULAS

Son los dispositivos que reciben la orden de los interruptores de nivel, aportando agua cuando hay escasez y cortando el suministro cuando se alcanza el nivel deseado.



Ilustración 66. Electroválvula de dos vías.

7.5.4. SUMIDEROS

Cuando se desee vaciar la cubierta se hará por medio de sumideros. Puesto que las cubiertas deben tener una lámina constante de agua, estos dispositivos normalmente estarán cerrados, por lo que **deben disponer de un sistema de cierre estanco con posibilidad de apertura.**

4.2.1 Red de pequeña evacuación de aguas pluviales

- 1 El área de la superficie de paso del elemento filtrante de una caldereta debe estar comprendida entre 1,5 y 2 veces la sección recta de la tubería a la que se conecta.
- 2 El número mínimo de sumideros que deben disponerse es el indicado en la tabla 4.6, en función de la superficie proyectada horizontalmente de la cubierta a la que sirven.

Tabla 4.6 Número de sumideros en función de la superficie de cubierta

Superficie de cubierta en proyección horizontal (m ²)	Número de sumideros
S < 100	2
100 ≤ S < 200	3
200 ≤ S < 500	4
S > 500	1 cada 150 m ²

- 3 El número de puntos de recogida debe ser suficiente para que no haya desniveles mayores que 150 mm y pendientes máximas del 0,5 %, y para evitar una sobrecarga excesiva de la cubierta.
- 4 Cuando por razones de diseño no se instalen estos puntos de recogida debe preverse de algún modo la evacuación de las aguas de precipitación, como por ejemplo colocando rebosaderos.

Ilustración 67. Tabla 4.2.1 del Documento Básico HS. Salubridad.

Según Código Técnico, y puesto que tenemos una cubierta de **940 m²** (>500 m²) debemos disponer de:

$940 / 150 = 6'26 = 7$ **sumideros**, distribuidos de forma equitativa a lo largo de toda la superficie de la cubierta y como mínimo a 1 metro de distancia de los antepechos.



Ilustración 68. Sumidero con cierre estanco.

7.5.5. CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA

Además de controlar la calidad del agua mediante productos químicos, existen en el mercado diferentes dispositivos electrónicos capaces de llevar a cabo dicha función, reduciendo costes y labores de mantenimiento.

Para nuestro ejemplo se ha elegido un equipo con sistema de ondas ultrasónicas capaces de inhibir la proliferación y crecimiento de algas. El sistema se compone de un emisor de ultrasonidos sumergido y un transformador y tiene un alcance de 122 m de radio, por lo que con un único aparato nos servirá para la totalidad de la cubierta.



Ilustración 69. Elementos del sistema de control de algas mediante ondas ultrasónicas.

7.6. ACCESO A CUBIERTA POR MANTENIMIENTO

Para realizar tareas de mantenimiento resulta necesario un acceso a la cubierta. Puesto que el colegio dispone de una escalera metálica en su fachada Este, nos aprovecharemos de su existencia y la elevaremos una altura más, originando un acceso "a pie" a la cubierta, de carácter restringido para personal de mantenimiento o actividades educativas.

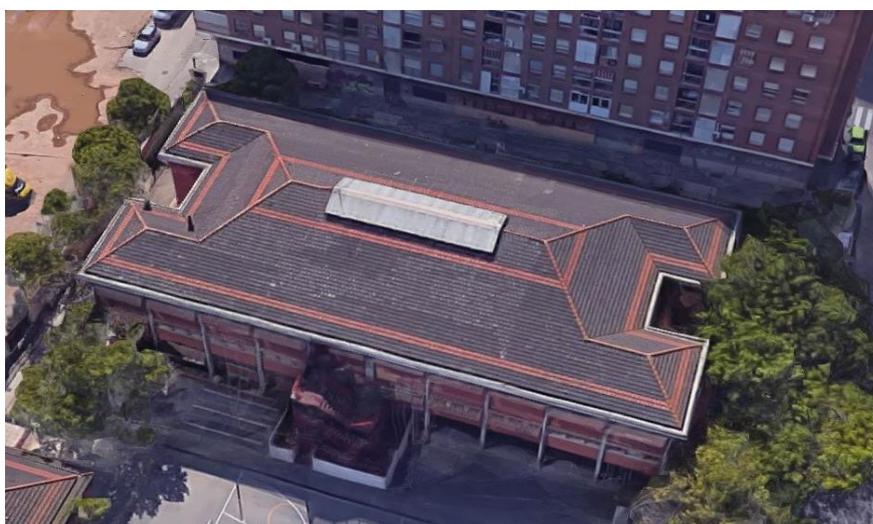


Ilustración 70. Vista de pájaro desde el Este.

7.7. PRESUPUESTO

Para finalizar se desarrolla un presupuesto de lo que costaría realizar la cubierta inundada convencional en el Colegio Público Max Aub.

El **Anexo_01_Desglose_presupuestario**, contiene la lista de precios desglosados, obtenidos de páginas web de diferentes marcas industriales y de la herramienta informática creada por CYPE Ingenieros, Generador de precios, a través de su web <http://generadorprecios.cype.es/>

A continuación se muestra una tabla resumen con superficies y unidades a través de la cual obtenemos el precio total de la ejecución.

01 DEMOLICIONES	ELEMENTO	UNIDADES	CANTIDAD	PRECIO/UD	TOTAL
	Desmontaje de cobertura de tejas en cubierta inclinada	m2	940	14,11	13263,4
	Demolición de formación de pendientes de tabiques aligerados cerámicos en cubierta	m2	940	7,02	6598,8
	Retirada de aislamiento de cubierta	m2	940	0,88	827,2
	Desmontaje de canalón	ml	153	4	612
	Desmontaje de antepecho de cubierta inclinada	ml	191	8,46	1615,86
TOTAL 01					22917,26
02 CUBIERTA	ELEMENTO	UNIDADES	CANTIDAD	PRECIO/U	TOTAL
	Cubierta convencional inundada	m2	940	65,89	61936,6
	Antepecho de fábrica	ml	191	63,54	12136,14
	Junta de dilatación en cubierta, láminas asfálticas	ml	23	16,05	369,15
	Sumidero + encuentro con sumidero, láminas asfálticas	ud	7	46,36	324,52
	Encuentro con paramento vertical, láminas asfálticas	ml	191	19,66	3755,06
	Vierteaguas de aluminio	ml	191	21,52	4110,32
	Canalón oculto	ml	153	75,89	11611,17
TOTAL 02					94242,96
03 ELEMENTOS SINGULARES	ELEMENTO	UNIDADES	CANTIDAD	PRECIO/U	TOTAL
	Grifo	ud	2	10,66	21,32
	Interruptor de nivel	ud	2	209,9	419,8
	Electroválvula	ud	2	138,54	277,08
	Sistema ultrasónico anti algas.	ud	1	362,49	362,49
TOTAL 03					1080,69
04 OTROS	ELEMENTO	CAPÍTULOS	SUMA	PORCENTAJE	TOTAL
	Seguridad y salud (2% del total)	01 + 02 + 03 =	118240,91	2	2364,8182
	Control de calidad (1% del total)	01 + 02 + 03 =	118240,91	1	1182,4091
	Gestión de residuos (1% del total)	01 + 02 + 03 =	118240,91	1	1182,4091
TOTAL 04					4729,6364

TOTAL = (01+02+03+04)= 122.970,5 €

Ilustración 71. Tabla resumen del Presupuesto.

8. EDIFICIOS EMBLEMÁTICOS CON CUBIERTAS INUNDADAS

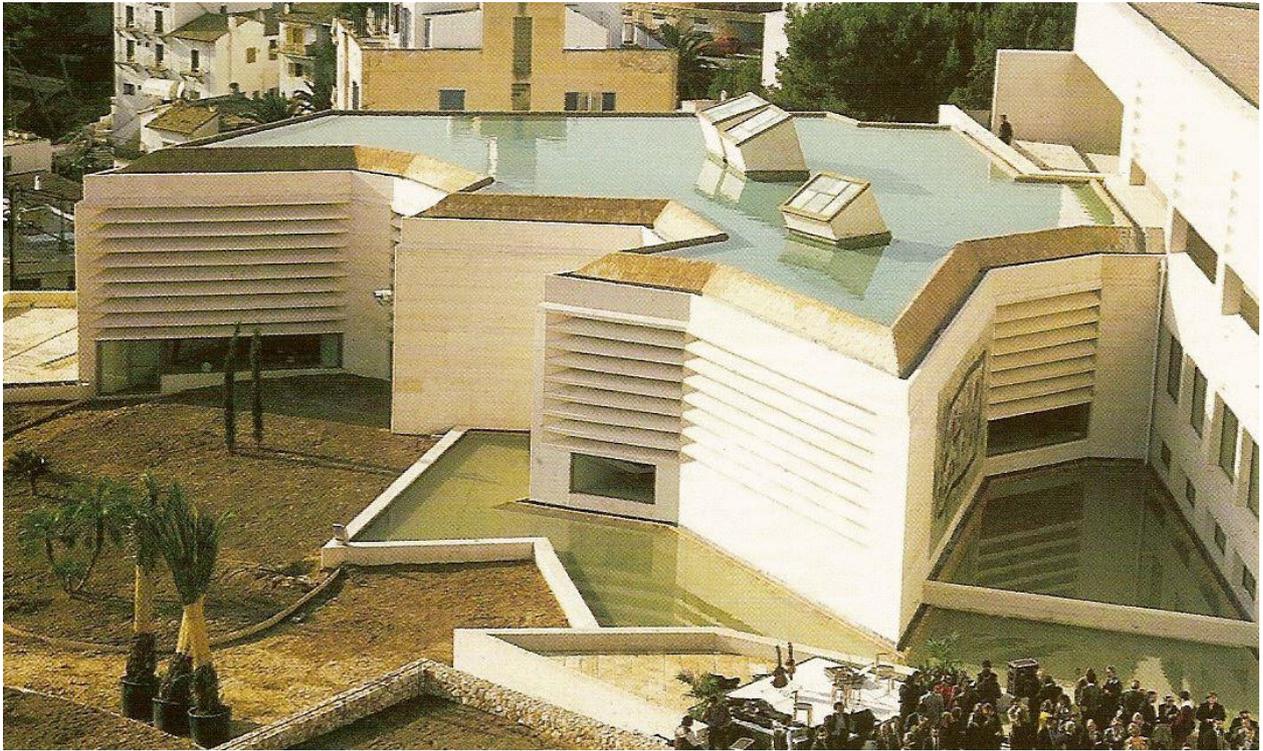


Ilustración 72. Museo Fundació Pilar i Joan Miró en Mallorca. Edificio Moneo

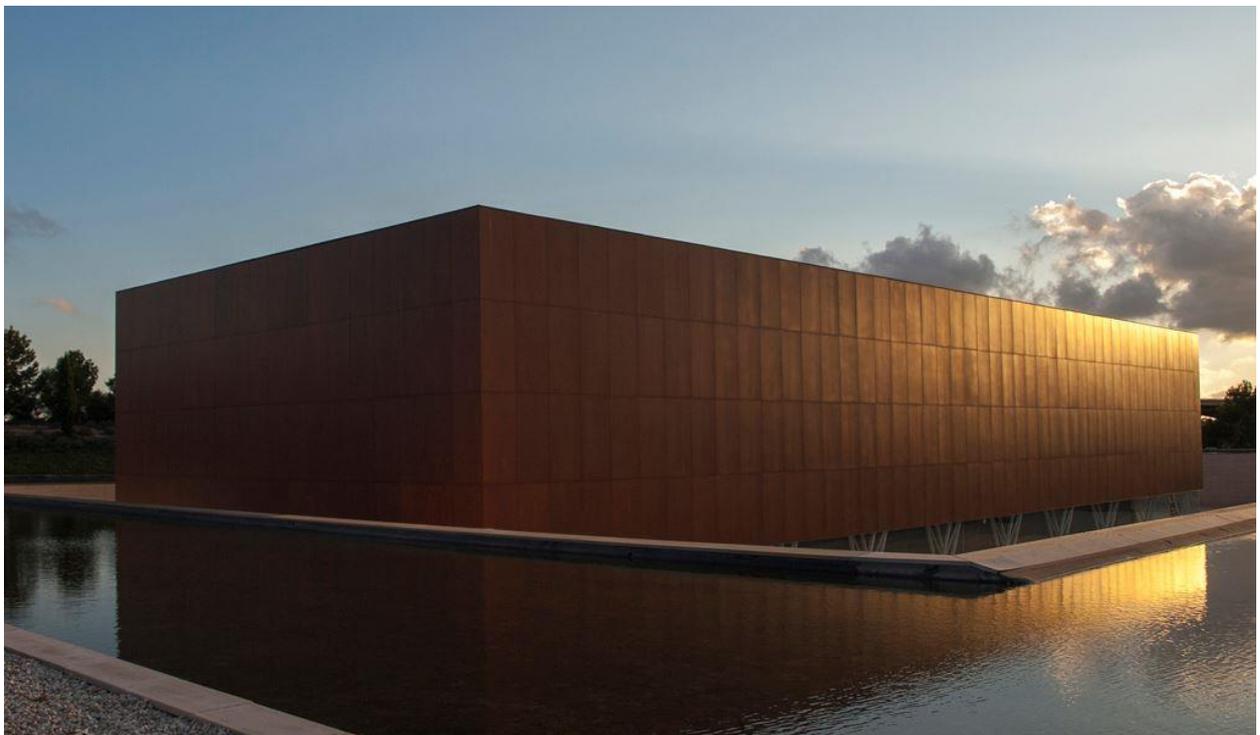


Ilustración 73. MUA (Museo de la Universidad de Alicante). Alfredo Paya Benedito, 1999

9. CONCLUSIÓN

Tras analizar las cubiertas inundadas podemos observar que con su construcción se consiguen una serie de beneficios de carácter medioambiental tanto a escala de usuario como a escala de ciudad que se ven contrapuestos con el impacto económico que supone su ejecución y mantenimiento y con el impacto medioambiental que conlleva el suministro de agua necesario para mantener la lámina a un nivel constante.

A la hora de construir una cubierta inundada se deberán contemplar varios factores, como el clima será un elemento determinante, pues en climas secos y cálidos, debido a la evaporación, el aporte de agua será casi constante para mantener el nivel deseado, llevando a gastos desmesurados de agua y dinero. Serían soluciones más efectivas en climas húmedos con temperaturas moderadas, ya que se reduciría el suministro necesario de agua para mantener el nivel constante, explotando al máximo todos los beneficios que nos aporta este tipo de cubiertas de manera sostenible. Además en zonas con escasez de agua no serían una solución eficiente.

Podría decirse que no son un tipo de cubierta apropiado para edificios de dimensiones reducidas como viviendas, pues sus gastos e impacto medioambiental serían mayores que los beneficios obtenidos, por el contrario sí serían soluciones recomendables para construcciones de cierta envergadura, de carácter público, donde se deje de lado el carácter económico para buscar la estética, el aspecto monumental. Edificios con los que gracias a su carácter público, se podría fomentar el cuidado del Medio Ambiente a través de actividades educativas, potenciando los conceptos de captación y reutilización del agua.

Las grandes ciudades actualmente tienen serios problemas de contaminación, cuyo impacto podría reducirse con la proliferación de este tipo de cubiertas.

Como apunte final, estas cubiertas surgieron como solución a láminas impermeables que por sí mismas se deterioraban rápidamente al estar a la intemperie, pero con el tiempo estos materiales han ido evolucionando hasta conseguir soluciones con mejores características y con una vida útil mucho más larga, llevando a ser "innecesaria" esa lámina de agua que las protegía.

Todo arquitecto debe valorar, junto con los factores comentados anteriormente y otros derivados del proyecto, si una cubierta inundada es la solución apropiada para su edificio, teniendo muy en cuenta que exigen, dadas las condiciones a las que están sometidas constantemente, una ejecución constructiva muy rigurosa desde la fase de diseño hasta la fase de ejecución, utilizando materiales de calidad con el fin de conseguir soluciones que ofrezcan grandes garantías de seguridad sobre todo frente a estanqueidad, puesto que cualquier patología en este tipo de cubiertas deriva rápidamente en filtraciones de agua y por lo tanto en humedades. Además se deberá tener en cuenta que exigen un determinado mantenimiento, que va ligado a sobrecostes.

10. BIBLIOGRAFÍA

ALONSO PEREIRA, J. R. (2005). *Introducción a la historia de la arquitectura. De los orígenes al siglo XXI*. Barcelona: Editorial Reverté.

Ayyoob, S., Yoshiki, Y. (2015). "Roof ponds as passive heating and cooling systems: A systematic review" en *Applied Energy*. Volumen 160, 15 Diciembre 2015, páginas 336-357

BLANCO, F. *Historia y evolución de las cubiertas*.
<<http://www.indifer.com/lacasaporeltejado/2012/09/historia-y-evolucion-de-las-cubiertas-introduccion/>> [Consulta: 2//10/2017].

BRITTO CORREA, C. (2001). *Análisis de la viabilidad y comportamiento energético de la cubierta plana ecológica*. Tesis doctoral. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

BRIZ, J. (2004). *Naturación Urbana: Cubiertas ecológicas y mejora Medioambiental*. España: Grupo Mundi-Prensa.

CÁTEDRA DE CONSTRUCCIÓN 2. (2015). *Cubiertas tecnológicas*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

CRESPO CABILLO, I. (2005). *Control gráfico de formas y superficies de transición*. Tesis doctoral. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.

CYPE Ingenieros, S.A. *Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción*.
<<http://www.generadordeprecios.info>> [Consulta: 3 de octubre de 2017].

DE GARRIDO, L. (2014). *Arquitectura Bioclimática Extrema*. Barcelona: Monsa

ENRIQUE GONZALO, G. (2004). *Manual de Arquitectura Bioclimática*. Argentina: Nobuko

FRIEDRICH HEGEL, W. (1981). *La Arquitectura*. Editorial Kairós

GARZÓN, B. (2007). *Arquitectura Bioclimática*. Argentina: Nobuko

GRAUSS, R. (2005). *La cubierta plana, un paseo por su historia*. Barcelona: Editorial Texsa.

GARCÍA MONFORT, G. (2016). *Cubiertas vegetales y Eficiencia Energética. Trabajo Final de Grado*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

JARQUE DOLZ, A. (2011). *Análisis y ejecución de las cubiertas planas, tipologías y evolución*. Proyecto Final de Carrera. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. [Consulta: 2 de octubre de 2017].

JUANES ARNAL, R. (2015). *La cubierta inclinada en la arquitectura contemporánea*. Trabajo Final de Grado. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

KROLL, L., SOLANAS, T., SMITHSON, S., CIRUGEDA, S., MGAarquitectos, RUEDA, S., DE LUXÁN, M., SERRA, F., YANEVA, A., INTEMPER. (2006). "Arquitectura y sostenibilidad II". Valencia: Ediciones Generales de la Construcción

Krüger, E., Fernandes, L., Lange, S. "Thermal performance of different configurations of a roof pond-based system for subtropical conditions" en *Applied Energy*. Volumen 107, Octubre de 2016, páginas 90-98

LAUGIER, M-A. *Essai sur l'architecture*. 1753.

LLOYD, K. (2004). *Cobijo*. Tursen-Herman Blume.

<<https://books.google.es/books?id=1OdH77UdjAMC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>>

MAS TOMÁS, A. (2014). *Cubiertas en plano inclinado*. Valencia: Editorial Universidad Politécnica de Valencia.

MAS TOMÁS, A. (2011). *Cubiertas planas sin ventilar*. Valencia: Editorial Universidad Politécnica de Valencia.

Metaportal de Arquitectura, Ingeniería y Construcción Construmática. *Partes de las Cubiertas Planas*.

http://www.construmatica.com/construpedia/Partes_de_las_Cubiertas_Planas#Evacuaci.C3.B3n_del_Agua [Consulta: 3/10/2017].

Metaportal de Arquitectura, Ingeniería y Construcción Construmática. *Tipologías de Cubiertas Planas*.

<http://www.construmatica.com/construpedia/Tipolog%C3%ADas_de_Cubiertas_Planas> [Consulta: 3/10/2017].

Metaportal de Arquitectura, Ingeniería y Construcción Construmática. *Rehabilitación, Mantenimiento y Conservación de Cubiertas: Historia*.

<http://www.construmatica.com/construpedia/Rehabilitaci%C3%B3n,_Mantenimiento_y_Conservaci%C3%B3n_de_Cubiertas:_Historia>

PÉREZ CAMBRA, M. D. M. (2015). *Construcción sostenible de espacio público*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.

Página web del estudio arquitectura AD+. *Cubierta plana vs Cubierta inclinada*.

<<http://www.admasarquitectura.com/cubierta-plana-vs-cubierta-inclinada/>> [Consulta: 4 de octubre de 2017].

Portal Arquitectura técnica. *Arquitectura prehistórica*.

<<http://www.arquitecturatecnica.net/historia/arquitectura-prehistorica.php>> [Consulta: 3/10/2017].

Portal de la historia del arte. *Arte prehelénico*.

<<http://www.arteespana.com/artecretense.htm>> [Consulta: 3 de octubre de 2017].

REVISTA DIGITAL MUY INTERESANTE. *¿Qué es un dolmen?*

<<https://www.muyinteresante.es/cultura/arte-cultura/articulo/ique-es-un-dolmen>> [Consulta: 3/10/2017].

Revista Tectónica (1999). *Cubiertas (I)*. Madrid: ATC Ediciones, S.L.

TEJELA JUEZ, J., NAVAS DELGADO, D., MACHÍN HAMALAINEN, C. (2013). *Rehabilitación, mantenimiento y conservación de cubiertas*. Madrid: Tornapunta Ediciones, S.L.U.

VERA MINGUILLÓN, F X. (2015). *Análisis de la cubierta plana inundada*". Memoria para optar al título de ingeniero constructor. Chile: Facultad de Ingeniería.

VILLARINO OTERO, A., Escuela Politécnica Superior de Ávila. Ingeniería Técnica de Obras Públicas. *Tema 7; materiales bituminosos*. <<http://ocw.usal.es/enseñanzas-tecnicas/ciencia-y-tecnologia-de-los-materiales/contenido/TEMA%207-%20MATERIALES%20BITUMINOSOS.pdf>>

11. ÍNDICE DE IMÁGENES

Ilustración 1. Cueva artificial en Micenas, conocida como Tesoro de Atreo.....8 ALONSO PEREIRA, J. R. (2005). <i>Introducción a la historia de la arquitectura. De los orígenes al siglo XXI</i> . Barcelona: Editorial Reverté.	8
Ilustración 2. La cabaña primitiva, imaginada en el siglo XVIII, sólo diferencia el cerramiento de la estructura, pero sin distinguir entre la estructura portante y la cubierta. 10 ALONSO PEREIRA, J. R. (2005). <i>Introducción a la historia de la arquitectura. De los orígenes al siglo XXI</i> . Barcelona: Editorial Reverté.	10
Ilustración 3. Primeros asentamientos. Castros celtas en Asturias (izquierda) y de Santa Tecla, en Galicia. 10 ALONSO PEREIRA, J. R. (2005). <i>Introducción a la historia de la arquitectura. De los orígenes al siglo XXI</i> . Barcelona: Editorial Reverté.	10
Ilustración 4. Visiones de la cabaña primitiva según Claude Perrault (izquierda) y Viollet (derecha). 11 http://jaumeprat.com/la-cabana-primitiva-y-algunas-derivadas/(izquierda)http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/02.024/780(derecha)	11
Ilustración 5. Círculo megalítico de Stonehenge (Salisbury). 12 ALONSO PEREIRA, J. R. (2005). <i>Introducción a la historia de la arquitectura. De los orígenes al siglo XXI</i> . Barcelona: Editorial Reverté.	12
Ilustración 6. Pintura del siglo XVI de los Jardines Colgantes de Babilonia, Martin Heemskerck. Siglo XVII.. 14 https://es.wikipedia.org/wiki/Jardines_Colgantes_de_Babilonia	14
Ilustración 7. Los Jardines Colgantes de Babilonia según Athanasius Kircker (1602-1680) 14 GRAUSS, R. (2005). <i>La cubierta plana, un paseo por su historia</i> . Barcelona: Editorial Texsa.	14
Ilustración 8. Mercado de Santa Caterina, Barcelona. Enric Miralles..... 16 https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/tag/enric-miralles-benedetta-tagliabue	16
Ilustración 9. Ópera de Sídney. Jørn Utzon. 16 http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/767482/clasicos-de-arquitectura-opera-de-sydney-jorn-utzon	16
Ilustración 10. Tabla de coeficientes parciales de seguridad para las acciones. 17 CTE-DB-SE	17
Ilustración 11. Tabla de Coeficientes de simultaneidad. 18 CTE-DB-SE	18
Ilustración 12. Cita del CTE sobre el grado de impermeabilidad. 19 CTE-DB-HS	19
Ilustración 13. Tabla de transmitancias de elementos..... 19 CTE-DB-HE	19
Ilustración 14. Tabla de valores de aislamiento acústico a ruido aéreo.....20 CTE-DB-HR	20
Ilustración 15. Apartado 11.2 del Artículo 11. Exigencias básicas de seguridad en caso de incendio.20 CTE-DB-SI	20
Ilustración 16. Casa Dom-ino, Le Corbusier, 1914.24 https://elpais.com/ccaa/2014/01/01/quadem/1388603995_156505.html	24
Ilustración 17. Tabla comparativa de precios. Cubierta inclinada VS. Cubierta plana.25 http://www.admasarquitectura.com/cubierta-plana-vs-cubierta-inclinada/	25
Ilustración 18. Detalle constructivo de cubierta mediterránea, fría o "catalana"27 Autor del trabajo	27

Ilustración 19. Detalle constructivo de cubierta caliente convencional.	28
Autor del trabajo	
Ilustración 20. Detalle constructivo de cubierta invertida.	29
Autor del trabajo	
Ilustración 21. Detalle constructivo de cubierta inundada con protección de losa aislante.	30
Autor del trabajo	
Ilustración 22. Detalle constructivo de cubierta invertida con acabado flotante.	31
Autor del trabajo	
Ilustración 23. Detalle constructivo de cubiertas aparcamiento.	32
Autor del trabajo	
Ilustración 24. Detalle constructivo de cubierta autoprotegida no transitable.....	33
Autor del trabajo	
Ilustración 25. Detalle constructivo de cubierta industrial.	34
Autor del trabajo	
Ilustración 26. Detalle constructivo de cubierta invertida con protección de grava.....	35
Autor del trabajo	
Ilustración 27. Detalle constructivo de cubierta ajardinada.	36
Autor del trabajo	
Ilustración 28. Detalle constructivo de cubierta inundada.	37
Autor del trabajo	
Ilustración 29. Láminas bituminosas en las instalaciones del Athletic Club. Lezama.....	43
http://www.soprema.es/es/article/reference/instalaciones-athletic-lezama	
Ilustración 30. Sistema no adherido monocapa.....	47
MAS TOMÁS, A. (2011). <i>Cubiertas planas sin ventilar</i> . Valencia: Editorial Universidad Politécnica de Valencia.	
Ilustración 31. Sistema no adherido bicapa normal.	48
MAS TOMÁS, A. (2011). <i>Cubiertas planas sin ventilar</i> . Valencia: Editorial Universidad Politécnica de Valencia.	
Ilustración 32. Sistema no adherido bicapa a la inglesa.	48
MAS TOMÁS, A. (2011). <i>Cubiertas planas sin ventilar</i> . Valencia: Editorial Universidad Politécnica de Valencia.	
Ilustración 33. Sistema adherido monocapa.....	49
MAS TOMÁS, A. (2011). <i>Cubiertas planas sin ventilar</i> . Valencia: Editorial Universidad Politécnica de Valencia.	
Ilustración 34. Sistema adherido bicapa normal.	50
MAS TOMÁS, A. (2011). <i>Cubiertas planas sin ventilar</i> . Valencia: Editorial Universidad Politécnica de Valencia.	
Ilustración 35. Sistema adherido bicapa a la inglesa.	50
MAS TOMÁS, A. (2011). <i>Cubiertas planas sin ventilar</i> . Valencia: Editorial Universidad Politécnica de Valencia.	
Ilustración 36. Detalle constructivo de cubierta inundada convencional no transitable.	56
Autor del trabajo	
Ilustración 37. Detalle constructivo de cubierta inundada convencional transitable.	57
Autor del trabajo	

Ilustración 38. Detalle tipo de cubierta inundada convencional tecnológica	58
Autor del trabajo	
Ilustración 39. Detalles constructivos de cubierta inundada invertida transitable (izquierda) y de cubierta inundada invertida ecológica (derecha).....	59
Autor del trabajo	
Ilustración 40. Comportamientos de cubierta inundada según diferentes tipos de cobertura y sombras. 62	
Ayyoob, S., Yoshiki, Y. (2015). "Roof ponds as passive heating and cooling systems: A systematic review" en <i>Applied Energy</i> . Volumen 160	
Ilustración 41. Láminas sintéticas blancas.....	63
http://www.soprema.es/es/article/reference/porcelanosa	
Ilustración 42. Proceso de pintado de lámina bituminosa.....	63
http://www.icopal.es/sistemas-de-impermeabilizacion/soluciones-y-productos/1314/cool-paint/	
Ilustración 43. Pruebas con pinturas de diferentes colores sobre láminas bituminosas.	63
http://www.icopal.es/sistemas-de-impermeabilizacion/soluciones-y-productos/1314/cool-paint/	
Ilustración 44. Distrito La Zaidía.....	66
https://maps.google.com/	
Ilustración 45. Barrio de San Antonio	66
https://maps.google.com/	
Ilustración 46. Parcela.....	66
https://maps.google.com/	
Ilustración 47. Cubierta inclinada a intervenir.....	66
https://maps.google.com/	
Ilustración 48. Vista de pájaro desde el Sur.	67
https://maps.google.com/	
Ilustración 49. Vista de pájaro desde el Norte.	67
https://maps.google.com/	
Ilustración 50. Fotografía del edificio a pie de calle.....	67
Autor del trabajo	
Ilustración 51. Planos principales del Colegio Público Max Aub.	68
Autor del trabajo	
Ilustración 52. Dimensiones de planta Colegio Público Max Aub	69
Autor del trabajo	
Ilustración 53. Ubicación de paramentos verticales de la cubierta.....	69
Autor del trabajo	
Ilustración 54. Zoom de la cubierta en la zona del antepecho E: 1/10	70
Autor del trabajo	
Ilustración 55. Sección tipo del edificio. E: 1/50	70
Autor del trabajo	
Ilustración 56. Tabla de transmitancias según elemento constructivo.....	73
CTE-DB-HE	
Ilustración 57. Tabla para el cálculo del espesor del aislante térmico.....	73
Autor del trabajo	
Ilustración 58. Sección constructiva del peto perimetral exterior. Rebosadero. E: 1/10	75
Autor del trabajo	

Ilustración 59. Sección constructiva del peto perimetral interior. E: 1/10.....	76
Autor del trabajo	
Ilustración 60. Sección constructiva por sumidero. E: 1/10	77
Autor del trabajo	
Ilustración 61. Detalle constructivo de junta de dilatación de la cubierta. E: 1/10	78
Autor del trabajo	
Ilustración 62. Secciones tipo del colegio. Cubierta inclinada (arriba) y cubierta plana inundada tipo convencional (abajo). E: 1/20	79
Autor del trabajo	
Ilustración 63. Tubo peine rebosadero.	80
http://www.ibercan.net/1459-tubo-peine-rebosadero-aqua-medic.html	
Ilustración 64. Esquema de rebosadero por tubo.	80
Autor del trabajo	
Ilustración 65. Interruptor de nivel por flotador.	80
https://www.burkert.es/es/type/8181?category=4_2_4	
Ilustración 66. Electroválvula de dos vías.	81
https://www.efacilityparts.com/products/1866?gclid=EAlaIqobChMk_Wus8yf1wIVhxXTCh2FmwsE EAQYAiABEgJQSvD_BwE 131^04	
Ilustración 67. Tabla 4.2.1 del Documento Básico HS. Salubridad.	81
Documento Básico HS. Salubridad.	
Ilustración 68. Sumidero con cierre estanco.....	81
https://www.cainox.com/sumideros-estancos	
Ilustración 69. Elementos del sistema de control de algas mediante ondas ultrasónicas.....	82
https://www.rainbird.es/productos/sistema-de-control-de-algas-acs/sistema-de-control-de-algas-acs	
Ilustración 70. Vista de pájaro desde el Este.	82
https://maps.google.com/	
Ilustración 71. Tabla resumen del Presupuesto.....	823
Autor del trabajo	
Ilustración 72. Museo Fundació Pilar i Joan Miró en Mallorca. Edificio Moneo.....	84
https://i.pinimg.com/originals/1e/b/2/d/1eb2d147bf446ae54bf7fc5d48fa8987.gif	
Ilustración 73. MUA (Museo de la Universidad de Alicante). Alfredo Paya Benedito, 1999	84
https://c1.staticflickr.com/3/2861/11209755674_39dd5cdba9_b.jpg . Diego Escolano.	