

Wind suction resistance of innovative roofing kits based on ceramic tiles. A preliminar technical assessment

Resistencia a la succión del viento de sistemas innovadores de tejados con tejas cerámicas. Evaluación técnica preliminar

EDUARDO LAHOZ RUIZ

Associated Professor. UPM-ETS. Arquitectura. Dpto de Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Madrid, Spain.
eduardo.lahoz@upm.es

DuPitched roof based on tiles avoid wind uplift by providing and adequate mechanically fixing pattern to support. This goal should be achieved according to specifications and zoning maps from the installation standard for ceramic tiles roofs UNE 136020 recognized by Basic Document CTE DB-HS-1 for ceramic tiles roofing. Nevertheless, this Document and DB-SE-AE refers to an updated and different map for the calculation of wind actions for façades. In this incoherent regulation context, new full-dry installed innovative roofing kits require of a preliminary and faster procedure for technical assessment regarding its fitness for use. This scope requires focusing firstly on the most critical requirement, Safety, considering only its wind uplift behaviour. For this purpose, once objectives were defined, the State of the Art analyzed, an experimental study was carried out regarding pull out test of fixing tiles screws to profiles and wind uplift of kit according to EN 14437, completed with worksite inspection. The results lead to the principal conclusion: It was feasible to carry out a preliminary and partial technical evaluation of fitness for use of roofing kits based on the contribution to compliance with the basic safety requirement by determining the resistance to wind suction considering the application of the DB-SE-AE of CTE.

Innovative roofing kit; technical assessment; ceramic tiles; wind uplift

Las cubiertas inclinadas a base de tejas evitan su levantamiento por el viento mediante un adecuado patrón de fijación mecánica a su elemento soporte. Este objetivo se alcanzaría cumpliendo las especificaciones del texto y mapas de datos de la Norma UNE 136020, para montaje de tejados con tejas cerámicas, reconocida por el Documento Básico del CTE DB-HS-1. Sin embargo, este mismo documento considera otros criterios de cálculo y mapas de datos diferentes para fachadas. En este incoherente contexto normativo, nuevos sistemas innovadores de tejados a base de tejas instalados totalmente en seco, requieren de un procedimiento preliminar y rápido para la evaluación técnica de su aptitud de empleo. Este objetivo supone dirigirse en primer lugar hacia la evaluación de la exigencia más crítica, la Seguridad, considerando únicamente el comportamiento frente a la succión del viento del sistema. Para este fin, una vez definidos los objetivos y analizado el estado del conocimiento, se realizó un estudio experimental relativo a la resistencia al arrancamiento del tornillo que fija la teja al rastrel así como del comportamiento del sistema frente a la succión del viento según los procedimientos de la Norma UNE EN 14437, completado con una visita previa de obra. Se concluyó que sí era viable realizar una evaluación técnica preliminar y favorable de la idoneidad de empleo de un sistema innovador de cubiertas, centrándose en la contribución a la Seguridad, considerando la aplicación del CTE-DB-SE-AE.

Sistema innovador de cubierta; evaluación técnica; tejas cerámicas; succión de viento

0. ABBREVIATIONS / ABREVIATURAS:

AISI: American Iron and Steel Institute

CEN TR: Informe Técnico del Comité Europeo de Normalización

CTE DB-HS-1: Documento Básico de Salubridad. Parte 1. Protección frente a la Humedad, del CTE

CTE DB-SE-AE: Documento Básico de Seguridad estructural. Acciones en la Edificación, del CTE.

CTE: Código Técnico de la Edificación.

DIT: Documento de Idoneidad Técnica

DIT plus: Documento de Idoneidad Técnica plus

EN: Norma Europea

NTE-QTT: Norma Tecnológica de edificación. Cubiertas. Tejados de tejas

QR: Carga de rotura

RPC: Reglamento de Productos de Construcción (UE 305/2011)

UNE: Norma española

UNE EN: Norma española versión de una Norma Europea

1. INTRODUCCIÓN

Los tejados a base de tejas cerámicas, son sistemas constructivos conocidos desde tiempos inmemoriales [1], formados por elementos discontinuos de arcilla cocida que se fijan al soporte de acuerdo con un patrón determinado de densidad de fijaciones y que contribuyen a la estanquidad de la cubierta por escorrentía del agua de lluvia gracias, entre otros factores, a la adecuada pendiente del faldón donde se instalan. Satisfacer estas prestaciones, seguridad y habitabilidad, ya las definía hace medio siglo Gerard Blachère como imprescindibles para saber construir [2]. Según la Normativa española, dicha pendiente, quedaría definida por el grado de exposición, (protegida - normal - expuesta) y por la zona de España donde se ubicase la obra. Así se indicaba en 1974 en la Norma Tecnológica de Tejados de tejas NTE-QTT de 1974 [3], pero también en 2004, treinta años después, en la Norma UNE 136020. "Tejas cerámicas. Código de práctica para el diseño y montaje de cubiertas con tejas cerámicas" [4] emitida ese año. Dicha Norma fue posteriormente recogida en el Documento Básico de Salubridad (DB-HS-1), capítulo 1. Protección frente a la Humedad [5], del Código Técnico de la Edificación, del año 2006.

Sin embargo, en el propio DB-HS-1 del CTE, constan criterios diferentes para el diseño de fachadas y cubiertas frente a la acción del viento con presencia de lluvia. Así para, se remite a las especificaciones del Documento Básico de Seguridad Estructural. Acciones en la Edificación (en adelante DB SE AE) [6], mientras que en el caso de las cubiertas, serían en principio únicamente aplicables para el diseño de los elementos estructurales de las mismas, lo que parece que constituya una incoherencia.

En este contexto, han aparecido nuevas demandas para los sistemas de tejados a base de tejas cerámicas tales como una mayor facilidad y rapidez de puesta en obra (por ejemplo mediante instalación en seco de tejas sin mortero de cemento), o nuevas pautas de diseño arquitectónico de la envolvente (por ejemplo basadas en cubiertas inclinadas de baja

pendiente). Dichas demandas han empezado a ser respondidas desde la industria, mediante soluciones innovadoras. Ahora bien, si las Normas citadas no cubren estas demandas ¿cómo se puede saber si son seguros o bien si cumplirán con el CTE? De acuerdo con el artículo 5.2.5 de la parte primera del CTE, serán conformes con el CTE los productos, equipos y sistemas innovadores que demuestren el cumplimiento de las exigencias básicas aplicables mediante una evaluación técnica favorable de su idoneidad de empleo.

Un sistema constructivo de tejados formado por tejas cerámicas, se considera innovador, en el marco de la evaluación técnica de productos de construcción, si el sistema está total o parcialmente fuera de cualquiera de los ámbitos de aplicación de las correspondiente Normas de producto y/o de puesta en obra.

El Documento de Idoneidad Técnica DIT plus [7], es un documento que recoge la evaluación técnica voluntaria y favorable de la idoneidad de empleo realizada por el IETcc-CSIC, específica para productos o sistemas constructivos innovadores con marcado CE válido y vigente, sobre aspectos no cubiertos por dicho marcado CE (véase Figura 1) de acuerdo con el Reglamento de Productos de Construcción, en adelante RPC [8]. Este es el caso de las nuevas demandas antes citadas para los tejados a base de tejas cerámicas cubiertas por la Norma europea armonizada UNE-EN 1304:2014. Tejas y piezas auxiliares de arcilla cocida. Definiciones y especificaciones de producto [9].

En este escenario, se consideró como hipótesis de partida, que sí sería posible realizar una evaluación técnica preliminar de la aptitud de empleo para un ejemplo-tipo de sistema innovador de tejado a base de tejas cerámicas considerando como prestación crítica a evaluar en primer lugar, la adecuada resistencia frente a la succión del viento, para contribuir al cumplimiento de la exigencia básica de Seguridad. Finalmente, se reseña que el objeto de la investigación, se considera de interés general por la posible influencia que tendría a la hora de revisar la Normativa aplicable.

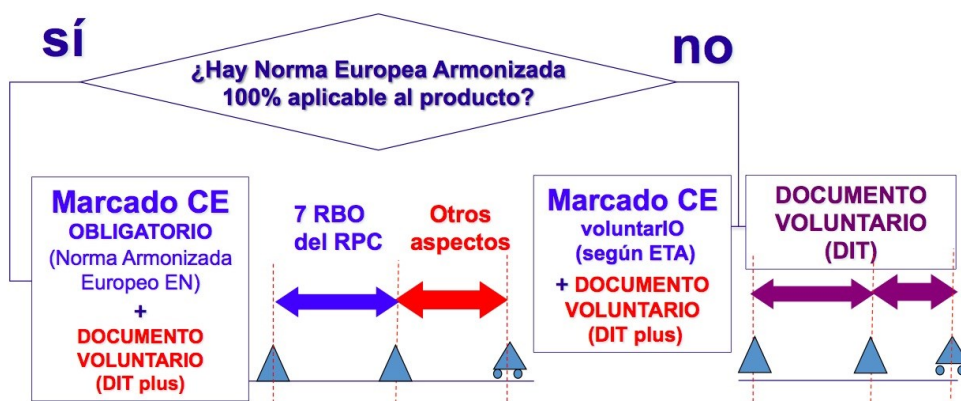


Figura 1: Diagrama de relaciones entre Marcados CE, Norma Armonizada, ETE, DIT y DIT plus

2. METODOLOGÍA

La metodología empleada para la investigación conducente a una evaluación técnica preliminar de idoneidad de empleo, siguió las etapas que se enumeran a continuación:

- ◆ Definición de, objetivos, hipótesis y objeto del estudio
- ◆ Análisis del Estado del Arte
- ◆ Estudio de campo
- ◆ Estudio experimental

2.1. DEFINICIÓN DE OBJETIVOS Y DEL OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN

El objetivo de la investigación era demostrar la hipótesis planteada, es decir la viabilidad de aplicar el ensayo definido en la Norma UNE EN 14437:2004 para una evaluación técnica preliminar de la idoneidad de empleo de un sistema innovador de tejados con tejas cerámicas. Y además, establecer en base a los resultados obtenidos, las correspondientes conclusiones favorables o no acerca de su idoneidad técnica.

Para el objeto de la investigación se definió un ejemplo tipo de sistema constructivo de tejados a base de tejas cerámicas, previsto para la construcción en seco de cubiertas inclinadas, que puede presentar los siguientes componentes principales (véase Fig.2):

- ◆ Tejas y piezas auxiliares cerámicas.
- ◆ Subestructura a base de rastreles metálicos.

- ◆ Placa prefabricada de aislamiento térmico.
- ◆ Lámina opcional de impermeabilización complementaria.

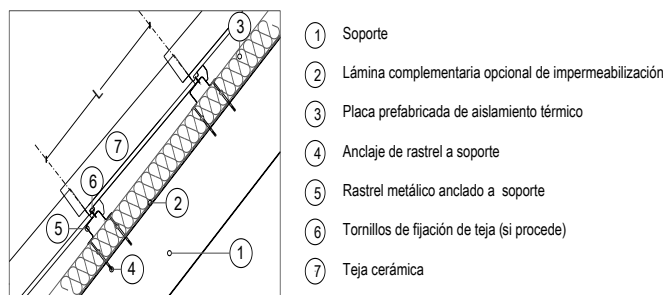


Figura 2: Ejemplo de configuración de un sistema innovador para tejados de montaje en seco

Para su definición, el sistema presenta varias opciones de configuración, diferenciadas entre sí por las variables indicadas en la Tabla 1, como el grado único de estanquidad (en función de la pendiente mínima de la cubierta según Tabla 2.1 del DB-HS-1), las luces entre rastreles, los tipos de teja y de juntas admisibles, para varios modelos de tejas cerámicas diferentes (mixta de doble encaje, marsellesa y plana).

Según la Norma UNE 136020 apdo. 6.1 las tres zonas consideradas responden a criterios de altitud, fuerza de los vientos dominantes, índices pluviométricos y la frecuencia de las tormentas. Además establece tres posibles situaciones complementarias locales para cada cubierta:

Situación protegida: Hondonada rodeada de colinas que la protegen de los vientos dominantes

Situación normal: Llano o meseta con desniveles poco importantes

Criterios UNE 136020					CTE DB-HS-1
Tipo de teja	Longitud del faldón	Zona	Situación	Pendiente mínima	Pendiente mínima
Mixta de doble encaje	≤ 6,5 m	1	Protegida	14 ° (25 %)	17 ° (30 %)
			Normal	14 ° (25 %)	(situación normal, situación climática desfavorable)
			Expuesta	18,5 ° (33 %)	
		2	Protegida	14 ° (25 %)	
			Normal	15,5 ° (27 %)	
			Expuesta	20,5 ° (37 %)	
		3	Protegida	14 ° (25 %)	
			Normal	17 ° (30 %)	
			Expuesta	22 ° (40 %)	
Marsellesa	≤ 6,5 m	1 - 3	Protegida	19,5 ° (35%)	22° (40 %) (situación normal, situación climática desfavorable)
			Normal	22 ° (40%)	
			Expuesta	31 ° (60%)	
Plana con encaje	≤ 6,5 m	1 - 3	Protegida	24,5 ° (45%)	26.5 ° (50%)(situación normal, situación climática desfavorable)
			Normal	26.5 ° (50%)	
			Expuesta	33 ° (65%)	

Tabla 1: Variables para el diseño preliminar del sistema de tejados

Situación expuesta: Zonas fuertemente azotadas por el viento, litoral hasta 5 km de la costa, islas o penínsulas estrechas, estuarios o bahías encajonadas, valles estrechos, montañas aisladas y puertos de montaña

En este contexto, la configuración con la menor pendiente, supone para un sistema para cubierta inclinada, el escenario más desfavorable tanto desde el punto de vista de la resistencia frente a la succión del viento como en relación con la protección frente a humedad, ya que existen mayores riesgos tanto de levantamiento de las tejas por succión de viento, como de la entrada de agua de lluvia con la presencia del viento (presión contra el faldón).

Todos los tipos de tejas cerámicas indicados (piezas estándar) deben contar con marcado CE conformes con el Anejo ZA de Norma UNE-EN 1304:2014. Tejas y piezas auxiliares de arcilla cocida. Definiciones y especificaciones de producto. Según muestra la Tabla 1, podían ser de tipo mixta, marsellesa o plana, con doble encaje en cabeza y lateral, todas ellas pretaladradas de fábrica para facilitar su fijación mecánica en obra. Otras características físicas se indican en la Tabla 2:

Teja Cerámica					Nº tejas aprox (uds/m ²)
Mixta de doble encaje	454 x 285 [±2%]	≤ 397	Recta	38,9	
Marsellesa	447 x 262 [±2%]	≤ 380	Recta, tresbolillo	43,1	11,5
			Recta, tresbolillo	50,6	11

Tabla 2: Características generales de algunos ejemplos de tejas cerámicas

2.2.1. NORMATIVA

Al contrario que para las fachadas, en el Documento Básico DB-HS-1 del CTE aprobado en 2006 no se asigna para las cubiertas diferentes grados de impermeabilidad en función de las zonas eólicas (Fig.6) ni de las zonas pluviométricas de España. Por el contrario, se define un único grado que, para cubiertas inclinadas, se confía a la prescripción de una pendiente mínima según el tipo de teja, la zona climática (Figura 3) y la situación, considerándose los criterios establecidos en la Norma UNE 136020 y sin referencia alguna al mapa de velocidades de viento del Documento Básico DB-HS-1 que es el mismo indicado en el DB-SE-AE (Figura 4).

Aquí parece que existe una cierta incoherencia en el CTE, al referirse a diferentes mapas con datos de más de 30 años de diferencia, según sea la unidad de obra considerada (fachadas o cubiertas) en relación con la acción del viento. La Norma UNE 136020, especifica diferentes niveles de fijación de las tejas de un faldón, perímetro aparte, denominados A, B, C y D (todas las tejas sueltas excepto perímetro del faldón,

una teja fijada cada cinco, una cada dos, o bien todas las tejas fijadas) según la pendiente del mismo y para los respectivos tipos de teja cerámica (mixtas, marsellesa y plana).



Figura 3: Mapas de España (velocidades de viento): Fuente: CTE DB-HS1 (fachadas) yDB-SE-AE (2006)

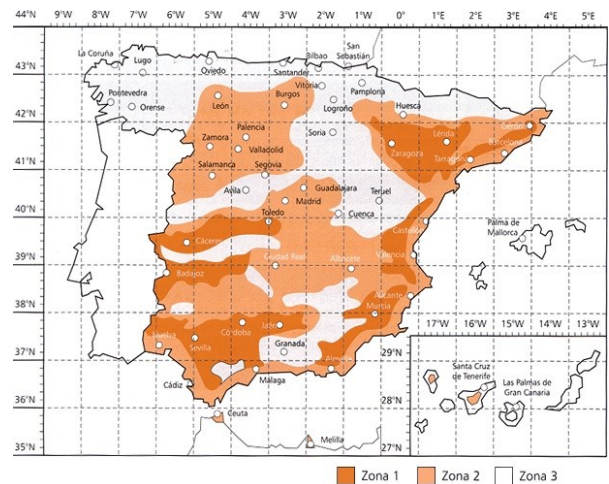


Figura 4: Zonas climáticas. Fuente: NTE QTT (1974), UNE 136020 y CTE DB-HS1 (cubiertas incl.,2006)

Se reseña finalmente que en el DB-SE-AE CTE no se especifican valores específicos a cumplir relativos a la resistencia a la acción del viento por parte de los sistemas de tejados, y sí para los elementos estructurales de las cubiertas. A fin de obtener un orden de magnitud cuantificado para dicha acción, se calculó de acuerdo con el apartado 3.3.2 y el Anexo D, de dicho Documento Básico, el valor de la presión estática q_e según la fórmula q_e = q_b c_e c_p, donde dichos factores y sus valores más desfavorables de acuerdo con el Anexo D y los apartados 3.3.4 y 3.3.5, son respectivamente los indicados a continuación:

q_b : Presión dinámica del viento (0,52 kN/m² para la zona C)

c_e : Coeficiente de exposición, variable con la altura del punto considerado (2,0 para edificios urbanos de hasta 8 plantas, independiente de la altura).

c_p : Coeficiente eólico o de presión, dependiente de la forma y orientación de la superficie respecto al viento, y en su caso, de la situación del punto respecto a los bordes de esa superficie; (-2,9 según Tabla D.5 apartado c, para cubiertas

de pendiente de 30°).

Un valor representativo de la presión estática se obtendría entonces para una cubierta de pendiente 30°, multiplicando los valores arriba indicados, $q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0,52 \text{ kN/m}^2 \cdot 2 \cdot -2,9 = -3\text{kPa}$.

2.2.2. MÉTODOS DE ENSAYO

A comienzos del presente siglo, surgieron a uno y otro lado del Atlántico normas para la caracterización experimental del comportamiento frente al viento de tejados de tejas. En Estados Unidos, se publicaron en 2003 las primeras versiones de las Normas ASTM C158 [11], ASTM C 1569 [12] y ASTM C 1570 [13]. En Europa y en el año 2004, el CEN emitió la Norma EN 14437. En 2005, AENOR publicó la versión española de esta Norma.

Ya Hispalyt "Asociación Española de Fabricantes de Ladrillos y Tejas de Arcilla Cocida" reconocía en su artículo técnico nº 59 [14], el procedimiento de arrancamiento de tejas indicado en la Norma UNE EN 14437:2005 "Determinación de la resistencia al levantamiento de las tejas de arcilla cocida o de hormigón instaladas. Método de ensayo del sistema de tejado" como un método apto para caracterizar el comportamiento frente a la succión del viento de sistemas de montaje en seco para tejados con tejas cerámicas. A tal fin, se indica allí que los elementos fijación deben "sujetar las tejas al soporte, con el fin de evitar que la fuerza de los agentes atmosféricos, o de los animales, provoque su movimiento. El material empleado en la fijación, deberá tener siempre una duración igual a la de los restantes elementos de la cubierta, a fin de evitar el coste de las sustituciones y reparaciones".

Finalmente, conviene recalcar la gran influencia en el comportamiento del sistema de la resistencia al arrancamiento (pull-out) del tornillo respecto del rastrel que se empleara, y/o del posible punzonamiento de la teja, al igual que ocurre en aplacado y sus fijaciones a la subestructura, en un sistema de revestimiento de fachada ventilada sometido a succión.

2.3. VISITA DE OBRA

Como trabajo de campo y tras consultar a un fabricante referente en España sobre obras en marcha o recientemente ejecutadas en zonas de viento más desfavorables y con cubierta inclinada de baja pendiente; su respuesta consideró únicamente la obra indicada a continuación y se procedió a realizar una visita a obra el 29 de marzo de 2019 a fin de verificar si se cumplían o no las especificaciones de dicha Norma. La obra elegida en razón de su ubicación, exposición al viento y estar formada por ocho viviendas pareadas con la misma cubierta, fue terminada en Enero de 2018, y se situaba en Sopelana, (Vizcaya), muy cerca de la costa del Mar Cantábrico, situada en la zona 3 según la Norma UNE 136020, y en la zona C del DB-SE-AE (véase Fig. 3).

Las cubiertas eran a cuatro aguas, una de ellas de muy baja pendiente no cuantificada, mientras que el resto se estimó tendrían una pendiente desconocida pero claramente menor de 45° (100 %), configurada por dos faldones laterales simétricos, orientados a noroeste y sureste aproximadamente. Se instaló teja cerámica plana con un patrón de fijación desconocido (véanse Fig. 5, 6 y 7). En las Tablas 3 y 4 (véase apartado 2.4) se resume el estudio comparativo realizado respecto de la Normativa aplicable y la situación real.

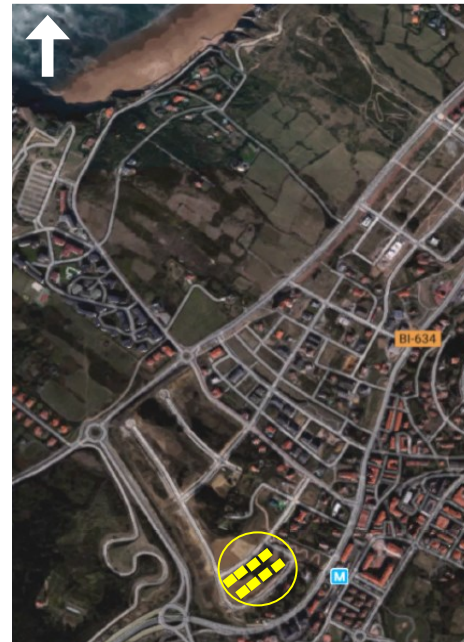


Figura 5: Ubicación (fuente: Google)



Figura 6: Vista desde Noreste (fuente: ELR)



Figura 7: Vista desde Noroeste (fuente: ELR)

2.4. ESTUDIOS EXPERIMENTALES

Para la realización del estudio experimental se consideraron dos características a determinar:

- a. La resistencia al arrancamiento (pull-out) del tornillo respecto del rastrel metálico, considerando las indicaciones del procedimiento AISI S905-13 [10]. Para ello se fijaron sobre muestras de rastrel de 1200 mm de espesor 5 tornillos distanciados 200 mm uno de otro y 100 mm de los bordes, utilizándose a tal fin mordazas y gatos para su anclaje y una máquina universal de ensayos (véanse Fig.8 y 9)

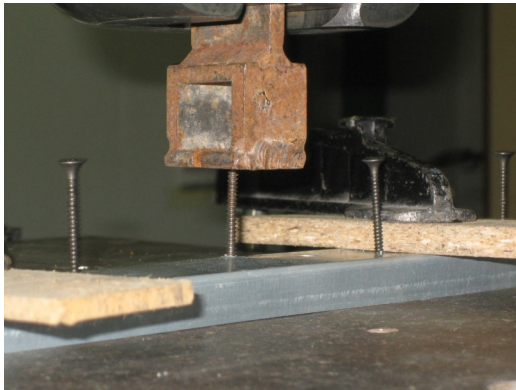


Figura 8: Vista de ensayo de arrancamiento de fijación tornillo-rastrel (fuente: ELR)

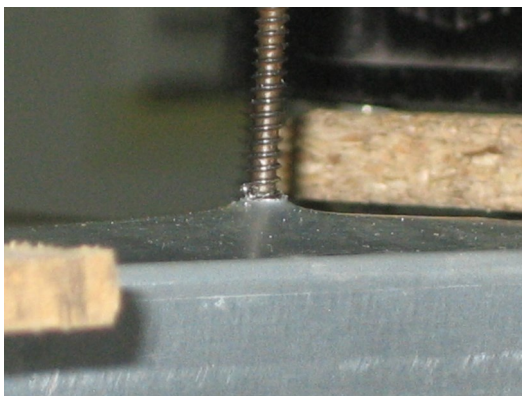


Figura 9: Detalle de ensayo de arrancamiento de fijación tornillo-rastrel (fuente: ELR)

- b. La resistencia a la succión del viento del sistema, de acuerdo con las indicaciones de la Norma UNE EN 14437 [15]. A tal fin se utilizaron, tejas cerámicas mixtas con la máxima luz entre rastreles y menor peso propio, tornillos fosfatados para unión de tejas a rastreles metálicos de chapa plegada de 0,6 mm de espesor de acero galvanizado así como tornillos autorroscantes y autotaladrantes metal-madera separados cada 500 mm de forma alterna para fijación al bastidor de ensayo (véanse Fig.10, 11 y 12). La estructura de soporte estaba formada por tubos de acero sobre la que se han colocado unas viguetas de madera de 10 cm de lado. Sobre estas viguetas se han colocado placas de hormigón prefabricado con el fin de simular el hormigón en la cubierta. Sobre el hormigón se han colocado tablazón de madera para aumentar la superficie de la base soporte (Fig.10). A dicho soporte se fijaron mediante tornillos autorroscantes y autotaladrantes metal madera, rastreles metálicos sobre los que se han fijado las tejas con los tornillos especificados, de acuerdo con tres patrones diferentes de fijación: Todas las tejas fijadas, tejas fijadas

cada dos, y tejas fijadas cada cuatro, así como en el perímetro de la muestra siempre para cada uno de los patrones ensayados.

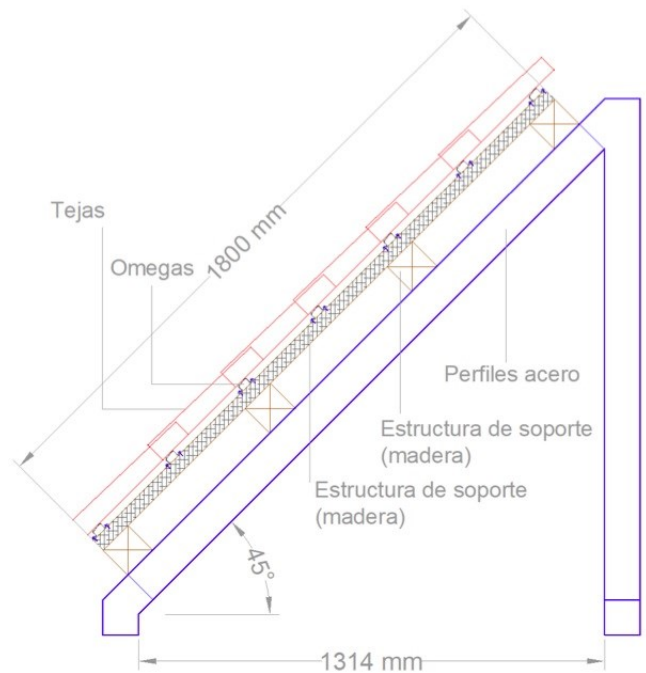


Figura 10: Esquema de bastidor

La estructura de soporte donde se colocan las tejas forma 45° con el plano horizontal. Una vez acondicionada la muestra y preparada las fijaciones a las 16 tejas centrales (véase Figura 11 para ilustrar montaje no terminado), se realizaron tres ensayos de carga hasta rotura sobre 16 tejas colocadas en la cubierta de igual forma a la mostrada en la Figura 12. La forma de colocación era representativa de la colocación real. La dimensión de la cubierta ensayada era de al menos 2,00 x 2,50 , superior al mínimo (1,5x1,5) m. La fuerza se aplicó de forma perpendicular a la cubierta por un sistema de cables tal y como se puede ver en la Figura 12.

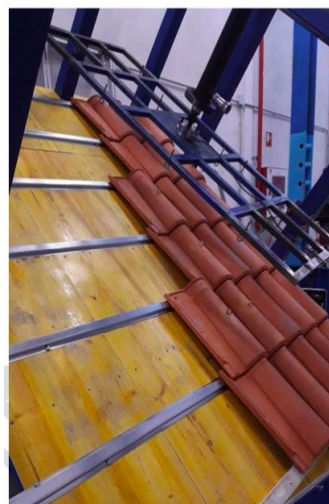


Figura 11: Montaje de maqueta en proceso.

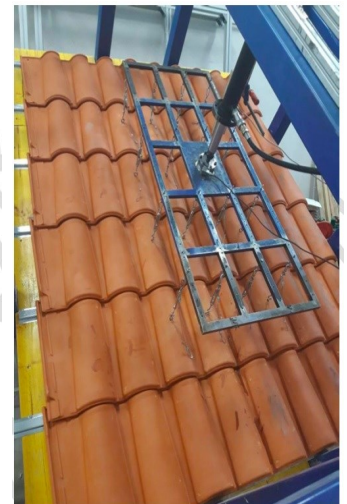


Figura 12: Montaje de maqueta terminado

3. RESULTADOS

3.1. ARRANCAMIENTO DE TORNILLO-RASTREL (CONSIDERANDO PROCEDIMIENTO AISI S905-13.2013).

Componentes		
Tornillo fijación teja y rastrel acero	Resistencia (N) al arrancamiento. (rotura)	336 N (deformación local del perfil)
	Resistencia (N) al punzonamiento. (rotura)	1680 N (deformación local del perfil)

Tabla 3. Resistencias del tornillo de la teja

3.2. LEVANTAMIENTO DE TEJAS

Los resultados obtenidos en los ensayos según la Norma UNE-EN 14437, sobre muestras de tejados a 45° realizados con teja cerámica mixta de menor peso propio y luz entre rastreles de 397 mm y una única fijación por teja) de acuerdo con diversos patrones de montaje, se presentan en la siguiente tabla, acompañado del cálculo establecido para su extrapolación a una pendiente de 30° y el tipo de fallo. (Tablas 4, 5 y 6)

4. CONCLUSIONES

En base al procedimiento propuesto, basado en el estudio de la normativa aplicable, el trabajo de campo mediante visita a

Configuración											Resistencia al viento		
Patrón de montaje											Q _R (N)	Succión (kPa) α:30°	Tipo de fallo
Todas las tejas fijadas											1839	3.79	Levantamiento sin rotura de tejas por arrancamiento parcial de tornillos
	•	•	•	•	•	•	•	•	•	H ₆			
	•	•	•	•	•	•	•	•	•	H ₅			
V	•	•	•	•	•	•	•	•	•	H ₄			
V	•	•	•	•	•	•	•	•	•	H ₃			
	•	•	•	•	•	•	•	•	•	H ₂			
	•	•	•	•	•	•	•	•	•	H ₁			
Tejas fijadas cada 2											1050	2.34	Levantamiento sin rotura de tejas por arrancamiento parcial de tornillos
	•	•	•	•	•	•	•	•	•	H ₆			
	•		•	•	•	•	•		•	H ₅			
V		•	•	•	•		•		•	H ₄			
V	•		•	•	•		•		•	H ₃			
		•	•	•	•		•		•	H ₂			
	•		•		•		•		•	H ₁			
Tejas fijadas cada 4											738	1.60	Levantamiento sin rotura de tejas por arrancamiento parcial de tornillos
	•	•	•	•	•	•	•	•	•	H ₆			
			•	•	•	•	•			H ₅			
V	•		•	•	•		•		•	H ₄			
V			•	•	•		•		•	H ₃			
		•	•	•	•		•		•	H ₂			
	•			•			•		•	H ₁			

Tabla 4. Resistencias de arrancamiento de las tejas

Normativa	Criterio 1	Criterio 2:	Criterio 3:	Criterio 4:	Criterio 5:
	(Zona)	Tipo de situación:	Pendiente mín. según longitud de faldón l _f	Clase de pendiente	Densidad de fijaciones
UNE 136020	Zona 3	Expuesta (ap. 6.1): Zona fuertemente azotada por viento, litoral ≤ 5 km de costa,...	P _{te} ≥ 23,5°- 42,5% (6,5 < l _f < 9,5 m)*	Tipo 2 (25-80%)	Nivel D (todas las tejas fijadas por situación expuesta)
Obra estudiada	Ver Fig.5	Distancia al mar Cantábrico aprox. 1 km	Se considera que estaría en el rango ≥ 23,5°- 42,5%	Tipo 2 (25-80%)	Desconocido

Tabla 5: Estudio comparativo Norma UNE 136020:2004 y situación real

Normativa	Criterio 1 (Zona)	Criterio 2: Presión dinámica	Criterio 3: Coef. exposición	Criterio 4: Coef. eólico	Criterio 5: Presión estática
CTE DB-SE-AE (J 3.3.2)	Zona C (Fig.D.1 Anejo D*)	$q_b=0,52 \text{ kN/m}^2$ (período retorno 50 años)	Grado I (Borde del mar) Según Tabla D.2: $k=0.156$, $L= 0,003$, $Z=1$ $F= k * \ln (\text{máx } Z/L)=1,26$ $c_e=F*(F+7k)= 2,98$	(Tabla D.6. opc. b): $\Theta=45^\circ$, $\alpha=15^\circ$, $A \geq 10\text{m}^2$ Zona F $c_p=-1,3$	$q_e = q_b \times c_e \times c_p =$ $q_e = -2,01 \text{ kPa}$
UNE EN 14437	--	--	--	--	Cumple si patrón tejas fijadas 1/2: 2,37 kPa

Tabla 6: Estudio comparativo CTE-DB-SE-AE y UNE EN 14437 (Ensayos y cálculos)

obra y los ensayos realizados en laboratorio, se presentan a continuación las conclusiones obtenidas:

Se confirma la hipótesis de la investigación: Es viable realizar una evaluación técnica aunque preliminar y parcial, de la idoneidad de empleo del sistema basándose en la contribución al cumplimiento de la exigencia básica de seguridad mediante la determinación de la resistencia frente a la succión del viento en base a la Norma UNE EN 14437 y considerando la aplicación del Documento Básico de Seguridad Estructural sobre Acciones en la Edificación DB-SE-AE del CTE.

El comportamiento ante la succión del viento para un sistema constructivo de tejados innovador, se considera favorable en base a los ensayos realizados de arrancamiento de tornillos de tejas sobre rastrel así como sobre las maquetas de tejados, ya que al menos una de las configuraciones ensayadas, aquella con todas las tejas fijadas se obtuvo un valor tras cálculo de $-3,79 \text{ kPa}$, que permite satisfacer el valor máximo de succión calculado según el DB-SE-AE (-3 kPa).

Como futura línea de investigación sobre este tipo de sistemas constructivos, tanto con tejas cerámicas como de hormigón, se debería realizar la evaluación técnica de la contribución al cumplimiento de la protección frente a la humedad mediante ensayos realizados sobre el sistema en base a un procedimiento experimental adecuado para determinar la estanquidad del mismo frente a la acción conjunta de la lluvia y la presión del viento, según las diferentes pendientes mínimas consideradas para cada tipo de teja. A tal efecto, se propone seguir las directrices establecidas por Marín y Sánchez Rojas [16] en el Informe Técnico del CEN TR 15607:2012. Hygrothermal performance of buildings – Resistance to wind-driven rain of roof coverings with discontinuously laid small elements – Test methods [13]

Se propone asimismo como futura línea de investigación en el ámbito normativo, estudiar la posible revisión del Documento Básico de Salubridad DB-HS-1 y de la Norma UNE 136020 incorporando para los sistemas tradicionales o innovadores de cubiertas a base de tejas una evaluación en base al mencionado Informe Técnico del CEN TR 15607.2012 para determinar así de forma experimental el grado único de impermeabilidad.

5. REFERENCIAS

- [1] Daniel J.Smith et al. "An Historical perspective on the wind resistance of clay and concrete roofing tiles. Interface. November 2014.
- [2] Gerard Blachère. Saber construir: Habilidad, durabilidad, economía de los edificios Editores Técnicos Asociados. Barcelona. 1967. Traducido del Francés por Buenaventura Bassegoda Muste. Depósito legal: B 35417-1966.
- [3] Norma Tecnológica de la Edificación NTE-QTT Cubiertas de tejados de tejas (1974)
- [4] UNE 136020: 2004. Código de práctica para el diseño y montaje de cubiertas con tejas cerámicas
- [5] CTE. Documento Básico de Salubridad. 2006. Disponible en web: <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/salubridad/DcmHS.pdf>
- [6] CTE. Documento Básico de Seguridad Estructural. 2006. Acciones en la Edificación". 2006: <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE-AE.pdf>
- [7] <http://dit.ietcc.csic.es>. IETcc-CSIC. 2018.
- [8] Regulation (EU) NO 305/2011 of the European Parliament and of the council of laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC. OJEU L/88, 4.4.2011, pages 5 - 43.
- [9] UNE EN 1304: 2014. Tejas y piezas auxiliares de arcilla cocida. Definiciones y especificaciones de producto.
- [10] AISI S905-13.2013. Test Standard for Cold-Formed –Steel Connections. American Iron and Steel Institute

- [11] ASTM C1568 - 08(2013) Standard Test Method for Wind Resistance of Concrete and Clay Roof Tiles (Mechanical Uplift Resistance Method).
- [12] ASTM C1569 - 03(2016) Standard Test Method for Wind Resistance of Concrete and Clay Roof Tiles (Wind Tunnel Method)
- [13] ASTM C1570 - 03(2016) Standard Test Method for Wind Resistance of Concrete and Clay Roof Tiles (Air Permeability Method)
- [14] E. Santiago y E. Gracia (Hispalyt). "Ventajas de la cubierta en seco con teja cerámica". Revista conarquitectura nº 59. Julio 2016.
- [15] UNE EN 14437:2012. Determinación de la resistencia al levantamiento de las tejas de arcilla cocida o de hormigón instaladas. Método de ensayo del sistema de tejado.
- [16] F. Marín Andrés y M^a I. Sánchez Rojas. "Método de ensayo normalizado del comportamiento de los tejados a la acción combinada de la lluvia y del viento". Materiales de construcción. Vol. 58,291,11-117. Jul-Sept. 2008.
- [17] CEN TR 15607:2012. Hygrothermal performance of buildings – Resistance to wind-driven rain of roof coverings with discontinuously laid small elements – Test methods.

WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at bm.edificacion@upm.es. Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.