UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE EDIFICACIÓN

**CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE FACHADA VENTILADA
CON FIJACIONES OCULTAS MECÁNICO ADHESIVAS EN
PANELES COMPUESTOS DE ALUMINIO**

EDUARDO LAHOZ RUIZ

ARQUITECTO

2016

**DEPARTAMENTO DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN
EDIFICACIÓN
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE EDIFICACIÓN DE MADRID
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**

**CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE FACHADA
VENTILADA CON FIJACIONES OCULTAS MECÁNICO
ADHESIVAS EN PANELES COMPUESTOS DE
ALUMINIO**

**EDUARDO LAHOZ RUIZ
ARQUITECTO**

**DIRECTORES DE LA TESIS:
TOMAS AMAT RUEDA. DOCTOR INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y
PUERTOS
FRANCISCO HERNÁNDEZ DE OLIVARES. DOCTOR EN CC. FÍSICAS**

2016

Tribunal nombrado por el Mgfc. y Excmo. Sr. Rector de la Universidad Politécnica de Madrid, el día 28 de Septiembre de 2016:

Presidente: D^a. Mercedes del Río Merino

Vocal 1: D. Antonio Blázquez Morales

Vocal 2: D. David Jesús Revuelta Crespo

Vocal 3: D^a. Marta Conde García

Secretario: D. Mariano González Cortina

Realizado el acto de lectura y defensa de la Tesis
el día 21 de Diciembre de 2016.

EL PRESIDENTE

LOS VOCALES

EL SECRETARIO

AGRADECIMIENTOS

Esta Tesis no hubiera llegado a buen puerto sin el apoyo de mucha gente, pero en especial he de agradecer el apoyo y cariño de mi familia, padres y hermanas, de Mónica, y de mis compañeros de trabajo en la Unidad de Evaluación Técnica de Productos Innovadores de Construcción del Instituto de Ciencias de Construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC): Francesca Aulicino, Iván Tejero, Marina Ruiz, Javier Fernández, Francisco Serrano y Fernando Mondéjar y especialmente a Antonio Blázquez, Jefe de la Unidad, sin cuyo soporte en los últimos momentos no hubiera sido posible.

Asimismo, agradezco a Maria del Mar Alonso, Maria Teresa Blanco, y todo el personal de biblioteca su ayuda en los momentos puntuales, breves pero no por ello menos difíciles

Por supuesto a mis directores de tesis, Francisco Hernández de Olivares y Tomás Amat Rueda, que no cesaron en sus ánimos.

INDICE

RESUMEN	XV
ABSTRACT	XVII
INTRODUCCIÓN	1
HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	5
PLAN DE INVESTIGACIÓN	7
 PARTE 1: EL ESTADO DEL ARTE	 11
 1.1. LA FACHADA VENTILADA	 11
1.1.1. Innovación en fachadas: La especialización funcional	11
1.1.2. Definición y composición de la fachada ventilada	14
1.1.3. Tipos de fachada ventilada según la unión aplacado – subestructura	15
1.1.4. Uniones adhesivas	21
 1.2. SISTEMAS DE REVESTIMIENTO DE FACHADA VENTILADA CON PCA	 26
1.2.1. Antecedentes	26
1.2.2. Definición y composición de paneles composite de aluminio (PCA)	30
1.2.2.1. Chapas de aluminio lacadas en continuo	30
1.2.2.2. Núcleo de polietileno de baja densidad con o sin componentes minerales	36
1.2.2.3. Film adhesivo	37
1.2.2.4. Film de protección	37
1.2.3. Composición de sistemas de revestimiento de f. ventilada con PCA	38
1.2.3.1. Sistema de revestimiento con placas remachadas	39
1.2.3.2. Sistema de revestimiento con bandejas colgadas	41
1.2.3.2.1. Sistema estándar	41
1.2.3.2.2. Sistema con perfiles rigidizadores adheridos (BPA)	44
1.2.3.3. Sistema de bandejas sobrepuestas	46
1.2.3.4. Sistema de revestimiento con placas adheridas	47
1.2.3.5. Sistemas a base de cinta adhesiva permanente	48

1.3. EVALUACIÓN TÉCNICA DE SISTEMAS DE FACHADA VENTILADA CON PCA 52

1.3.1. La evaluación técnica de la innovación	52
1.3.1.1. En el ámbito del DIT	52
1.3.1.2. En el ámbito de la DPC y el DITE	53
1.3.1.3. En el ámbito de la Reglamentación española (CTE)	55
1.3.1.4. En el ámbito del Reglamento UE 305/2011	56
1.3.2. La evaluación técnica de sistemas de fachada ventilada. Antecedentes	57
1.3.2.1. En el ámbito del DIT. Ejemplos	57
1.3.2.2. En el ámbito de la DPC y el DITE	65
1.3.2.3. En el ámbito de la ETE y el Reglamento UE 305/2011	67

PARTE 2: METODOLOGÍA Y RESULTADOS 71

2.1. JUSTIFICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA 71

2.2. EVALUACIÓN DE LA REACCIÓN AL FUEGO 78

2.2.1. Análisis de la Reglamentación aplicable y de resultados previos	78
2.2.1.1. El RBO 2 y el DB-SI-CTE: Seguridad en caso de incendio	78
2.2.1.2. Ensayo de inflamabilidad (UNE EN ISO 11925-2)	81
2.2.1.3. Ensayo SBI (UNE EN 13823)	81
2.2.1.4. Análisis de clasificaciones existentes (UNE EN 13501-1)	83
2.2.1.5. La degradación térmica del polietileno de baja densidad	84
2.2.2. Estudio experimental	85
2.2.2.1. Comportamiento térmico de los núcleos de PCA y del cordón adhesivo de los perfiles. Composición de los núcleos de PCA	85
2.2.2.2. Ensayo SBI sobre montaje en condiciones de uso final	86
2.2.3. Estudio de campo	88
2.2.4. Discusión de resultados	91
2.2.4.1. Comportamiento térmico de los núcleos de PCA y del cordón adhesivo de los perfiles. Composición de núcleos de PCA	91
2.2.4.2. Ensayo SBI sobre kit de revestimiento con bandejas PE-1	98
2.2.4.3. Correlación con el estudio de campo	101

2.3	EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA FRENTE A LA SUCCIÓN DEL VIENTO	102
2.3.1.	Análisis de la Reglamentación aplicable	102
2.3.1.1.	El RBO 4: La seguridad de utilización	102
2.3.1.2.	El Eurocódigo 1 y el DB-SE-AE - CTE	104
2.3.1.3.	El Plan Nacional de predicción y vigilancia de fenómenos meteorológicos adversos	107
2.3.1.4.	El Reglamento del seguro de riesgos extraordinarios	108
2.3.2.	Estudio experimental	109
2.3.2.1.	Resistencia a tracción de núcleo de PCA	110
2.3.2.2.	Rigidez a flexión del panel	110
2.3.2.3.	Resistencia a tracción de la entalladura con/sin refuerzo	113
2.3.2.4.	Resistencia a tracción de la unión adhesiva	114
2.3.2.5.	Resistencia a la succión del viento de BPA	117
2.3.2.5.1.	Diseño de la muestra	117
2.3.2.5.2.	Montaje de la muestra	120
2.3.2.6.	Resistencia a la succión del viento de sistema completo	123
2.3.2.6.1.	Diseño de la muestra	123
2.3.2.6.2.	Cálculos	124
2.3.3.	Estudio de campo	127
2.3.3.1.	Toma de datos	127
2.3.3.2.	Cálculos	132
2.3.4.	Discusión de resultados	136
2.3.4.1.	Resistencia a tracción de núcleos	136
2.3.4.2.	Rigidez a flexión del panel	137
2.3.4.3.	Resistencia a tracción de la entalladura con/sin refuerzo	138
2.3.4.4.	Resistencia a tracción de la unión adhesiva	142
2.3.4.5.	Resistencia a la succión del viento de BPA	142
2.3.4.6.	Resistencia a la succión del viento del sistema completo	153
2.3.4.7.	Correlación con el estudio de campo	154
2.4	EVALUACIÓN DE LA DURABILIDAD	155
2.4.1.	Análisis de la reglamentación aplicable y de resultados previos	155
2.4.1.1.	En el ámbito de la UEAtc	155
2.4.1.1.1.	Consideraciones generales	155
2.4.1.1.2.	Análisis de resultados previos	157

2.4.1.2. En el ámbito de la DPC y el RPC	163
2.4.1.2.1. Consideraciones generales	163
2.4.1.2.2. Análisis de resultados previos	165
2.4.2. Propuesta de metodología	166
2.4.2.1. Definición de hipótesis y objetivos. (Etapa 1)	168
2.4.2.2. Caracterización de objeto de estudio y de las condiciones del uso previsto. (Etapa 2)	168
2.4.2.3. Identificación de agentes del deterioro. (Etapa 3)	168
2.4.2.4. Identificación de mecanismos del deterioro. (Etapa 4)	169
2.4.2.5. Identificación de indicadores del deterioro. (Etapa 5)	170
2.4.3. Estudio experimental y estudio de campo. (Etapa 6, fase 1)	171
2.4.3.1. Estudio experimental	171
2.4.3.2. Estudio de campo	171
2.4.3.2.1. Visita y toma de muestras en fachada “a”	172
2.4.3.2.2. Visita y toma de muestras en fachada “b”	174
2.4.4. Discusión y correlación de resultados (Etapas 7-8, fase 1)	176
2.4.5. Estudio experimental y estudio de campo. (Etapa 6, fase 2)	178
2.4.5.1. Estudio experimental	178
2.4.5.2. Estudio de campo	178
2.4.5.2.1. Visita a fachada “c”	178
2.4.5.2.2. Visita a fachada “d”	181
2.4.6. Discusión y correlación de resultados (Etapas 7-8, fase 2)	183
2.4.6.1. Deterioro de resistencia a la delaminación tras envejecimiento	183
2.4.6.2. Deterioro de resistencia de entalladura tras fatiga	184
2.4.6.3. Deterioro de resistencia del sub. adhesivo tras intemperie	185

PARTE 3. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

	189
3.1. CONCLUSIONES	189
3.1.1. Conclusiones generales	189
3.1.2. Conclusiones particulares	190
3.1.2.1. En relación con la reacción al fuego	190
3.1.2.2. En relación con la resistencia frente a la succión del viento	192
3.1.2.3. En relación con la durabilidad	193

3.2. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	194
3.2.1 Pre-assessment / Preevaluación DIT	194
3.2.2 En el ámbito del Reglamento UE 305/2011	195
3.2.3. Aplicación de la metodología a otros aplacados	195
3.2.4. En relación con la reacción al fuego	196
3.2.5. En relación con la resistencia frente a la succión del viento	196
3.2.6 En relación con la durabilidad	197
 PARTE 4: GLOSARIO Y BIBLIOGRAFÍA	 201
4.1 GLOSARIO	201
4.2. BIBLIOGRAFÍA	205
 PARTE 5: ANEJOS	 213
5.1. CONTRIBUCIONES AL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO	213
5.1.1. Capítulo del libro: “Construction and Building Research” asociado al panel aceptado en el Congreso internacional COINVEDI II (2012)	215
5.1.2 Artículo publicado en revista JCR. Informes de la construcción (2016)	227
 5.2 CONTRIBUCIONES A LA EVALUACIÓN DE LA INNOVACIÓN	 241
5.2.1. EOTA Technical Report 038 (2012)	243
5.2.2. DIT 353-R (2008)	267
5.2.3. DIT 405R (2008)	293
5.2.4. DIT 553A-12 (2012)	319

RESUMEN

Esta Tesis se ha desarrollado en el ámbito de la evaluación técnica de los sistemas de revestimiento de fachada ventilada a base de bandejas con perfiles adheridos (BPA) procedentes de paneles compuestos de aluminio (PCA), que son paneles sándwich delgados (4 mm de espesor) y ligeros, a base de láminas de aluminio aleado lacado y núcleo no aislante de polietileno de baja densidad, con o sin retardantes de llama, (conocidos como “FR” y “PE”). La investigación ha surgido porque han ocurrido a lo largo de los últimos años en España algunos incidentes que pueden haber sembrado dudas acerca de su fiabilidad. En base a estos precedentes se ha formulado la hipótesis general de que es posible caracterizar la contribución al cumplimiento de los Requisitos Básicos de las Obras nº 2, nº 4 y la durabilidad, considerando la reacción al fuego, la resistencia frente a la succión del viento y el posible deterioro del PCA y de la BPA con el paso del tiempo. Se ha propuesto esta metodología:

1. Análisis de la Reglamentación aplicable y de resultados de ensayo previos.
2. Estudios experimentales basados en ensayos de laboratorio:
 - RBO 2: Composición y comportamiento térmico de los núcleos y del adhesivo, inflamabilidad y exposición frente a un único objeto ardiendo.
 - RBO 4: Tracción de láminas y núcleo, flexión de PCA, arrancamiento de entalladuras, tracción del cordón adhesivo, succión de BPA y del sistema.
 - Durabilidad: Determinación del deterioro de la resistencia a la delaminación por pelado del panel, deterioro de la resistencia al arrancamiento de la entalladura y deterioro de la adherencia del subsistema adhesivo tras envejecimientos en laboratorio.
3. Estudios de campo, basados principalmente en visitas a obras.
4. Discusión de resultados experimentales y correlación con estudios de campo.

Se ha demostrado que sí es posible desarrollar esta metodología para cada una de las tres características consideradas. Su desarrollo ha permitido generar aportaciones al conocimiento científico y a la innovación tecnológica, particularmente a la mejora de su evaluación técnica.

Las principales conclusiones particulares fueron:

En relación con la reacción al fuego:

- Los PCA con núcleo tipo PE tienen siempre un comportamiento más desfavorable que los PCA tipo FR, cuya composición es mineral en un 70%. Esta composición del FR les permite obtener una mejor clasificación independiente de las condiciones de montaje del ensayo SBI.
- No se apreciaron diferencias de clasificación a causa del subsistema adhesivo.
- Para los sistemas de revestimiento de fachadas a base de PCA tipo PE, se obtiene una clasificación de reacción al fuego más fiable según las condiciones reales de montaje de la maqueta, en vez de las normalizadas.
- Se concluye que únicamente deben BPA procedentes de PCA tipo FR, y particularmente cuando la reacción al fuego exigida sea al menos B-s3,d2.

En relación con la resistencia frente a la succión del viento:

- Las entalladuras de las BPA presentan diferencias de resistencia en función de sus dimensiones, excepto si las de menor anchura se refuerzan con pletinas remachadas. Deben resistir las acciones a las que se vean sometidas con un coeficiente de seguridad suficiente para validar el modelo de cálculo (cara vista de bandeja como placa apoyada en cuatro lados).
- Como valor umbral para una evaluación técnica favorable, estos sistemas deben resistir una succión de viento de al menos 2,4 kPa sin que se produzcan los fallos de rotura descritos en la Guía DITE 034.
- Asimismo, para una evaluación técnica más fiable deben considerarse las deformaciones también en el centro de la pestaña horizontal inferior.

En relación con la durabilidad:

- La duración de la vida útil estimada para estos sistemas es de al menos 25 años, similar a la de los sistemas de fachada ventilada con fijaciones mecánicas cubiertos por el objeto de la ETAG 034, siempre que la obra haya sido adecuadamente proyectada, ejecutada y construida.
- En relación con la unión adhesiva, el cumplimiento de las condiciones de instalación (limpieza, plazo de curado, temperatura) es crítico para obtener valores durables de resistencia a tracción.

Como futuras líneas de investigación, se proponen adaptar la metodología a los procedimientos Pre-evaluación DIT y DEE, a las BPA basadas en paneles de zinc, cobre, y/o cinta adhesiva permanente. Asimismo, también a los ensayos de reacción al fuego a mediana o gran escala, al cálculo por elementos finitos de la resistencia mecánica de los componentes, y en el ámbito del nuevo RBO 7, la consideración de vida útil de al menos 50 años y la evaluación de PCA basados en polietileno reciclado “post-consum”.

ABSTRACT

This Thesis has been developed in the frame of the technical assessment of cladding kits for ventilated façades based on cassettes rear-stiffened with bonded profiles (BPA) made of aluminium composite panels (PCA), which are thin (4 mm thickness) and light sandwich panels, with sheets made normally of lacquered aluminium alloy and a non-insulating core made of low density polyethylene with or without added fire retardant compounds, known respectively as “FR” and “PE”.

The research was born due to a determined number of cases happened a few years ago on façades cladded with PCA and/or BPA based on PCA that may have raised doubts about its reliability. Based on these cases, it has been constructed as a general hypothesis that it is possible to assess its contribution to the fulfilment of the Basic Requirements of Works (BWR) n. 2 and n. 4 as well as its durability, considering then its reaction to fire, its resistance to wind suction as well as the lasting of the panel, cassettes slots and of adhesive for a long time without breaking or getting weaker. Indeed, it has been proposed the following methodology:

1. Analysis of the applicable Regulations and of previous tests results.
2. Experimental research based on tests carried out in laboratory on these items.
 - BWR 2: Composition and thermal behaviour of PCA cores and of adhesive, ignitability and thermal attack by a single burning item (SBI).
 - BWR 4: Tensile resistance of PCA cores, PCA flexural strength, pull-out resistance of slots, wind suction resistance of BPA and of the cladding kit.
 - Durability: Decay of peeling resistance, pull-out resistance of slot and tensile strength of adhesive subsystem after artificial ageing.
3. Works-cases studies: Data collection about location, orientation, PCA installed and weather statistics, and if possible, in situ sampling of specimens for later tests.
4. Discussion about tests results and its correlation with Works-cases studies.

It has been concluded that it is possible to develop this methodology for each of the three considered characteristics, and furthermore it has increased the scientific knowledge and in the field of the technological innovation, particularly on the improvement of its technical assessment. The particular main conclusions are summarized below:

In relation to the reaction to fire:

- Behaviour of PCA based on PE core is always worse than PCA based on FR core, due to the 70 % mineral based composition of FR, and furthermore, this

composition allows PCA based on FR cores to obtain a similar classification independently of mounting and fixing conditions for SBI test rig.

- Adhesive subsystem shows no influence on the reaction to fire classification
- For BPA based on PE a more reliable reaction to fire classification is achieved when rig for SBI test is build up according to “end use conditions” and not to the “standardized conditions” described at Annex E of ETAG 034.
- Cladding kits based on BPA made of PCA-FR should be installed, and particularly when the required reaction to fire for the façade is B-s3,d2 or higher.

In relation to the resistance to wind suction loads:

- Slots of the cassettes (BPA) have lower resistances depending on the width of the slot (10,5 mm versus 15 mm), but this worst behaviour of slots 10,5 mm width can be solved if they are reinforced by riveted aluminium sheets 2 mm thickness. Slots of the cassettes (BPA) shall resist wind loads with an adequate safety coefficient, in order to consider them as simple supports, not affecting the modelling of the cassette exposed face as slab simple supported.
- As a limiting value for a preliminar favourable technical assessment, the wind suction resistance shall reach at least 2,4 kPa without occurring the failures described at ETAG 034. Furthermore, it shall be considered the deformations at the centre of the horizontal lower flange of the cassette.

In relation to the research on the durability, main conclusions are referred below:

- The assumed working life is at least 25 years, similar to the cladding kits covered by the scope of ETAG 034, provided that the cladding kit has been properly designed, installed, adequately used and maintained.
- In relation to the adhesive, installation conditions prescribed by the supplier shall be fully followed in order to obtain durable tensile resistance.

As future lines of research, it is considered to adapt the proposed methodology to the Preassessment and EAD procedures, to BPA based on zinc or copper panels fixed and/or permanent bonding tapes. Furthermore, as new lines related to the particular characteristics, it is proposed to research on the testing procedures at real scale for reaction to fire, the inclusion of finite element method for the resistance to wind suction of elements. Finally in the frame of the fulfillment of the BWR 7, a working life of at least 50 years and the assessment of PCA based on recycled “post-consum” polyethylene cores.

INTRODUCCIÓN

Destrucción creativa, "Mosquitos" y paneles sándwich.

Ya en 1911, el economista austríaco Joseph A. Schumpeter valoró el efecto que la innovación tendría en la Economía. Popularizó el término "destrucción creativa" (SCHUMPETER, 1942) según el cual, la forma de avanzar en una economía es a través de la acción desequilibrante de las empresas emprendedoras, porque reemplazan lo anterior, lo obsoleto, por formas más avanzadas o convenientes de producir y de hacer las cosas. Sin embargo, en el caso particular del sector de la construcción, las innovaciones encuentran por un lado un escenario donde la escasa experiencia y el desconocimiento, provocan recelos o rechazos en proyectistas y directores de obras. Por otro lado, cuestiones como obtener una mayor rapidez y facilidad de puesta en obra o la necesidad de solventar nuevas prestaciones que demandan las sociedades avanzadas, pueden promover la innovación por parte de los fabricantes.

En este contexto, y en relación con la innovación en el ámbito de las fachadas de edificación, Alan Brookes (BROOKES, 1998) en el prólogo de su libro, "Cladding in Buildings", escribió: *"La edificación se ha ido convirtiendo de manera progresiva, en un conjunto de productos prefabricados previstos para el montaje in situ. Las máquinas se han trasladado desde la obra a la planta de producción. La arquitectura moderna necesita por tanto conocer los parámetros del proceso de producción y los procedimientos relacionados con el control de calidad, de la misma forma que anteriormente, la arquitectura tradicional se fiaba de los procedimientos establecidos por la "buena práctica constructiva"*.

Para conocer estos parámetros y procedimientos de un producto de construcción innovador es preciso caracterizarlo. Por caracterización, atendiendo a la definición del Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, se entiende la determinación de una serie de características específicas que lo permiten distinguir claramente de los demás. En el contexto del estudio de los productos innovadores, la "caracterización" se circunscribe a una serie de características o variables concretas para permitir esa diferenciación.

Sin embargo, la gran complejidad de la construcción actual, con un elevado número de agentes y procesos intervinientes, desde la promoción hasta su conservación, hace prácticamente inviable que sobre un producto o sistema constructivo de construcción

innovador o no normalizado, cualquiera de estos agentes lleve hoy a cabo por sí mismo ni la caracterización de su seguridad ni por regla general, su evaluación técnica.

La evaluación técnica de un producto de construcción innovador presupone hoy un estudio más pormenorizado enfocado sobre la idoneidad de empleo para el uso previsto, con el fin de evitar su rechazo por desconocimiento de los técnicos hacia los mismos y favorecer entonces su prescripción.

En este sentido, conviene precisar que, ya en la década de los 60, los Institutos de la Union Européenne pour l'Agrément Technique (UEAtc), entre ellos el Instituto de Ciencias de Construcción Eduardo Torroja (IETcc) procuraron favorecer la comercialización de los productos de construcción innovadores mediante la realización de evaluaciones técnicas de aptitud de empleo conducentes, de resultar favorables, a la emisión de Documentos de Idoneidad Técnica (DIT).

Los DIT, que se empezaron a emitir en 1963, son a fecha de hoy, a falta de una normativa específica sobre los sistemas de fachada ventilada, la llave que permite al suministrador de sistemas de fachadas ventiladas demostrar el cumplimiento de las exigencias que le sean de aplicación según el Código Técnico de la Edificación, y de acuerdo con los procedimientos y criterios de validación del Instituto de Ciencias de Construcción Eduardo Torroja.

Un ejemplo paradigmático es el de los paneles sándwich de doble cobertura metálica y núcleo de espuma de poliuretano. El origen de los paneles sándwich parece estar basado en el fuselaje sándwich de unos aviones de la Segunda Guerra Mundial fabricados en Gran Bretaña en 1945, los "De Havilland Mosquitos", cuyos fuselajes ya por aquel entonces presentaban una solución constructiva ligera y resistente a base de capas externas de contrachapado encoladas a mano a un núcleo de madera de balsa ligero, que las distanciaba entre sí, permitiendo ganar resistencia sin aumentar peso.

Afortunadamente para la Arquitectura, un pionero llamado Jean Prouvé, fue quien en 1966 desarrolló in situ una solución constructiva sándwich en la cubierta a base de chapa exterior de aluminio, núcleo aislante y por el interior, contrachapado de madera para el Albergue Juvenil de París. Y hablando de impulsos a la innovación merece la pena destacar como poco después, en 1970 surgieron las primeras evaluaciones técnicas en España sobre este tipo de productos. Así, El Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, IETcc, emite el primer Documento de Idoneidad Técnica (DIT) nº 148 (MONTERDE, 1984) para un sistema de cerramiento de cubiertas con paneles sándwich de espuma de poliuretano.

Veintiséis años después en 1996, la UEAtc (Union Européenne pour l'Agrement Technique) emitió el "Informe Técnico de la UEAtc para la evaluación de las obras realizadas con paneles sándwich de espuma de poliuretano sin clorofluorocarbonos (CFC). Este documento sirvió de base técnica para que el Comité Europeo de Normalización (CEN) publicara bajo mandato de la Comisión Europea, la Norma Armonizada EN 14509, que supuso al entrar en vigor en 2009, la obligatoriedad del marcado CE para los paneles y su consideración a partir de entonces, como producto tradicional, casi treinta años después de que el IETcc emitiera el DIT 148. Sólo un año después, en 2010, aparecieron paneles sándwich fotovoltaicos en el mercado. Esta prestación innovadora no estaba recogida por la Norma. Y en consecuencia, el panel en cuestión podía considerarse de nuevo como un producto innovador gracias a esta nueva característica no normalizada.

Un tipo de panel sándwich de amplio uso en Europa es el panel compuesto de aluminio, conocido sobre todo por su término inglés "composite", como material para configurar bandejas en revestimiento de fachadas. No obstante, a pesar de su satisfactoria y extendida presencia en el mercado nacional, bien sea por desconocimiento hacia los mismos, bien por defectos de prescripción, de puesta en obra o de mantenimiento, han ocurrido a lo largo de los últimos años algunos incidentes, que pueden haber sembrado dudas acerca de sus prestaciones o de las evaluaciones técnicas que se hubieran realizado por terceros. Incidencias relacionadas con el fuego, la resistencia al viento y la durabilidad.

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

La hipótesis general que se establece para el desarrollo de esta Tesis es la de que es posible desarrollar una mejora de la metodología actual que se sigue para la evaluación técnica de los sistemas de revestimiento de fachadas ventiladas mediante bandejas con fijaciones mecánico adhesivas procedentes de paneles composite de aluminio, que sea fiable y válida para facilitar la incorporación de estos sistemas constructivos a las obras, en el ámbito de las evaluaciones técnicas que se realizan para los mismos.

En base a dicha hipótesis, los objetivos de la presente Tesis han sido la caracterización de estos sistemas enfocando la investigación hacia el estudio de la evaluación tres específicas características, que los antecedentes registrados permiten considerar como las más relevantes a la hora de valorar las prestaciones de estos sistemas y su contribución al cumplimiento de los llamados Requisitos Básicos de las Obras (RBO) donde serán instalados. Estas características principales son: La reacción al fuego (RBO 02. Seguridad en caso de incendio), la resistencia frente a la succión del viento (RBO 04. Seguridad de utilización) y finalmente el mantenimiento de prestaciones a lo largo del tiempo (durabilidad).

PLAN DE INVESTIGACIÓN

La investigación se ha realizado en varias etapas, que se presentan a continuación:

PARTE 1. ESTUDIO DEL ESTADO DEL CONOCIMIENTO Y DE LA TÉCNICA (ESTADO DEL ARTE)

- Recapitulación de los principales conceptos sobre la fachada ventilada, que tienen incidencia en la caracterización de estos sistemas constructivos.
- Examen de los diferentes sistemas de revestimiento de fachadas con panel composite de aluminio (PCA), con especial atención a las uniones mecánicas y adhesivas en fachadas.
- Análisis general de la evaluación técnica de productos innovadores de construcción, y particular para los Sistemas de revestimiento de fachadas con panel composite de aluminio (PCA), en los diferentes ámbitos del Documento de Idoneidad Técnica (DIT) que expide el Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IETcc-CSIC) y del Documento de Idoneidad Técnica Europeo (DITE) que se emitía hasta Julio de 2013 en el marco de la Directiva 89/106 Europea de Productos de Construcción (DPC), fecha en la que fue sustituido por la Evaluación Técnica Europea (ETE) que se emite en el ámbito del Reglamento 305/2011 de Productos de Construcción (RPC).
- Estudio específico de los aspectos relacionados con la evaluación de las prestaciones de los Sistemas de revestimiento de fachadas con panel composite de aluminio (PCA) frente a las prestaciones de: Reacción al fuego, Resistencia a la succión y Durabilidad.

PARTE 2. METODOLOGÍA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Considerando el estado de la técnica y las recientes incidencias y patologías observadas en el uso de los Sistemas de revestimiento de fachadas con panel composite de aluminio (PCA), la Metodología seguida en la investigación realizada -cuyo objetivo es la mejora de los procedimientos de evaluación existentes para esos sistemas- se ha dividido en 3 partes, relativas a los aspectos más relevantes para la caracterización y

evaluación de las prestaciones relativas de estos sistemas constructivos frente a su reacción al fuego, resistencia a la succión y durabilidad.

Para cada una esas prestaciones se ha procedido a realizar un estudio experimental y un estudio de campo (cuando ha sido posible), como fuente de información complementaria a la de la bibliografía estudiada, proponiendo en determinados casos, en base a los resultados obtenidos, nuevos procedimientos de ensayo que mejoren los existentes, en base además, a la experiencia obtenida en el desarrollo de esta Tesis, en la concesión de DIT y DITE o ETE a diversos productos de estos sistemas constructivos.

PARTE 3. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.

En esta Parte, en el apartado de Conclusiones, se recogen las conclusiones alcanzadas en la investigación que permiten proponer variaciones y mejoras en los procedimientos de evaluación de los Sistemas de revestimiento de fachadas con panel composite de aluminio (PCA), en los tres Requisitos Básicos de las Obras investigados: Reacción al fuego, resistencia a la succión y durabilidad.

Finalmente, en el apartado de futuras líneas de investigación se recogen las propuestas de continuidad de esta Tesis que pueden ser aplicables tanto para los Sistemas de revestimiento de fachadas con panel composite de aluminio (PCA) como para otros Productos y Sistemas constructivos. Particularmente, la investigación realizada podría servir de pauta para la redacción de un Documento de Evaluación Europeo (DEE) en el ámbito de la Organización europea EOTA, que a su vez permitiera la realización de las Evaluaciones Técnicas Europeas (ETE) para sistemas similares al investigado.

PARTE 4: GLOSARIO Y BIBLIOGRAFÍA.

En esta Parte se recogen los términos más utilizados en el léxico relacionado con la investigación realizada, así como las referencias bibliográficas que han servido de fundamento a la misma.

PARTE 5: ANEJOS.

Finalmente se adjuntan varios documentos técnicos desarrollados por el autor que han contribuido al conocimiento científico y al desarrollo de la innovación tecnológica.

PARTE 1

PARTE 1: EL ESTADO DEL ARTE

1.1. LA FACHADA VENTILADA

1.1.1. Innovación en fachadas: La especialización funcional

Las fachadas han sido unidades de obra donde la innovación ha sido un campo de actuación bastante frecuente. Esta unidad de obra es la que aporta la imagen exterior del edificio, y es también la encargada de satisfacer los requisitos de seguridad y confort que le sean de aplicación. Lleva implícita su especialización funcional, capaz de cumplir simultáneamente exigencias diversas en función de la orientación, del clima, de su capacidad portante, y por supuesto, de las premisas estéticas.

Como ejemplo paradigmático, se puede citar el sistema “cavity wall”. La separación física entre la hoja exterior y la interior fue propuesta el año 1898 por el “Builder Journal” en lo que se denominó el sistema “cavity wall”, por el cual el muro se proponía para una o dos alturas y cuya parte ciega estaría formado por una hoja interior resistente de ladrillo macizo sobre la que apoyaban los forjados y una hoja exterior también de ladrillo que pasaba por delante, encargada de aportar la protección frente a la intemperie y el aspecto estético. Entre ambas hojas, conectadas con “llaves” metálicas, se dejaba una cámara de aire, que en realidad ventilaría con bastante dificultad, en la que se recogería, para su evacuación, el agua que pudiera atravesar la hoja exterior. Sin embargo no parece poder concluirse que la propuesta del “cavity wall” sea el antecedente directo y natural de la fachada ventilada. Sí en cambio, puede decirse que es la primera vez donde surgieron problemas comunes por abordar, como por ejemplo:

- La adecuada protección frente al agua de la hoja exterior.
- El adecuado anclaje y estabilidad de la hoja exterior a la hoja interior.
- La adecuada separación entre las hojas, y sus movimientos diferenciales.

De todos ellos, la adecuada protección frente al agua de la hoja exterior es el problema cuya resolución condujo al nacimiento de las fachadas ventiladas gracias a la aparición de tres conceptos clave: La pantalla pluvial, la ecualización de presiones y la sectorización de la cámara de aire. Los otros dos problemas, fueron también planteados en la resolución de los muros cortina (formados por cerramientos opacos y transparentes, montantes, travesaños, ménsulas y anclajes) y probablemente, la experiencia previa adquirida en la definición de la subestructura de este sistema constructivo lo que permitió a

su vez su resolución por parte de las fachadas ventiladas. Volviendo al primer problema enunciado, conviene citar de nuevo a Alan Brookes (BROOKES, 1983) quien describe los posibles mecanismos de entrada de agua de lluvia a través de las juntas. Por un lado, diferencia entre aquellos causados por agentes no relacionados con el aire ni con el viento: Gravedad, energía cinética, tensión superficial y capilaridad. Por otro, especifica los relacionados con las corrientes de aire esto es, la acción del viento sobre las gotas de lluvia y la diferencia de presión del aire a uno y otro lado de la junta entre placas. Este último mecanismo es lo que realmente, a través de su resolución, conduce al nacimiento de las fachadas ventiladas.

Alan Brookes (BROOKES, 1983) indica que habría que remontarse a los estudios realizados a principios de los años 60 en Noruega y Canadá sobre la estanquidad al agua de lluvia de ventanas practicables y más tarde sobre muros de una fachada. Fue allí y entonces donde por primera vez apareció el término “rain screen”, que podría traducirse como “pantalla pluvial”. En efecto, según Dale D.Kerr (KERR, 1985) fue Birkeland, investigador del Norwegian Building Research Institute quien hace casi 50 años, en su escrito de 1962 escribió “Muros Cortina” y expuso los principios de lo que llamó “rain barrier” (barrera de lluvia):

“La única solución práctica [para el problema de la filtración de agua] es diseñar un acabado exterior a prueba de lluvias de modo que no provoque sobrepresiones en las juntas o en los sellados. Para conseguir este efecto, debe procurarse una cámara de aire detrás del acabado exterior, pero conectada con el muro exterior. Las variaciones de presión de aire causadas por las ráfagas de viento serán entonces igualadas en ambos lados del acabado exterior”.

Siguiendo con el proceso histórico, tanto Alan J. Brookes como Dale D. Kerr resaltan la importancia del Documento titulado “Aluminium Curtain Walls – The Rain Screen Principle and Pressure Equalization Wall Design” (AAMA, 1971) publicado en 1971 por la asociación de fabricantes entonces denominada Architectural Aluminium Manufacturers Association (AAMA), (hoy American Architectural Manufacturers Association) ya que fue aquí donde por primera vez, se aplicaron los conceptos “rain screen principle” y “pressure equalized design” al sistema constructivo de muro cortina.

Para los sistemas de fachadas de doble hoja, Alan Brookes cita a J.M. Anderson y J.R. Gill (ANDERSON & GIL, 1988), como quienes en 1988 asentaron dichos conceptos en su libro titulado “Rainscreen cladding – A guide to Design Principles and Practice”. Efectivamente, en esta publicación, los autores especificaron que la protección frente a la

entrada del agua de lluvia se podría materializar por medio de las dos siguientes configuraciones:

- Fachadas con una cámara de aire ventilada y drenante, que debe evacuar el agua de lluvia entrante hacia la hoja exterior de la fachada, y en segundo lugar, permitir evaporar la restante.
- Fachadas con ecualización de presiones, cuya hoja exterior pretende limitar (no sellar de forma estanca) la entrada de agua de lluvia y sí permitir la entrada del aire.

Finalmente, Alan J. Brookes (BROOKES, 1983) matiza la diferencia que entre comportamiento teórico y real puede darse debido a los flujos de aire incontrolados que, en una cámara ventilada estarían causados por los gradientes de presión y succión que ocurren en distintas zonas de una misma fachada (por ejemplo si se compara la planta baja con los petos de cubierta, o la franja central respecto de las esquinas).

Plantea como un requisito fundamental para el diseño de la cámara de aire, que no debería haber espacios con considerables aberturas hacia el exterior. Todo lo contrario, propone que deberían ser paños de superficie limitada, subdividida en áreas relativamente pequeñas con una única abertura teórica. A título orientativo, remite a los criterios que Garden and Dalgleish estipularon en 1968 (GARDEN & DALGLEISH, 1968) quienes recomendaron sectorizar verticalmente la cámara a intervalos de 1,2 m a lo largo de una franja de 6 m de largo desde las esquinas, y horizontalmente cerca de las coronaciones. Para sectorizar el resto de la fachada, propone áreas considerando un radio máximo de 10 metros.

En España, autores como Joaquín Fernández Madrid (FERNÁNDEZ, 2004) proponen dimensiones algo distintas. Al igual que Alan Brookes, plantea que si cámara de aire ventilada fuera totalmente continua, tendrá siempre en todos sus puntos la misma presión, igualándose rápidamente las presiones al menor cambio.

Esta uniformidad de presión dentro de la cámara, lejos de ser una ventaja, podría producir grandes entradas de agua. Y esto es así porque la presión exterior es cambiante en una misma fachada: Mayor presión según ascendamos en altura; o bien, para una misma altura, es diferente en intensidad y en signo según sea la orientación frente al viento (sotavento o barlovento); o también por la situación respecto a los cambios de plano (esquinas, rincones, aleros, etc). Según este autor, la única opción para hacer realidad el modelo del "pantalla - pluvial" es confinar la cámara, dando lugar a un nuevo tipo de

fachada con cámara confinada ó sectorizada. Dicha sectorización de la cámara sería especialmente necesaria en los zonas de la fachada indicadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Criterios de compartimentación de cámara de aire. (Fuente: Joaquín Fdez. Madrid)

Compartimentación vertical	
Necesaria	Conveniente
<ul style="list-style-type: none"> En los extremos de cada fachada A 2 metros de las esquinas Para separar situaciones de muy diferente presión 	<ul style="list-style-type: none"> Cada 5 ó 6 metros Cortando la succión producida en los cambios de plano
Compartimentación horizontal	
Necesaria	Conveniente
<ul style="list-style-type: none"> En el borde superior de cada fachada Para separar situaciones de muy diferente presión 	<ul style="list-style-type: none"> Cada 3 ó 4 metros (cada planta)

1.1.2. Definición y composición de la fachada ventilada

Una fachada ventilada es aquella unidad de obra, capaz de dotar al edificio sobre el que se instala de una determinada protección frente a la intemperie, así como del acabado estético considerado, compuesta principalmente por los elementos que se indican a continuación (Fig. 1), acompañados de su término en inglés:

Fig.1. Ejemplo de composición de un sistema de fachada ventilada.

- Soporte u hoja interior (en inglés, *substrate*), que es el cerramiento propiamente dicho de la fachada (nº. 1 en la Fig.1).
- Cámara de aire ventilada (*ventilated air gap*) sectorizada o no, entre el revestimiento y el elemento soporte, en la cual, se puede colocar un aislamiento térmico (opcional) sobre la cara exterior del elemento soporte (nº. 2 en Fig.1).
- Subestructura (en inglés *substructure*) formada por elementos resistentes (habitualmente perfiles de aluminio) que transmiten al soporte los esfuerzos que recibe. Estos elementos pueden ser:
 - Ménsulas de sustentación de montantes (nº. 3 en Fig.1).
 - Ménsulas de retención de montantes (nº. 4 en Fig.1).
 - Perfiles verticales o montantes (nº. 5 en en Fig.1).
 - Perfiles horizontales o travesaños (nº. 6 en en Fig.1).
- Revestimiento u hoja exterior (*cladding*), tanto de la parte general como de los puntos singulares de la fachada, compuesta por aplacado y sus fijaciones a la subestructura (*cladding fixings*) encargadas de transmitir a la misma, las cargas de peso propio y del viento, asegurando la estabilidad del aplacado (nº. 7 en en Fig.1).
- Accesorios, de modo que permitan la resolución tanto de la parte general como de al menos los siguientes puntos singulares: Arranque y coronación de fachada, rincones y esquinas así como la formación de huecos (nº. 8 en en Fig.1).

1.1.3. Tipos de fachada ventilada según la unión entre aplacado y subestructura

Aunque pueden existir otros criterios generales, como el del peso y tipo de material de aplacado, o la sectorización de la cámara, se considera, desde el punto de vista de la seguridad en el ámbito de la evaluación europeo de productos de construcción no normalizado que el aspecto de mayor relevancia para la clasificación de los tipos de fachada ventilada es el correspondiente al tipo de unión entre el aplacado y la subestructura. La razón es que precisamente esta unión es la encargada de transmitir las cargas de peso propio y del viento entre ambos componentes. Habitualmente, estas uniones son de naturaleza mecánica y esta circunstancia se recoge en la conocida en castellano como Guía DITE nº. 034 o bien Guía de la EOTA nº 034 para la concesión del DITE (EOTA, 2012) Este Documento también referido por su acrónimo en inglés ETAG 034 (“European Technical Approval Guideline”) se analizará con más detalle en apartados

posteriores, pero sí conviene reseñar que agrupaba en una serie de “familias”, nombradas con las letras mayúsculas del alfabeto latino desde la A hasta la H, a los tipos de uniones mecánicas vistas u ocultas, entre el aplacado y la subestructura que gozaban de un mayor conocimiento y expansión en el mercado europeo cuando se comenzó su redacción a mediados de la pasada década. La traducción descriptiva de dichas “familias”, indicándose si se corresponden con fijaciones vistas u ocultas, así como los esquemas que los ilustran tomados textualmente de la propia Guía DITE se presentan a continuación:

- “Familia A” (vista): Hoja exterior fijada mecánicamente a la subestructura mediante fijaciones puntuales pasantes como por ejemplo remaches o tornillos (Fig.2).

Fig. 2. Esquema de composición de la “familia A”. (Fuente: ETAG 034).

- “Familia B” (oculta): Hoja exterior fijada mecánicamente a la subestructura mediante al menos cuatro anclajes especiales, por ejemplo casquillos de expansión, dispuestos en el trasdós de la hoja y fijados a grapas que se encajan mecánicamente en un perfil horizontal (Fig.3).

Fig. 3. Esquema de composición de la “familia B”. (Fuente: ETAG 034).

- “Familia C” (oculta): Hoja exterior colocada sobre una malla horizontal de perfiles-guía o de grapas metálicas, atornilladas a una subestructura vertical (Fig. 4).

Fig. 4. Esquema de composición de la “familia C”. (Fuente: ETAG 034).

- “Familia D” (oculta): Hoja exterior integrada por piezas trabadas, encajadas por sus bordes superior e inferior y con solape lateral, fijadas a la subestructura mediante fijaciones mecánicas situadas en el borde superior y ocultas por el borde inferior de las piezas superiores (Fig. 5).

Fig. 5. Esquema de composición de la “familia D” (Fuente: ETAG 034).

- “Familia E” (oculta): Aplacado solapado exterior fijado a la subestructura mediante fijaciones mecánicas situadas en el borde superior y ocultas por el solape del borde inferior de las piezas superiores (Fig. 6).

Fig. 6. Esquema de composición de la “familia E” (Fuente: ETAG 034).

- Familia F (vista): Aplacado no ranurado con fijaciones puntuales o lineales (Fig. 7).

Fig. 7. Esquema de composición de "familia F" (Fuente: ETAG 034).

- Familia G (oculta): Aplacado (ej. habitualmente bandejas) suspendido de la subestructura (Fig. 8).

Fig. 8. Esquema de composición de la "familia G" (Fuente: ETAG 034).

- Familia H (vista): También conocida por su nombre en inglés "Tile hung", se compone de una hoja exterior integrada por lamas sustentadas por grapas de unión en el solape entre las piezas superior e inferior (Fig. 9).

Fig. 9. Esquema de composición de familia H (Fuente: ETAG 034).

No obstante cabe indicar que estas familias, pueden presentar variaciones puntuales en razón de la práctica constructiva o normativa local.

En España, un ejemplo muy conocido es el caso de las uniones con bulones y mortero de aplacados de piedra natural, recogidos en la Norma Tecnológica de Revestimientos de Paramentos. Chapados (NTE-RPC).

Fig.10: Chapado con anclaje oculto. (Fuente NTE-RPC).

Esta solución constructiva era puramente mecánica, puesto que el anclaje retiene o sostiene la placa de piedra según su posición, mientras que el mortero de cemento, tiene como función asegurar la estanquidad del muro y contribuir al anclaje del aplacado en el soporte; en tanto que la lechada de mortero de cemento sellaría las juntas entre placas.

Finalmente y para terminar la descripción del estado de la Normativa en relación con las fijaciones para aplacados de fachada conviene citar la Norma UNE 41957-1: Anclajes para revestimientos de fachadas de edificios. Parte 1. Subsistemas para revestimientos ligeros, que se publicó en el año 2000. Esta Norma establecía las condiciones mínimas necesarias para la correcta disposición y ejecución de los subsistemas de anclaje, destinados a soportar revestimientos de fachadas de edificios (ventiladas o no). No eran objeto de la Norma, los anclajes empleados en chapados o aplacados unidos al soporte mediante mortero aplicado al trasdós de sus componentes, es decir, los cubiertos por la NTE-RPC.

De su contenido, cabe destacar su aportación a la clasificación de anclajes, sus criterios generales de diseño, desde las acciones a considerar, hasta el material del anclaje en función de ambiente exterior, pasando por las recomendaciones a tener en cuenta tanto en la unión anclaje a soporte como en la unión anclaje a revestimiento. En relación con la clasificación de los anclajes, introdujo los diversos criterios, que dan una idea del estado del arte existente en el momento de redacción de la Norma, a finales de los 90, entre los cuales destacan en relación con el revestimiento, los dos siguientes:

- En función de su posición respecto del revestimiento:
 - Anclaje visto en el frente del revestimiento (sin atravesarlo).
 - Anclaje oculto en el canto del revestimiento.
 - Anclaje oculto en el reverso del revestimiento.
 - Anclajes a través del revestimiento.

- En función de su forma de unión al revestimiento:
 - Anclaje por trasdós de revestimiento con perforación parcial de grosor.
 - Anclaje con pasador o aguja, en el canto de las piezas del revestimiento, con interposición de casquillo de material elástico (nylon, etc.).
 - Anclaje con pasador en el reverso de las piezas del revestimiento.
 - Anclaje sobre ranura en el canto de las piezas del revestimiento.
 - Anclaje sobre ranura en el reverso de las piezas del revestimiento.
 - Anclaje con componentes empotrados en el reverso del aplacado.
 - Anclaje cónico sobre destalonado en el reverso del aplacado.
 - Anclaje a través del revestimiento con perforación total de éste, con/sin cámara.
 - Anclaje visto mediante uñas o perfiles en el canto.

No se incluían anclajes que aseguran su posición, una vez regulados, únicamente por fricción. Cabe destacar que en esta Norma no aparecen en este listado los anclajes del revestimiento a subestructura mediante fijaciones mecánico adhesivas o bien puramente adhesivas; las únicas referencias que aparecen es a nivel de recomendación de material elástico sellante en los puntos de contacto entre piedra y metal.

1.1.4. Uniones adhesivas

Por adhesivo puede entenderse a todo aquella sustancia que aplicada a la superficie de dos materiales sólidos es capaz de dotarles de una unión resistente a la separación. La adhesión es la unión de las superficies de dos o más partes de materiales distintos, llamados adherentes.

Se entiende por adherencia la resistencia a la separación de dos adherentes. Su determinación abarca tanto un valor cuantitativo, la resistencia, como un valor cualitativo, el lugar donde se produce la rotura. Se denomina rotura cohesiva a la que se produce en el seno del propio adhesivo o bien, en uno o ambos adherentes. Se denomina rotura adhesiva a la que se produce en la interfase entre adherente y adhesivo.

Pero si bien la cohesión de un sólido está caracterizada por enlaces y fuerzas de atracción bien conocidas (iónico, covalente, metálico, de puentes de hidrógeno y de Van der Waals), para caracterizar la adhesión hay que caracterizar la interfase. Ésta se forma cuando uno de los materiales en estado líquido, (el adhesivo) se pone en contacto con otro material sólido (el adherente). Al solidificarse, aparecen interacciones físicas y químicas entre las moléculas del adhesivo que moja y las moléculas de la superficie del sólido que son las que van permitir la adhesión.

Para su éxito es fundamental realizar un tratamiento superficial de las superficies de los adherentes implicados y elegir adecuadamente el adhesivo a emplear. El tratamiento superficial tiene como fin eliminar contaminantes, aumentar la mojabilidad ("wetting") del adhesivo y la energía superficial del adherente, que siempre tendrá que ser mayor que la tensión superficial del adhesivo.

En cuanto al adhesivo, tal y como plantea Lawrence W. Fisher (FISHER, 2005), es fundamental conocer la viscosidad del adhesivo, su resistencia a fluir, que se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula: $\eta = T / (\delta\epsilon / \delta t)$, donde:

- T es la tensión de cizalladura.
- $(\delta\epsilon / \delta t)$ es la velocidad de la deformación.

Si esta relación es constante en todos los casos, el fluido se considera newtoniano. Un ejemplo de fluido newtoniano es el agua. Según Alphonsus V. Poncius (POCIUS, 1997), una primera premisa que conviene realizar para caracterizar un adhesivo es su plantear cuál es su modelo de fluido. Según esquema anterior, se distinguen cuatro posibles:

1. Fluido newtoniano.
2. Fluido tixotrópico.
3. Fluido dilatante.
4. Fluido pseudoplástico.

En el campo de los adhesivos para construcción, el modelo más interesante para el objeto de la Tesis es el tixotrópico. Un adhesivo tixotrópico es aquel que posee un valor de tensión a cortadura tal que, si se supera el límite elástico, es capaz de deformarse sin romperse. Esta característica le proporciona la capacidad de permanecer en su posición hasta que se le aplique una cierta fuerza. El acto de adherir el elemento constructivo (aplicar una cierta fuerza sobre el sólido adherente) permite vencer el umbral de esa tensión de cortadura del adhesivo, y así, el adhesivo fluya por la geometría de la interfase.

De acuerdo con Jose Miguel Martín Martínez (MARTÍNEZ, 2000) existen varios modelos y no un único modelo universal, para explicar las causas por la que se produce la adhesión entre dos materiales. Los predominantes serían los siguientes:

- Modelo mecánico: Esta se debe al anclaje del adhesivo en los poros y rugosidades superficiales del soporte. Esas irregularidades permiten por fricción, evitar la separación entre adhesivo y adherente y, por otro, permiten aumentar la superficie de contacto entre ambos, incrementándose la mojabilidad del adhesivo. La mojabilidad de un adhesivo se define como su capacidad para expandirse sobre la superficie del adherente. Se mide por el ángulo de contacto que la gota del adhesivo forma sobre la superficie del adherente (Fig. 11). Cuánto mayor sea este ángulo (θ), menor será la mojabilidad, y menos homogénea será la adherencia. O dicho de otra manera, para lograr una buena mojabilidad, la tensión superficial del adhesivo deberá ser mucho menor que la energía superficial del adherente.

Fig. 11. Ángulo de mojabilidad.

- Modelo del enlace químico: Según Jose Miguel Martín Martínez (MARTÍNEZ, 2000), la adhesión se debe a la creación de enlaces primarios entre el sustrato y el adhesivo. Para crearlo, es preciso realizar un tratamiento superficial adecuado, por ejemplo mediante la incorporación de primers. Un primer, según el autor, es un compuesto que se adiciona a la superficie de un sustrato para aumentar la fuerza de unión a un adhesivo y/o para aumentar la durabilidad de la unión adhesiva. Vielba C [VIELBA, 2001] investigó al respecto en revestimientos de fachadas con aplacados a base de piedra Arenisca de Villamayor.

En la industria aeronáutica, ya existen ejemplos de uso de fijaciones adhesivas desde hace más de ochenta años. Tal y como escribe Raymond W. Shannon (SHANNON, 1985) ya en 1934 se emplearon en puntos concretos, como por ejemplo para adherir refuerzos estructurales a las alas del avión Fokker F 36 y poco después su uso se expandió a otras aplicaciones aeronáuticas, particularmente en los refuerzos de distintos elementos (fuselaje, alas, etc). El motivo residía en sus prestaciones. No sólo mayor resistencia frente a las cargas de compresión y cortante si no también en su mejor y más fiable respuesta frente a las vibraciones generadas tanto por las ráfagas de viento como por los motores. Además, permitían una mayor resistencia a la fatiga y un “margen de seguridad” complementario en la propagación de las fisuras. Por el contrario, el hecho de que la unión adhesiva se fabricara “in situ” suponía que sus prestaciones también dependieran de su momento de ejecución de forma totalmente irreversible. Por tanto la adecuada especificación de su ejecución así como la adecuada capacitación del operario resultaban ser aspectos críticos. Lawrence W. Fisher en su libro (Selection of Engineering materials and adhesives) (FISHER, 2005) señala las desventajas de las uniones mecánicas tales como tornillos o remaches: Pueden crear tensiones locales, susceptibles de generar fallos prematuros debidos a sobrecargas o a fatiga; las soldaduras pueden generar estos mismos fallos y además debido a la cantidad de calor que generan pueden modificar las propiedades del material. Las uniones adhesivas ofrecen ventajas pero también desventajas. Como ventajas cita las siguientes:

- Proporcionan una distribución más uniforme de esfuerzos que las fijaciones mecánicas.
- Unen materiales de igual/distinta naturaleza e igual/distinto espesor.
- Minimizan o previenen la corrosión electroquímica entre metales distintos.
- Resisten fatiga y cargas cíclicas.
- Sellan juntas, aíslan eléctrica y térmicamente y además amortiguan vibraciones.
- Frecuentemente pueden ser más rápidas y baratas que las fijaciones mecánicas.
- Si requieren aporte de calor, la temperatura no afecta a metales.

- Limpieza fácil de la unión adherida.

Ventajas a las que habría que añadir las de índole estético, ya que gracias a estar ocultas, permiten al proyectista una mayor libertad proyectual, e incluso en el caso de revestimientos a base de chapa metálica, la formación de envolventes de gran complejidad.

Y entre las desventajas, el autor indica las siguientes:

- Requieren una cuidadosa preparación de los adherentes.
- En algunos casos requieren bastante tiempo de curado.
- Presentan una temperatura límite de servicio del orden de 175 °C.
- Pueden requerir de presión y calor para el montaje.
- Pueden requerir de elementos accesorios.
- Usualmente requieren un rígido control de la ejecución.

Parece obvio entonces que las uniones mecánico-adhesivas son las que pueden aunar las ventajas de ambas y evitar las desventajas que cada una de estas fijaciones tendría por sí sola. Así por ejemplo, la parte mecánica compensaría el efecto de las altas temperaturas podrían tener sobre el adhesivo y permitiría una resistencia mínima de seguridad mientras dure el curado del adhesivo, todo ello suponiendo claro que el adhesivo haya sido seleccionado adecuadamente.

Ernes C. Millard, en el capítulo 6 titulado *Adhesive selection from the User's viewpoint* del libro "Adhesive bonding of aluminium alloy", plantea tres criterios iniciales para la selección del adhesivo adecuado:

- Los parámetros de curado (es decir tiempo y rango de temperaturas).
- La forma del adhesivo (film, espuma expandible, líquido).
- El coste económico.

A partir de éstos, existen otros criterios no menos importantes, según el uso:

- El rango de temperaturas de servicio al cual estará expuesto.
- Las propiedades mecánicas.
- La trabajabilidad.
- La durabilidad.

En relación con ésta última, se reseñan a continuación dos investigaciones previas sobre durabilidad de uniones adhesivas, de las que se concluye que unos de los principales agentes causantes del deterioro del adhesivo será su exposición al calor y a la humedad. Así lo indica Lucas F.M. da Silva et al (SILA et AL, 2009) quienes investigaron sobre la influencia de diversos factores en la resistencia a tracción de varios adhesivos mediante uniones adhesivas sencillas (single lap joints); uno de estos factores fue la determinación de la variación de la adherencia, antes y después de exposición de muestras a calor húmedo (50 °C y 80% Hr en una cámara durante 1 y 4 semanas).

El posible efecto de la humedad en el deterioro del adhesivo ya fue estudiado hace veinte años por autores como H.M. Hand et al (HAND et AL, 1992) quienes señalaron que en determinados casos, particularmente para adhesivos que absorban humedad muy fácilmente, (por ejemplo aquellos de matriz constituida por componentes hidrófilos) la resistencia total y la dureza de la unión adhesiva puede quedar seriamente comprometida como resultado de su exposición a la humedad.

De acuerdo con Hugues Wilkin (Aluminium architecture) (WILKIN, 2001), las uniones adhesivas en las que participan elementos de aluminio, o bien aluminio con otros componentes, metálicos o no, dependerán del adhesivo utilizado. Según Wilkin, tres diferentes adhesivos han sido los utilizados históricamente para la unión entre elementos de aluminio: Los basados en resinas epoxi, los basados en acrilatos y los poliuretanos, siendo estos últimos los que se han utilizado en la evaluación de los sistemas de revestimiento de fachadas ventiladas descritos en esta Tesis.

1.2. SISTEMAS DE REVESTIMIENTO DE FACHADA VENTILADA CON PCA

1.2.1. Antecedentes

Fue Jean Prouvé quien ya en 1947 y desde su fábrica de Maxéville (Francia), utilizó el aluminio en brillantes diseños que se han convertido en obras maestras clásicas. Siendo un material ligero, maleable, resistente a la intemperie e impermeable al agua, la aplicación lógica e inicial fue como chapa en envolventes de edificación, como en su momento lo fue para los fuselajes de los aviones.

Por otra parte, su versatilidad a la hora de ser extruido o laminado le permitieron conformar secciones tanto macizas como perforadas en función del uso previsto, con tolerancias de centésimas de milímetros y lo que es más importante, de manera rápida y rentable, incluso para pedidos de cantidades pequeñas. Además, aunque convendría analizarlas caso a caso, están las ventajas ecológicas que derivan de su capacidad para ser reciclado. A priori, según señala Huges Wilkin (WILKIN, 2001):

“Tras la demolición de un edificio, los productos de aluminio pueden ser reutilizados de nuevo, sin pérdida de prestaciones iniciales. El uso de aluminio reciclado conlleva significativos ahorros de energía, puesto que la fusión de los componentes de aluminio únicamente requeriría de un 5% de la energía inicial para producir el metal por primera vez. Otra ventaja es que gracias a su peso, permite disminuir frente a otros productos más pesados, el consumo de energía que conlleva la manipulación y el transporte tanto en la propia fábrica, envío e instalación, así como permitir aligerar estructuras y consumir menor material en las cimentaciones”.

Como posible desventaja del aluminio y posible forma de solventarlo, Lawrence W. Fisher (FISHER, 2005) afirma lo siguiente:

“En comparación con los materiales férricos, la resistencia a fatiga de las aleaciones de aluminio es en general inferior a las de los materiales férricos. Sin embargo, el uso extendido del aluminio en aplicaciones donde la fatiga es crítica, tales como en aeronáutica o en automoción, indica que una adecuada aleación de aluminio junto con la técnica de junta/unión apropiada, puede incrementar considerablemente la resistencia a fatiga”.

Dos ejemplos pioneros, coetáneos e imprescindibles a la hora de explorar las posibilidades del aluminio como revestimiento innovador de fachadas fueron:

- Los paneles, diseñados por Jean Prouvé, para la fachada principal del edificio residencial situado en la Plaza Mozart nº. 5 (París, 1954). Se trata de unas bandejas móviles de chapa de aluminio que sirven de antepecho, contraventana y parasol.

Fig. 12. Vista general de fachada del edificio Rue Mozart, París.

Fig.13. Vista detalle de antepecho.

- Los paneles de fachada de la antigua sede de ALCOA (ALCOA Bd, 425 Sixth Avenue. Pittsburgh. EEUU. 1949-1953), del estudio Harrison y Abramovitz. Este edificio presenta una envolvente tratada como una primera piel independiente que se ajusta a la geometría del muro soporte. Dicha piel se configuraba por medio de paneles de chapa de aluminio de 3,17 mm de espesor, 1829 mm de ancho y 3658 mm de largo, que incorporaban ventanas sobre antepechos con la forma de pirámide invertida. El por qué de esta forma se debe a dos factores: Las probables dificultades que por aquel entonces habría, para obtener una perfecta planeidad en un panel de estas dimensiones junto con la búsqueda deliberada de un determinado aspecto inédito y sencillo de fabricar (conformado por estampación de la chapa), que permitiera dotar a un edificio de 125 m de altura, de un aspecto cambiante según la luz del día.

Fig. 14. Alcoa Bd. Vista general.

En España, no sería hasta 1969, cuando se construye por primera vez un edificio de oficinas con fachadas de aluminio, obra del arquitecto Vázquez de Castro (Fig. 15). En ese año, se terminó su edificio de la calle Cedaceros 11, en Madrid, revistiéndose su fachada con paneles de fundición de aluminio, cuyo aspecto artesonado recuerda en cierto modo la estética de la sede de ALCOA (Fig. 14).

Fig. 15. Edificio c/ Cedaceros 11 (Madrid). Fuente: El País.

Por la necesidad de asegurar una mayor planeidad del revestimiento, reduciendo materia prima y costes, sugieron primeros paneles sándwich composite de aluminio en esa misma época, gracias a una “joint venture” entre las compañías BASF y ALCAN. En efecto, según el libro conmemorativo del cumplimiento de los 40 años en el mercado de paneles ALUCOBOND, la primera (y sencilla) fachada construida data de 1969 y se encuentra en Leverkusen (Alemania). En ella que se emplearon paneles enteros, sin cortar ni fresar, lacados en blanco, fijados a una subestructura tipo muro cortina.

En España, habría que esperar 20 años para que se montara en 1989, el primer sistema de revestimiento de fachada con paneles ALUCOBOND en el Edificio Piovera Azul, sito en la calle Peonías 12 de Madrid. Hoy en día, gozen de una implantación generalizada en España, pero sin embargo ni sus prestaciones ni sus desventajas son aún bien conocidas.

1.2.2. Definición y composición de paneles composite de aluminio (PCA)

Se entiende por PCA, un tipo de panel sándwich delgado, de un espesor total habitual de 4 mm, compuesto de dos chapas de aleación de aluminio de 0,5 mm de espesor adheridas a un núcleo delgado de 3 mm de espesor, que se presenta en dos opciones, generalmente denominadas como “PE” y “FR”. La primera opción se compone exclusivamente de un conformado laminar de polietileno de baja densidad, mientras en la segunda el conformado laminar de polietileno tiene otros componentes de naturaleza mineral.

1.2.2.1. Chapas de aluminio lacadas en continuo.

Aunque desde 2008 se han incorporado al mercado paneles composite con láminas de otros metales como el acero inoxidable, el cobre y el zinc, realmente el panel composite de aluminio sigue siendo el producto de mayor producción.

Conviene indicar que hoy en día lo que denominamos comúnmente como aluminio abarca realmente multitud de aleaciones de aluminio. En puridad, el término “aluminio” además de designar a un elemento químico determinado, nos sirve, de acuerdo con la Norma UNE EN 1396 para designar a todo metal con un contenido mínimo de aluminio en masa del 99 %, siempre que:

- Su contenido de Hierro más Silicio no sea superior al 1%.

- Su contenido de otros elementos no sea superior a 0,10 % cada uno, con la excepción del cobre, al que se permite un contenido de hasta un 0,20 % siempre que los contenidos de cromo y manganeso no excedan el 0,05%.

Ahora bien, el aluminio puro, sin tratar, es un metal blando cuya resistencia es insuficiente para la mayor parte de las aplicaciones de ingeniería. Para poder aprovecharnos de su ligereza tiene que ser reforzado mediante una serie de mecanismos, capaces de impedir los movimientos por dislocaciones, que son quienes provocan las deformaciones plásticas. Estos mecanismos llamados “de endurecimiento” son los siguientes:

- Deformación plástica del metal: Mediante este procedimiento se incrementa la densidad de dislocaciones, de forma que se obstaculiza la aparición de futuras dislocaciones.
- Precipitación de partículas muy pequeñas y finalmente dispersas incrementan la resistencia de la aleación de aluminio.
- Disolución: de elementos para formar aleaciones, tales como manganeso, magnesio y cobre, que pueden colocarse en las dislocaciones y por tanto reforzar el material.
- Reducción del tamaño de grano.

El término "aleación de aluminio", de acuerdo con la misma Norma antes referida, designa a toda sustancia metálica en la que la masa de aluminio predomina sobre la masa de cada uno de los otros elementos, siempre que los límites especificados de los contenidos en otros elementos sobre el aluminio puro sean tales que no sea aplicable la definición precedente. También es habitual utilizar el término aluminio aleado, para referirse a las aleaciones de aluminio. De acuerdo con el proceso de transformación en semiproductos, el aluminio y las aleaciones de aluminio pueden diferenciarse entre:

- Aluminio y aleaciones de aluminio para moldeo (en inglés, cast alloy). Aquel o aquellas previstas para conformar productos finales mediante fundición y moldeo.
- Aluminio y aleaciones de aluminio para forja (wrought alloy): Aquel o aquellas que, bien en forma de lingotes o bien de tochos, están previstos para transformarse en semiproductos, por medio de trabajos de metalistería tales como extrusión, laminación, etc.

De acuerdo con la Norma UNE EN 573, partes 1 y 2, las aleaciones de aluminio para forja pueden denominarse con las siglas EN AW más un código numérico de cuatro cifras, o bien simbólico, basado este último en símbolos químicos seguidos de dígitos para indicar el grado de pureza del aluminio o el contenido nominal del elemento considerado. Se explica a continuación el significado la primera opción (numérica) consistente en la expresión de cuatro dígitos que identifican una composición química específica:

- **Nxxx:** Identifica la aleación principal, según el/los metales:

1xxx	99 % de aluminio	5xxx	Magnesio
2xxx	Cobre	6xxx	Magnesio y silicio
3xxx	Manganeso	7xxx	Zinc
4xxx	Silicio		
- **xNxx** Identificación de la modificación de la aleación específica original, debido a una necesidad de control más intenso de impurezas o búsqueda de una mejora de las prestaciones. Así por ejemplo, el número cero (x0xx) identificaría la aleación inicial.
- **xNxx** Identificación de la aleación concreta. Por ejemplo AN AW 3005 es la equivalente a la que de acuerdo con el sistema simbólico se expresaría como Al Mn1 Mg 0,5.

Además de alearse con otros metales para conseguir unas determinadas prestaciones que no puede conseguir por sí solo, es posible modificar las prestaciones mecánicas de los semiproductos de aluminio aleado mediante tratamientos térmicos. Por tanto el término tratamiento térmico se entiende a todas las operaciones controladas de calentamiento o enfriamiento realizadas sobre un metal o aleación en el estado sólido y con la finalidad específica de modificar su estructura y propiedades. De estas operaciones, unos son endurecedores como el temple y la maduración, mientras que otros son de ablandamiento como el recocido.

Surgen así dos posibles tipos de aleaciones denominadas como tratables y las no tratables térmicamente. Las aleaciones de aluminio no tratables térmicamente, son aquellas para las que un tratamiento de calentamiento o enfriamiento no suponen mejora sensible de propiedades; precisan entonces de un tratamiento en frío para mejorar sus características mecánicas, que será aplicable en determinados grados o niveles según el metal empleado en la aleación. Pertenecen a este grupo las incluidas en los tipos 1xxx a 5xxx.

Las aleaciones tratables térmicamente, son aquellas que sí son sensibles a la mejora de sus propiedades mecánicas mediante un tratamiento térmico (en ocasiones calentamiento combinado posteriormente con enfriamiento). Por ejemplo, pertenecen a este grupo las aleaciones tipo 6xxx y 7xxx. De acuerdo con la Norma UNE EN 515, existe una nomenclatura específica para designar las posibles opciones de tratamiento, que consiste en una letra mayúscula y uno o varios dígitos que especifican un determinado nivel para el estado de tratamiento realizado. Los estados considerados son:

- F: De fabricación (“as fabricated”), indica que no ha habido tratamiento.
- O: Recocido: (“annealed”): Se trata de un calentamiento aplicado sobre productos semielaborados a fin de aminorar su resistencia a tracción o bien en el caso de los productos moldeados para mejorar su ductilidad.
- H: Acritud (“strain hardened”). Proceso de deformación plástica en frío después de o bien un tratamiento del recocido o bien después de una deformación en caliente, o bien de una combinación de ambos para obtener unas determinadas características mecánicas. Es el tratamiento habitual de los semiproductos destinadas a fabricar las láminas o chapas de los PCA. Su nomenclatura consiste habitualmente de dos cifras, la primera hace referencia al tipo de proceso termomecánico y la segunda al grado de dureza. Se distinguen entonces:
 - H1N: Se aplica a los semiproductos endurecidos por deformación en frío hasta el nivel previsto de características mecánicas.
 - H2N: Se aplica a los semiproductos endurecidos por deformación en frío hasta un nivel superior al previsto, seguido por ablandamiento por recocido parcial.
 - H3N: Se aplica a los semiproductos endurecidos por deformación en frío seguido de un proceso de recocido de estabilización.
 - H4N : Se aplica a los semiproductos previstos para ser lacados o pintados.
 - El segundo dígito N se refiere al nivel de dureza, creciente entre 2(cuarto duro), 4 (semiduro), 6 (tres cuartos duro), 8 (duro) y 10 (extraduro).
- T: Tratamiento térmico de endurecimiento estructural para obtener estados distintos a F,O,H. Se distinguen varios niveles, desde T0 hasta T12, cada uno de los cuales representa una combinación particular de tratamiento térmico efectuado.

- W: Tratamiento de templado. Es un tratamiento por el cual el semiproducto se presenta en un estado inestable que evolucionará hacia estable por maduración. Las aleaciones más comunes en la fabricación de los PCA son las siguientes:
 - EN AW 3005 (aleación de aluminio manganeso) con tratamiento H44 ó H46.
 - EN AW 5005 A (aleación de aluminio magnesio) con tratamiento H22.

El criterio de fabricación en una u otra aleación, parece basarse en razones de económicas, además de las derivadas del cumplimiento de prestaciones requeridas por el uso y la rentabilidad económica. Así, por ejemplo, en el caso de ALCOA, se empezó en 1989 a fabricar el panel REYNOBOND en EE.UU, con la aleación 3000 ya que era la más versátil para sus distintos productos.

Según los Documentos de Idoneidad Técnica DIT 345R y DIT 485, los primeros emitidos por el IETcc para sistemas de revestimiento de fachadas ventiladas con paneles composite de aluminio fabricados a partir de las aleaciones arriba referidas, las características mecánicas de las aleaciones eran las siguientes:

DIT 345R: Sistema de revestimiento de fachadas ventiladas con placas remachadas procedentes de paneles ALUCOBOND®, (aleación EN AW 5005 A H22):

Resistencia mecánica a tracción (R_m): ≥ 130 MPa.

Límite elástico ($R_{p0,2}$): ≥ 90 MPa.

Alargamiento (A_{50}): ≥ 5 % .

DIT 485: Sistema de revestimiento de fachadas ventiladas con placas remachadas procedentes de paneles REYNOBOND®, (aleación EN AW 3005 H46):

Resistencia mecánica a tracción (R_m): ≥ 185 MPa.

Límite elástico ($R_{p0,2}$): ≥ 160 MPa.

Alargamiento (A_{50}): ≥ 2 %.

Conviene recordar cuáles son las variables empleadas para caracterizar su comportamiento mecánico, que habitualmente se expresa mediante gráficas tensión-deformación (stress-strain) obtenidas de ensayos de tracción uniaxial a velocidad constante, caracterizados habitualmente en las correspondientes normas del material.

La tensión (σ) es función del producto de la deformación (ϵ) multiplicada por el Módulo de Young (E), ($\sigma = \epsilon * E$),. De acuerdo con la gráfica inferior perteneciente a un ensayo de tracción de chapa de aleación 5005, en dónde:

E es la pendiente de la sección recta de la gráfica (tramo elástico). Si se desplaza la recta al valor del 0,2% de la deformación se obtiene el límite elástico (Yield Strength) que se representa por $R_{p0,2}$. En el ejemplo, el valor obtenido es 118 MPa. Se define como la tensión de tracción requerida para causar una deformación pequeña pero permanente (habitualmente del 0.2%).

El valor de tensión que se considera es el de rotura y se obtiene dividiendo la máxima carga entre la sección inicial, representándose por R_m . En el ejemplo, el valor obtenido es 149 MPa.

La deformación A_{50mm} es la elongación plástica porcentual tras la fractura. En el ejemplo, el valor obtenido es 8 %

Fig. 16. Curva tensión-deformación para una aleación de aluminio 5005.

Finalmente, es necesario indicar las características clave del recubrimiento lacado en continuo que se aplica sobre la chapa de aluminio. Tal y como indica Lawrence W.Fisher, tanto el aluminio como las aleaciones de aluminio rápidamente desarrollan una capa superficial de óxido de aluminio cuando se exponen a condiciones ambientales. Esta capa, que es en cierta forma un producto de la corrosión, les frena y protege de esta corrosión ambiental, pero hay excepciones como las sustancias alcalinas, de las que se sabe son capaces de penetrar esa capa exterior.

En consecuencia, el aluminio y las aleaciones de aluminio necesitan de una capa protectora extra que les proteja del efecto de la corrosión agresiva y a largo plazo, protección que sólo puede conseguirse mediante anodizado o bien mediante un lacado, que habitualmente es orgánico y se aplica en continuo.

En general, los paneles que habitualmente se comercializan en el mercado europeo están compuestos por chapas exteriores lacadas en continuo con un revestimiento de fluoruro de polivinilideno (PVDF), aplicado en varias capas, mientras que las caras interna de las chapas no expuestas, pueden ser de aluminio sin revestir o bien pueden estar revestidas de un recubrimiento continuo de menor calidad (por ejemplo a base de un lacado de barniz de poliéster transparente).

Las características a considerar en las chapas lacadas son principalmente las indicadas por la Norma UNE EN 1396, y se refieren al número de capas empleado en el recubrimiento, al producto empleado, al espesor total, así como al brillo especular y a la diferencia de color máxima admisible. Además existen otras características importantes tales como la durabilidad del revestimiento orgánico, la resistencia al plegado, etc., para cuya evaluación dicha Norma remite a los métodos especificados por la European Coil Coating Association, (ahora englobados en la familia de Normas UNE EN 13523).

1.2.2.2. Núcleo de polietileno de baja densidad con o sin componentes minerales

El polietileno de baja densidad, (en inglés low density polyethylene, LDPE) es un polímero termoplástico. Como todo polímero está formado por largas cadenas moleculares configuradas básicamente por átomos de carbono unidos mediante enlace covalente. Como todo termoplástico es susceptible de deformarse en presencia de calor y de mantener su nueva forma tras su enfriamiento.

Cabe destacar que inicialmente se probó el PVC como núcleo de este tipo de paneles. Sin embargo, pronto se eligió al polietileno de baja densidad como material más idóneo para este tipo de paneles. Su principal ventaja es su bajo coste y como desventaja, su temperatura de fusión es de 120 °C, fácilmente alcanzable en caso de incendio. Sus principales características serían las siguientes:

- Su ligereza (entre 0,916 y 0,93 g/cm³).
- Temperatura de transición vítrea: 115 °C.
- Temperatura de fusión: 137 °C.
- Temperatura de descomposición: 406 °C.
- Bajo coste y fácil obtención (es el material plástico de mayor consumo).
- Baja absorción de agua, nula emisión de olores o sabores. No tóxico y reciclable
- Coeficiente de dilatación térmica ($\alpha_{LDPE} = 16 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$) adecuado para "acompañar" a las chapas aluminio aleado ($\alpha_{Al} = 2,4 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$) en sus dilataciones y contracciones de origen térmico.

- Posibilidad de pigmentación para dotar al núcleo del aspecto deseado.
- Contribución a la facilidad de manipulación del panel en posteriores operaciones de corte, fresado, perforación, etc. Además de no requerir, a día de hoy, unos equipos excesivamente punteros para la fabricación de los paneles, tal y como se explicará más adelante.

Recientemente, y ya en la pasada década, han aparecido en el mercado paneles que presentan un comportamiento al fuego mejorado, capaces de satisfacer las exigencias reacción al fuego requeridas a las fachadas para evitar la propagación del incendio por el exterior del edificio.

Su composición se basa en una mezcla entre polietileno de baja densidad, más otros componentes de naturaleza mineral que permiten mejorar la reacción al fuego, tales como por ejemplo retardantes de llama. Se presenta en forma de gránulos de aproximadamente 5 mm de diámetro, listos para configurar mediante el adecuado aporte de calor y presión un laminado sobre el cual se adhieren las láminas de aluminio.

1.2.2.3. Film adhesivo

En general es una poliolefina (como por ejemplo polietileno de baja densidad). La composición de este film adhesivo depende de la del resto del panel y en particular de la naturaleza del núcleo y de la chapa metálica, que pueden requerir de una imprimación ya aplicada para promover la adherencia en el proceso de laminación.

1.2.2.4. Film de protección

Habitualmente, a todo panel sándwich composite con acabado orgánico, se le aplica una vez fabricado, un film removible de alta resistencia y opaco, para proteger el lacado del panel frente a posibles daños durante su manipulación, transporte y almacenamiento.

En este film protector aparecen unas flechas para indicar la dirección y sentido de ensamblaje de la placa en la obra, ya que el aspecto de las mismas y en particular, de aquellas con acabados metalizados e iridiscentes, pueden percibirse como distintos entre paneles adyacentes si no se respeta la constancia del sentido marcado por la flecha. Una vez instaladas, deberá retirarse este film para evitar su excesiva exposición a la luz solar y a la intemperie.

1.2.3. Composición de sistemas de revestimiento de fachada ventilada con PCA

Los sistemas estudiados son unidades de obra previstas para el revestimiento de fachadas ventiladas de edificación, en obra nueva y rehabilitación. Están configurados principalmente por un aplacado de placas o bandejas procedentes de paneles compuestos de aluminio que presentan el acabado decorativo considerado. Este aplacado se une mediante fijaciones específicas a una subestructura de perfilería de aluminio, que a su vez se ancla adecuadamente a la estructura del edificio o bien a paramentos de fábrica de ladrillo u hormigón.

No forman parte de estos sistemas los anclajes de la subestructura al soporte, ni tampoco el aislamiento térmico que pudiera incorporarse en la cámara de aire. Los sistemas evaluados, se componen de los siguientes elementos, que en función de parámetros de diseño principales se agrupan según se indica en la Tabla 2.

- Aplacado a base de bandejas o placas.
- Cámara de aire ventilada en la que se puede colocar un aislamiento térmico.
- Fijaciones específicas para el aplacado y la subestructura considerados
- Subestructura configurada por ménsulas, montantes y/o travesaños
- Accesorios previstos para resolver diversos puntos singulares, como jambas, vierteaguas, dinteles.

Tabla 2: Tipos de revestimiento

Revestimiento	Modulación	Fijación	
		Tipo	Componentes
Placas remachadas	Horizontal	Mecánica y vista	(remache ciego)
	Vertical		
Placas adheridas	Vertical	Adhesiva y oculta	Imprimación, cinta de doble cara y adhesivo
Bandejas colgadas	Vertical	Mecánica y oculta	Pestañas laterales (entalladura y bulón)
	Horizontal	Mecánico – adhesiva y oculta	Perfil adherido rigidizador y/o portante
Bandejas sobrepuestas	Horizontal	Mecánica oculta	Remaches a perfil con sección transversal en forma de “S” ó “Z”
		Mecánico-adhesiva y oculta	Perfil adherido rigidizador y/o portante

1.2.3.1. Sistema de revestimiento con placas remachadas

Fue el sistema de revestimiento inicial con paneles composite de aluminio, y probablemente nació por simple transposición de los tipos de fijación de planchas metálicas a la subestructura. El remachado es un tipo de fijación visto que se basa en la deformación del cabezal y la rotura del vástago como mecanismos para conseguir la unión mecánica entre placa y subestructura.

Notas

- 1 Montante de aluminio (perfil omega de aluminio extruido). 2 Placa remachada
3. Ménsula de sustentación 4. Ménsula de retención. 5. Angular remachado para unión
entre montante y travesaño 6. Travesaño (perfil omega de aluminio extruido)

Fig. 17 Ejemplos sistemas remachado con subestructura unidireccional y bidireccional.

Se utilizan habitualmente remaches ciegos ya que, en el caso de fachadas ventiladas, únicamente es viable su instalación desde el lado exterior, y de cabeza alomada, que puede ir lacada en el mismo color que la placa.

En el remachado, es preciso tener en cuenta las recomendaciones del fabricante, especialmente las distancias a bordes, la distribución y tipo de perforaciones, de modo que se permita la dilatación de placa y subestructura, tal y como se indican en las figuras siguientes.

Figura 13: Distribución y tipo de perforaciones para el remachado

Fig. 18: Ejemplos de especificaciones para el remachado de placas procedentes de PCA.

1.2.3.2. Sistema de revestimiento con bandejas colgadas

1.2.3.2.1. Sistema estándar

Al igual que en el caso anterior, la fijación mediante cuelgue de bandejas procedentes de chapas metálicas parece ser anterior a su aplicación a las bandejas procedentes de composite de aluminio. Y el objetivo, puramente estético: Ocultar las fijaciones del aplacado. Uno de los primeros ejemplos realizados por un arquitecto de prestigio lo encontramos en la fachada Norte el Centro de diseño de Mercedes Benz (Sindelfingen, Alemania) diseñado en 1998 por Renzo Piano.

Fig. 19. Centro de diseño de Mercedes Benz. Arqto. Renzo Piano.

En este caso, el sistema constructivo de revestimiento de fachadas ventiladas resulta de colocar “bandejas” o “casetes” procedentes de paneles sándwich composite sobre una subestructura metálica de montantes y travesaños, que transmite las cargas a la hoja soporte, dejando al igual que en el caso de las placas, entre bandejas y hoja soporte, una cámara de aire con aislamiento térmico. Las “bandejas” o “casetes” se conforman a base de cortar, fresar y plegar esos paneles, de entre 3 y 6 mm de espesor según la configuración habitual, resultando piezas de modulación vertical. Los pliegues perimetrales (pestañas) rigidizan las bandejas posibilitando con su forma incrementos de inercia de las mismas. En su pestaña superior horizontal cuentan con un pliegue complementario mientras que en su pliegue inferior horizontal pueden contar con un pliegue complementario opcional (doble pestaña). Los pliegues verticales tienen una profundidad habitual de 50 mm y presentan dos entalladuras (muescas troqueladas) en forma de “L”. Las entalladuras superiores, al encajarse sobre los pasadores, permiten colgar la bandeja a la subestructura.

Fig. 20 Ejemplos de especificaciones para el remachado de placas procedentes de PCA.

Fig. 15. Configuración de pestaña superior

Fig. 16: Mecanizado y plegado de panel a 90°

Fig. 17: Mecanizado y plegado de panel a 135°

Fig. 18: Mecanizado y plegado curvo de panel

Fig. 19: Bandeja con pliegue inferior sencillo

Fig. 20: Bandeja con pliegue inferior doble y perforaciones para evacuación de agua

Fig. 21: Ejemplos de especificaciones para el fresado de placas procedentes de PCA y montaje de bandejas.

Notas

1. Montante (perfil omega de aluminio extruido)
2. Bandeja colgada
3. Ménsula de sustentación
4. Bulón no regulable
5. Perfil complementario entre montantes
6. Ménsula de retención

Notas

1. Montante (perfil omega de aluminio extruido)
2. Bandeja colgada
3. Ménsula de sustentación
4. Pieza de ajuste regulable
6. Ménsula de retención

Fig. 22: Ejemplos de especificaciones para bandejas colgadas procedentes de PCA.

1.2.3.2.2. Sistema con perfiles rigidizadores adheridos (BPA)

En ocasiones, para limitar por estética y seguridad la deformación de la cara vista de la bandeja, se suelen emplear perfiles adheridos por su trasdós, con la finalidad de poder limitar la deformación debida a la acción del viento.

El BPA es un sistema “híbrido” cuya unión entre aplacado y subestructura es mecánico y adhesiva al mismo tiempo. Probablemente haya surgido por dos motivos: Por un lado, por la necesidad de resolver modulaciones horizontales optimizando el aprovechamiento de paneles de tamaño estándar. Por otro, por la presencia en el mercado de adhesivos industriales que permitían dotar de una cierta elasticidad a la unión entre placas rígidas de piedra natural, gres, etc. a la subestructura) y transmitirle las cargas de viento y peso propio.

En este caso, la bandeja no se fija enteramente a la subestructura mediante adhesivo. Éste únicamente se emplea para adherir los rigidizadores al trasdós de la misma. Estos, consistían en perfiles angulares de aluminio extruído o bien fabricados a partir del propio panel composite, que además se fijan mediante remachado sobre sus extremos y perpendicularmente a las pestañas plegadas de las bandejas. En el caso de que sean verticales, con o sin entalladuras y se fijan a la subestructura, vertical, constituyen el sistema constructivo objeto de esta tesis. Mientras que, en el otro ala del perfil angular se ubicarían las entalladuras que permitirán el cuelgue sobre la subestructura. De esta forma, permitan seguir ocultando su fijación, quedando limpia la cara vista de la bandeja.

Fig. 23: Ejemplo de bandeja de modulación horizontal con rigidizador adherido por trasdós.

Fig. 24: Ejemplo de bandeja con rigidizador adherido (Fuente: DIT 553A/12).

1.2.3.3.Sistema de bandejas sobrepuestas

Al igual que en el caso descrito en el apartado 6.3.1 el sistema constructivo de revestimiento de fachadas ventiladas resulta de colocar “bandejas” o “casetes” procedentes de paneles sándwich composite sobre una subestructura metálica de montantes y travesaños, con la particularidad de que su unión a la subestructura se realiza mediante remachado de sus pestañas horizontales a sendos perfiles con sección transversal en forma de S y Z situados respectivamente en la pestaña horizontal inferior y superior de la bandeja. Los perfiles S y Z se unen de forma machihembrada, de forma que se configura un revestimiento sin juntas horizontales abiertas a la entrada del aire.

Fig. 25: Ejemplo de bandeja sobrepuesta con rigidizador adherido (Fuente DIT 553A/12).

Opcionalmente, pueden llevar refuerzos adheridos de forma que se convierte en un sistema híbrido en el que las bandejas se remachan a los perfiles S y Z mientras que los rigidizadores interiores ocultos tienen como misión asegurar la deformación no supere determinados límites.

1.2.3.4. Sistema de revestimiento con placas adheridas

En estos sistemas la unión adhesiva entre superficies de aluminio correspondientes a los perfiles de refuerzo interior y trasdós de planchas se realiza mediante un conjunto de tres componentes: Cinta de doble cara, imprimación y el adhesivo propiamente dicho, de poliuretano monocomponente. En 1999, los autores Gunter Krüger y Roland Schneider (KRÜGER & SCHNEIDER, 1999) describieron el potencial que el uso de este tipo de sistema de adhesivo puede suponer para el proyecto y la construcción de fachadas ventiladas, en comparación con otros sistemas convencionales de fijación. Así por ejemplo, defienden que esta técnica de unión permite:

- Permanecer oculta sin debilitar el espesor del panel.
- Gracias a la adecuada distribución del adhesivo sobre los bordes del panel las cargas resultantes de viento, temperatura y peso propio son distribuidas uniformemente y nunca se producirán tensiones locales.
- En caso de rotura del aplacado, el cordón de adhesivo podría evitar caída de fragmentos.
- Permitiría el uso de aplacados más delgados y de mayores dimensiones

Sin embargo, debido a la ausencia de fijaciones mecánicas, el sistema debe garantizar las adecuadas prestaciones y durabilidad en las peores condiciones posibles. Además, conviene recordar que los adhesivos curan in situ y sus prestaciones y durabilidad vienen condicionados por la ejecución (limpieza, respeto de tiempos y procedimientos) y ése quizá sea su principal hándicap.

Este sistema presenta, para evitar estos problemas, un producto de limpieza, una imprimación (ambos para preparar la superficie) y al adhesivo elástico propiamente dicho, en este caso a base de poliuretano monocomponente.

La preparación de las superficies a adherir es uno de los requisitos cruciales para la puesta en obra. La calidad de la unión encolada depende por una parte del adhesivo a emplear y por otra, de la preparación de las superficies a unir. En efecto, la limpieza, es decir la ausencia de óxido, grasa o suciedad permite la mejor mojabilidad del adhesivo, que es la capacidad del adhesivo para fluir a lo largo y a través de la superficie de los

adherentes. Además de la mojabilidad del adhesivo, debe tenerse en cuenta la composición o naturaleza del mismo para poder determinar la idoneidad de sus propiedades.

Fig. 26: Ejemplo de sistema adherido (Fuente: Catálogo STAC).

1.2.3.5. Sistemas a base de cinta adhesiva permanente

En el ámbito de la construcción, siempre debe citarse como línea de investigación aquella que busca optimizar la puesta en obra, simplificando procesos y reduciendo plazos

sin disminuir prestaciones, particularmente en edificios representativos, donde a menudo los recursos asignados favorecen la prescripción de sistemas constructivos innovadores, con envolventes complejas no resolubles con métodos constructivos tradicionales. En el ámbito de la Arquitectura, y tal y como se comentaba en el estado del arte, una de las principales ventajas de este tipo de fijaciones es que gracias a permanecer ocultas, permiten al proyectista una mayor libertad proyectual, y a su vez, una mayor libertad formal, permitiendo incluso como es caso de revestimientos a base de chapa metálica, la formación de envolventes de gran complejidad. Entonces se citaba como un caso representativo el Walt Disney Concert Hall, situado en Los Ángeles, obra de Frank Gehry. En particular puede citarse la cinta adhesiva permanente de doble cara 3M™ VHB™ a base de espuma acrílica que ya se ha utilizado por este arquitecto para la fijar el aplacado de acero inoxidable a la subestructura en las fachadas de este edificio

Fig.27: Walt Disney Concert Hall. Vista axonométrica desde el Este.
(Fuente: moleskinearquitectonico.blogspot.com/2009/02/gehry-walt-disney-concert-hall.html)

Fig. 28. Walt Disney Concert Hall. Vista desde el Sureste.
(Fuente: moleskinearquitectonico.blogspot.com/2009/02/gehry-walt-disney-concert-hall.html)

Fig.29: Walt Disney Concert Hall. Detalle de subestructura de pantallas curvas.
(Fuente: moleskinearquitectonico.blogspot.com/2009/02/gehry-walt-disney-concert-hall.html)

3M™ VHB™ Tapes for Architectural Panels

Proven for more than 25 years in applications from Denver to Dubai

For quick permanent assembly of cladding and curtain wall panels, 3M™ VHB™ Tapes provide an ideal combination of performance, durability and application ease.

Bond to a wide range of architectural panel substrates including dissimilar materials. With design flexibility, create visibly stunning facades.

Application warranty available for qualifying applications.

Product Number	Tape Thickness w/o liner Mils (mm)	Liner Type	Description	Adhesive Type	Temperature Resistance		Solvent Resistance	Relative Adhesion	
					Minutes Hours	Days Weeks		HSE	LSE
4941	45 (1.1)	3 mil 54# DK	• Gray conformable acrylic closed-cell foam carrier	Multi-purpose Acrylic	300°F (149°C)	200°F (93°C)	High	High	Med.
4956	62 (1.6)				250°F (121°C)	200°F (93°C)			
4991	90 (2.3)	5 mil Red, Printed Polyethylene Film	• Black conformable acrylic closed-cell foam carrier	Modified Acrylic	300°F (149°C)	250°F (121°C)	High	High	Med.
5952	45 (1.1)	5 mil Red, Polyethylene Film			300°F (149°C)	250°F (121°C)			
5962	62 (1.6)				300°F (149°C)	250°F (121°C)			

Note: This technical information and data on these pages should be considered representative or typical only and should not be used for specification purposes.

www.3M.com/vhb/structuralglazing

Fig.30: Extracto información publicitaria cinta adhesiva permanente. (Fuente: 3M).

En España, y concretamente en Madrid, puede citarse como ejemplo de uso de esta cinta, el revestimiento de las fachadas laterales del edificio “La Vela”, de la Ciudad BBVA, resueltas mediante chapa 0,8 acero inoxidable totalmente adheridas con estas

cintas a panel honeycomb de aluminio 10 mm de espesor, curvado según tramo de fachada, para permitir tener un soporte ligero y perfectamente plano.

Fig. 31: Vista general de revestimiento de Edificio La Vela con perfiles rigidizadores adheridos por trasdós del aplacado. (Fuente: Acerinox).

Fig. 32: Detalle de revestimiento de Edificio La Vela con perfiles rigidizadores adheridos por trasdós del aplacado. (Fuente: Acerinox).

1.3. EVALUACIÓN TÉCNICA DE LOS SISTEMAS DE FACHADA VENTILADA CON PCA

1.3.1. La evaluación técnica de la innovación

1.3.1.1. En el ámbito del DIT

El DIT es un Documento que viene concediéndose por Instituto de Ciencias de Construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC) desde el año 1962 plenamente aceptado por los agentes de la Edificación y además reconocido por el Código Técnico de la Edificación que recoge la evaluación técnica sobre la idoneidad de empleo para el uso previsto, realizada por la Unidad de Evaluación Técnica de Productos Innovadores del IETcc-CSIC. En el sector, puede considerarse como la "llave" que permite al suministrador de un producto o sistema constructivo innovador, demostrar que contribuyen al cumplimiento de las exigencias básicas que sean de aplicación al edificio.

El DIT se concede en el ámbito de la Organización Europea UEAtc (Union Européenne pour l'Agrement Technique) formada en la década de los 60, entre varios Institutos europeos, entre ellos el IETcc; que acordaron el establecimiento de unas reglas, no sólo para la concesión de estos documentos sino para su convalidación entre los Institutos de la Organización, con la visión hace más de cincuenta años, de favorecer la aceptación de la innovación de los productos o sistema constructivos innovadores.

A grandes rasgos, la metodología de la evaluación técnica conducente a la obtención de un DIT supone entre otras, la realización de las siguientes tareas:

- Visita a fábrica y toma de muestras: El objeto es comprobar el cumplimiento y fiabilidad del plan de control establecido para la producción en fábrica en aras de evaluar su adecuada trazabilidad y calidad, así como marcar las muestras necesarias para la realización de los ensayos específicos sobre el sistema constructivo a evaluar.
- Definición de métodos de ensayo, ejecución e interpretación de resultados: El objeto es evaluar las prestaciones declaradas por el fabricante frente a las exigencias o Requisitos Esenciales o Básicos de las Obras (RBO).

Los ensayos se clasifican en tres tipos:

- Identificación: Definen de manera inequívoca al producto mediante la comprobación de una serie de características físico – químicas.
- De aptitud de empleo: Permiten determinar la idoneidad para el uso previsto.
- Durabilidad: Son los que permiten estimar la capacidad del producto o sistema constructivo para mantener o conservar sus prestaciones a lo largo del tiempo, bajo la influencia de acciones previsibles, siempre que la obra se haya diseñado y ejecutado correctamente y además se realicen las tareas oportunas de mantenimiento.
- Visitas a obras y encuestas a usuarios: El objeto de las visitas es, por un lado, comprobar aspectos relativos a la funcionalidad y durabilidad del producto, y por otro lado, verificar la viabilidad de su puesta en obra, identificando las medidas y procedimientos de control, evaluando la influencia que en el proceso tendrá la intervención de las empresas aplicadoras o instaladoras. El objeto de la encuesta es verificar el comportamiento satisfactorio del sistema a lo largo del tiempo, siempre que se hayan respetado las especificaciones de uso y mantenimiento.
- Finalmente, la evaluación propiamente dicha, en la que se valoran los resultados experimentales obtenidos, sobre muestras con trazabilidad demostrada, así como los informes presentados, para poder concluir que el sistema innovador es idóneo para el uso previsto.

1.3.1.2. En el ámbito de la DPC y el DITE

Para los productos de construcción, se emitió por el Parlamento Europeo la Directiva 89/106/CEE de 21 de diciembre de 1988; durante su vigencia, desde el 1 de julio de 1991 hasta el 30 de junio de 2013, se buscó la eliminación de barreras técnicas nacionales que obstaculizaran la libre circulación de productos de construcción, mediante la aproximación de leyes, reglamentos y disposiciones administrativas de los Estados Miembros del Espacio Económico Europeo.

Definía como productos de construcción a aquellos que se incorporaran de forma permanente a las obras de edificación o de ingeniería civil, y para conseguir que fueran idóneos para el uso previsto, tendrían que cumplir entonces las siguientes condiciones:

- Que tuvieran características tales que las obras (de edificación o de ingeniería civil) donde fuesen incorporados, ensamblados, aplicados o instalados, pudieran satisfacer, siempre y cuando dichas obras estuvieran adecuadamente diseñadas y construidas, los seis Requisitos Esenciales establecidos en la Directiva que les fuesen de aplicación. Estos seis Requisitos eran los siguientes:

1. Resistencia mecánica y estabilidad.
2. Seguridad en caso de incendio.
3. Higiene, salud y medio ambiente.
4. Seguridad de utilización.
5. Protección frente al ruido.
6. Ahorro de energía y aislamiento térmico.

La Comisión Europea (CE) consideró necesaria la redacción de los denominados Documentos Interpretativos (uno para cada Requisito Esencial) indicados en la DPC, con el fin de establecer y aclarar cuáles serían las características de los productos que permitieran a los edificios o las obras de ingeniería dónde se incorporasen, satisfacer los Requisitos Esenciales.

- Que dichos productos lleven el marcado CE, acrónimo de “Conformité Européenne”, y cuyo significado es que el producto cumplía con las condiciones establecidas en la especificación técnica europea armonizada aplicable, es decir con aquel documento que le indicase las características prestacionales requeridas en los correspondientes mandatos de la Comisión. La DPC establecía dos posibles especificaciones técnicas europeas armonizadas:

1. Norma Armonizada, mandatada por la Comisión al CEN y de obligado cumplimiento para suministradores de aquellos productos bien conocidos en el mercado europeo (p.ej. cemento, materiales aislantes de espumas plásticas, etc.)
2. Documento de Idoneidad Técnica Europeo (DITE) , documento que recoge la evaluación técnica voluntaria realizada sobre un producto o sistema constructivo innovador o no cubierto total ni parcialmente por una norma armonizada. Los DITE se podían emitir en base a una Guía DITE o un CUAP (Common Understanding Assessment Procedure), previamente publicado por la EOTA. En concreto, para los sistemas de fachada

ventilada, por mandato de la Comisión Europea a la EOTA, se estuvo desarrollando la Guía DITE nº 034, para la evaluación técnica y si procede concesión de DITE a los kits de revestimiento de fachada, que finalmente fue aprobada por la EOTA en abril de 2012, tras aproximadamente diez años de desarrollo interno.

1.3.2.1.3. En el ámbito de la Reglamentación española (CTE)

Cuando se aprobó el R.D. 314/2006 del 17 de Marzo, el Código Técnico de la Edificación, en adelante CTE, introdujo en su artículo 5.2 de la parte I. General “Conformidad con el Código Técnico de la Edificación, de los productos, equipos y materiales”, tres aspectos a considerar:

En el apartado 5.2.1 se indicaba que los productos (y por extensión, los sistemas) de construcción que se incorporasen con carácter permanente a los edificios, llevarían el marcado CE, de conformidad con la Directiva de productos de Construcción (DPC) 89/106/CEE.

En el apartado 5.2.4 se indicaba que también podrían reconocerse otras tres formas de certificación: Las certificaciones de conformidad de las prestaciones finales de los edificios, las certificaciones de conformidad que ostentasen los agentes que intervienen en la ejecución de las obras y otras certificaciones que facilitaran el cumplimiento del CTE.

En el apartado 5.2.5 se establecía el reconocimiento de conformidad de aquellos productos, equipos y sistemas innovadores que dispusieran de una evaluación técnica favorable de su idoneidad para el uso previsto concedida por las entidades autorizadas para ello. En consecuencia, la evaluación técnica conducente a la emisión de DIT debía, para poder justificar el cumplimiento del CTE, redirigirse hacia el estudio de aquellas características de los sistemas que permitieran cumplir al edificio donde se instalaran, de aquellos Requisitos que le fueran aplicables.

Sin embargo, estas certificaciones indicadas en el artículo 5.2.4 no están aún lo suficientemente aceptadas por los principales agentes del sector y no quedaban aclaradas por el CTE cuestiones como por ejemplo, ¿quiénes podrían realizar las primeras?; ¿cuál sería el alcance de las segundas?; ¿qué podrían significar para los productos de construcción?

Por ello, parece entonces que la conformidad de los sistemas constructivos innovadores debería principalmente justificarse mediante una “obligada” evaluación previa que hubiera dado lugar a uno de los dos siguientes reconocimientos:

- Un marcado CE, para el que, en el caso particular de los sistemas innovadores, según la Directiva, antes se habría tenido que obtener el Documento de Idoneidad Técnica Europeo (DITE).
- Un Documento de Idoneidad Técnica (DIT).

En el caso de las fachadas ventiladas, y hasta la aprobación de la Guía DITE 034 en abril de 2012, el mercado nacional dirigió la demanda de evaluaciones técnicas hacia la obtención del DIT, siguiendo la inercia iniciada en el año 2000. Hasta la fecha, los DIT emitidos para sistemas de revestimiento de fachada ventilada son principalmente aquellos con uniones mecánicas vistas, seguidas de las mecánico-adhesivas-ocultas (ya existían sistemas con DIT desde 1995), frente a una total ausencia de sistemas con fijación totalmente adheridas.

1.3.1.4. En el ámbito del Reglamento UE 305/2011

Tras más de veinte años de vigencia, la Directiva de Productos de Construcción fue anulada y sustituida por el llamado Reglamento UE 305/2011 de Productos de Construcción del Parlamento Europeo y del Consejo. Por ser reglamento, está vigente en toda Europa desde el 1 de Julio de 2013, salvando así la difícil implementación conjunta que la Directiva tenía en los distintos Estados Miembros. Además, según Blázquez (BLÁZQUEZ, 2008) su articulado traía consigo otros cambios, entre los cuales se reseñan a continuación los considerados más relevantes para el tema de la Tesis:

1. Se descarta la referencia a la idoneidad de empleo para el uso previsto, así como cualquier mención a la innovación y a los productos innovadores, que se les considera como “productos no contemplados en las normas armonizadas”.
2. Asimismo, se descarta el concepto de seguridad como principio desarrollador de la reglamentación, siendo el objeto del Reglamento garantizar que se presenta información fiable en relación con las prestaciones del producto y sobre el uso del mercado CE. En consecuencia, el mercado CE servirá para justificar que la información que acompaña al producto se ha obtenido de conformidad con el Reglamento propuesto y por tanto debe considerarse exacta y fiable.

3. Como principal novedad, aparece la Declaración de Prestaciones, documento por el cual el fabricante asume la responsabilidad de la veracidad de los valores de las características declaradas.
4. Deja de emitirse el Documento de Idoneidad Técnica Europeo (DITE), que será sustituido por la ahora llamada Evaluación Técnica Europea (ETE). Asimismo, desaparece la posibilidad de seguir emitiéndose Guías DITE y CUAPs; que son sustituidos por los Documento de Evaluación Europeo (DEE); aunque las Guías DITE aprobadas y vigentes a la fecha de entrada en vigor del Reglamento, podrán ser utilizadas como DEE a corto o medio plazo. En el caso de la Guía DITE 034, podrá seguir siendo utilizada como DEE hasta 2017. En cambio los CUAPs existentes tendrán que ser transformados en DEE antes de la emisión de la primera ETE que en base a ellos se deseara obtener.
5. Los seis Requisitos Esenciales se denominan ahora Requisitos Básicos de las obras y además, aparece la evaluación de la accesibilidad en el Requisito nº 4 y aparece la evaluación de un nuevo Requisito, el nº 7: La utilización sostenible de los recursos naturales, que supone que las obras deberán proyectarse, construirse y demolerse de tal forma que la utilización de los recursos naturales sea sostenible y se garantice:
 1. La reciclabilidad de obras, sus materiales y sus partes tras la demolición.
 2. La durabilidad de las obras.
 3. La utilización de materias primas y materiales secundarios en las obras de construcción que sean compatibles desde el punto de vista medioambiental.

1.3.2. La evaluación técnica de sistemas de fachada ventilada. Antecedentes

1.3.2.1. En el ámbito del DIT. Ejemplos

DIT 353R-2008

En el caso de las fachadas ventiladas, y hasta la aprobación de la Guía DITE 034 en abril de 2012, el mercado nacional dirigió la demanda de evaluaciones técnicas hacia la obtención del DIT, siguiendo la inercia iniciada en el año 2000, año en el que fue emitido el primer DIT sobre fachadas ventiladas al “Sistema Mecanofas Karrat S-7”, ampliado por BLAZQUEZ y LAHOZ en 2008. La esencia del nuevo sistema se basaba en realizar una doble incisión longitudinal a 45° sobre las placas, y en la incorporación de un perfil de aluminio en forma de siete, con un saliente que se ajustaba al ranurado previo. El adhesivo

recubría no sólo el saliente sino toda la superficie del perfil en contacto con el aplacado. Esta técnica permitía reducir espesores de placa sustancialmente, sobre todo si se comparaba con los espesores de aplacados requeridos por los pasadores.

Fig. 33. Vista general y detalles Sistema Mecanofas Karrat S7 (2000).

Asimismo, se basaba en la utilización de un adhesivo de poliuretano monocomponente (sin imprimaciones ni promotores de adherencia) y en vez de grapa complementaria, el propio perfil 7 se ajustaba por clipaje o fricción sobre el perfil horizontal. En este caso, el adhesivo y el saliente del perfil 7 transmitían el peso propio y la acción del viento al perfil horizontal. También fue objeto de una evaluación técnica favorable de aptitud de empleo, en este caso nacional, que concluyó con la emisión del Documento de Idoneidad Técnica nº 353 en el año 2008 (BLAZQUEZ Y LAHOZ, 2008), que mejoró y amplió al primero, concedido por el IETcc a un sistema de revestimiento de fachadas ventiladas. El empleo de la unión mecánico-adhesiva, permitía incorporar diversos materiales de aplacado en un mismo sistema de subestructura: Además de los considerados inicialmente (esto es, piedra natural (granito o mármol) y gres porcelánico), en 2007 se amplió el abanico de revestimientos incluyéndose paneles laminados de alta presión (conocidos también por su acrónimo en Inglés High Pressure Laminates (HPL) y otro tipo de piedra natural (pizarra lutita). Y por otra parte, introdujo también un problema que no tenían las fijaciones mecánicas: El desplazamiento de las placas sobre su perfil por efecto de la degradación del adhesivo y del empuje del viento, problema que fue resuelto

sin mayores complicaciones mediante el empleo de la aplicación puntual de adhesivo (véase Fig. 34).

Fig. 34. Fachada de Facultad de Ciencias Sociales. Universidad Jaime I (Castellón).

Y como en toda unión en el que se emplean adhesivos, fue preciso incorporar a la evaluación por primera vez dos conceptos fundamentales de las uniones adhesivas:

- El adhesivo empleado debe proporcionar la adherencia adecuada al uso previsto sin empeorar la cohesión del material.
- Si dos materiales no se adhieren es porque no se adhieren sus superficies. Esto conlleva básicamente la limpieza de las superficies a adherir, y el respeto de los tiempos de curado.

Hasta la fecha, los DIT emitidos para sistemas de revestimiento de fachada ventilada son principalmente aquellos con uniones mecánicas vistas, seguidas de las mecánico-adhesivas-ocultas (ya existían sistemas con DIT desde 1995), frente a una total ausencia de sistemas con fijación totalmente adheridas. Se presentan a continuación y de forma resumida, el contenido de las principales evaluaciones técnicas dirigidas por el autor y conducentes a la emisión de DIT que se hubieran llevado a cabo en los últimos 10 años.

DIT 405R – 2008 (renovación del DIT 405 2003)

El Documento de Idoneidad Técnica DIT 405R/08 (BLÁZQUEZ Y LAHOZ, 2008), fue emitido en 2008 por el IETcc para el sistema de revestimiento de fachadas ventiladas mediante bandejas procedentes de paneles composite larson®, a beneficio de la empresa ALUCOIL SA, como renovación del DIT emitido inicialmente en 2003. Este Documento recoge la evaluación técnica favorable realizada para determinar la idoneidad de empleo del sistema de revestimiento indicado en la Figura 35, que se componía principalmente por :

Fig.35: Vista general

- Subestructura, configurada por montantes de perfiles de aluminio extruido y con sección transversal en forma de omega LCH1 y ménsulas de chapa de aluminio plegada LCH2.
- Fijaciones de bandejas a subestructura, mediante piezas de cuelgue denominadas
- Bandejas, configuradas mediante corte, fresado y plegado de los paneles composite indicados y además :
 - Pletinas remachadas de chapa de aluminio aleado LC3-40 para reforzar las entalladuras situadas en las pestañas verticales.

- Pieza de cuelgue LC3 con protección elastomérica. Se trata de un perfil obtenido mediante extrusión y posterior corte, de aleación de aluminio 6063 T5 con sección transversal adaptada al perfil omega al que se fija mediante remachado o atornillado lateral según se indica en la Figura 36:

Fig.36. Planta de pieza de cuelgue (izquierda) y perfil omega (derecha)

- Rigidizadores de bandejas adheridos por su trasdós. Podrían ser perfiles de aluminio (extruido, o chapa plegada) o bien conformados a partir de los paneles larson® PE, adheridos mediante un cordón continuo de un sistema de adhesivo específico monocomponente de color blanco, a base de poliuretano que endurece en contacto con la humedad. Se reseña que no se indica el uso de cinta de doble cara ni de imprimación, pero sí que han de estar fijados mecánicamente mediante remaches o tornillos (Fig.37).

Por otra parte, en el apartado 9. Memoria de cálculo, se indica que para dimensionar el revestimiento de bandejas frente a las cargas de viento, se considera una flecha máxima admisible en el centro de la cara vista de la bandeja de $L/30$, siendo L, la anchura de la cara vista de la bandeja o bien la distancia máxima entre rigidizadores. Estos valores de flecha no suponen degradación o una deformación residual o permanente de la bandeja pero sí pueden suponer un aspecto estético no deseado, por lo que si el proyectista desea reducir la deformación máxima admisible, deberá contactar con el beneficiario. Específicamente el DIT indica:

- Bandeja procedente de cualquier tipo de panel larson® de espesor = 4 mm.
- Profundidad de pestaña: 50 mm ó 40 mm.
- Esfuerzo admisible en el panel $\sigma_{adm} = 51$ MPa.
- Flecha máxima de perfil montante $L/200$, siendo L las distancias entre ménsulas.
- Coeficiente de seguridad $\gamma=1,75$ incluido:

14.2.2 Bandejas con refuerzo

Fig.4a. Ejemplo de patrón y disposición de refuerzos verticales en trasdós de bandeja horizontal

Fig.4b. Ejemplo (despiece, patrón, y detalle) de refuerzo horizontal en trasdós de bandeja vertical

Fig.37. Ejemplo de rigidizador horizontal adherido con fijaciones mecánicas complementarias a bandeja de pestaña. (Fuente: DIT 405R-2008)

La evaluación experimental realizada se basó en procedimientos prescritos en su momento por los Ponentes del IETcc (BLÁZQUEZ Y LAHOZ, 2008), de acuerdo con los medios disponibles. Conviene indicar que:

- Los ensayos de reacción al fuego se presentan vinculados al panel, no al sistema, sin presencia de rigidizador adherido.
- El ensayo de succión de viento se realizó sobre bandejas de 1,0 x 1,0 m hasta 1 kPa, sin rigidizadores adheridos, en banco de ensayos disponible.

- Los ensayos de tracción de la entalladura se realizaron con y sin pletina de refuerzo.
- No se realizaron ensayos sobre el adhesivo empleado.

Como se ha comentado anteriormente, el primer DIT emitido para este tipo de sistemas constructivos realizado íntegramente en base a ensayos propios realizados por el IETcc fue el nº 405 emitido en 2003 para el sistema de revestimiento de fachadas ventiladas con bandejas procedentes de paneles Larson®. En este Documento ya se indicaba, aunque con muy poca información, la posibilidad de rigidizar las bandejas mediante Incorporación de perfiles de aluminio extruido, o plegado adheridos mediante un cordón continuo de adhesivo y fijados mecánicamente mediante remaches o tornillos.

La seguridad de uso se evaluó entonces mediante la comprobación de la resistencia a la acción del viento, la resistencia de las entalladuras y la resistencia al choque de cuerpo duro y cuerpo blando. Aunque esta última variable queda fuera del objeto del presente estudio, es procedente destacar que no hubo rotura de las bandejas ni desprendimiento de fragmentos y sólo tuvo lugar deformaciones permanentes de bandeja bajo determinadas energías de impacto.

El comportamiento del sistema frente a la succión del viento se estudió comprobando las hipótesis de cálculo establecidas por el peticionario. Así, en primer lugar se estudió la máxima resistencia admisible del elemento bandeja, considerando en primer lugar el comportamiento de su cara vista, modelizada como placa “sólida” equivalente a una placa apoyada en todo su perímetro, y después el de los pliegues laterales modelizados como vigas continuas apoyadas mediante las entalladuras sobre los montantes.

El fresado del panel para conformar la bandeja hace que la unión entre la placa y los cantos se realice mediante una única lámina de aluminio de 0,5 mm de espesor. Por tanto se considera que todos los lados de la cara vista de la bandeja tienen permitido el giro e impedidos los desplazamientos lineales. La cara vista de la bandeja puede considerarse como simplemente apoyada en todo su perímetro.

Las cargas que se reciben son las reacciones que se producen en los lados de la placa con la condición antes citada, es decir lados simplemente apoyados. La deformación máxima admisible por la bandeja, que teniendo en cuenta el comportamiento indicado en el párrafo anterior, será la suma de la deformación en el centro de la cara vista de la placa más las deformaciones de los pliegues laterales.

DIT 553A –12 (actualización del DIT 553/10)

El Documento de Idoneidad Técnica DIT 553/10 (BLÁZQUEZ Y LAHOZ, 2010) fue emitido en 2010 por el IETcc para el sistemas de revestimiento de fachadas ventiladas, el denominado STB-CH compuesto por bandejas colgadas procedentes de paneles composite stacbond® PE/FR así como para el sistema remachado bidireccionalmente, a beneficio de la empresa STAC. Posteriormente, en 2012, se realizó una actualización (DIT 553A/12) que recogía entre otros cambios, la evaluación técnica realizada sobre un nuevo sistema denominado STB-SZ de bandejas atornillada en su pestaña horizontal superior, clipada en su pestaña horizontal inferior, y que además, opcionalmente, podría incorporar perfiles angulares puntuales adheridos por su trasdós como fijación complementaria (véase Fig.38).

Fig. 38. Sistemas STB-CH (izquierda) y STB SZ (derecha) de bandejas.

Como se puede apreciar, el sistema STB-CH es muy similar al recogido en el DIT 405R mientras que el Sistema STB-SZ, pensado para modulaciones horizontales, presenta un rigidizador adherido vertical a base de tramos de perfiles angulares adheridos al trasdós de la bandeja mediante un subsistema compuesto por imprimación, cinta de doble cara y cordón de adhesivo.

1.3.2.2. En el ámbito de la DPC y el DITE

La situación actual de la evaluación técnica para los kits de fachadas ventiladas es, en concreto, para aquellos sistemas de fachada ventilada cubiertos por el objeto y las familias de fijaciones de la Guía DITE 034, que pueden emitirse ETE en base a la utilización de las dos partes de esta Guía DITE 034 edición de abril de 2012. Los objetos de las partes 1 y 2 son:

- Parte I: Elementos de revestimiento de fachadas ventiladas y mecanismos de fijación asociados. Cubre únicamente el aplacado exterior y las fijaciones mecánicas asociadas previstas para ser utilizadas conjuntamente en la cámara de aire. Así, los componentes del kit son el aplacado, sus fijaciones a subestructura. Se considera que el aplacado es transventilado si se cumple que, por un lado la distancia entre placas y aislamiento (cámara de aire ventilada) es de al menos 20 mm, distancia que puede reducirse localmente entre 5 y 10 mm en función de la subestructura, siempre que no afecte al adecuado drenaje y ventilación de la cámara. Por otro lado, los huecos de ventilación están previstos, como mínimo, en la base de la edificación y en coronación, con secciones de al menos 50 cm² por metro lineal.
- Parte II: Elementos de revestimiento de fachadas y mecanismos de fijación asociados, subestructura y aislamiento. Abarca todos y cada uno de los componentes del sistema: aplacado exterior, fijaciones, subestructura, ménsulas y sus fijaciones al muro y cualquier tipo de aislamiento, previsto para incorporarse en la cámara de aire, ventilada o no. Además, dicha guía establece por primera vez una clasificación en familias de determinados sistemas de fachada ventilada (aquellos para los que existe una cierta experiencia previa) en base a la forma de fijación del aplacado a la subestructura. Ahora bien, conviene precisar qué componentes y tipos (familias) de fijaciones aplacado - subestructura están cubiertos por el ámbito de aplicación de esta Guía:
- Como materiales de aplacado: Se consideran cubiertos el plástico, los paneles laminados, paneles derivados de la madera, fibrocemento, cemento reforzado con fibra de vidrio (GRC), baldosas cerámicas, baldosas de terracota, piedra natural, metal y vidrio, así como todo aquel que estuviera cubierto por un Informe Técnico

de la EOTA, como es el caso de los paneles composite de aluminio. No están cubiertos por la Guía la resolución de huecos en fachadas, tales como ventanas o puertas, ni tampoco aquellos aplacados compuestos de:

- Paneles sándwich ligeros, autoportantes con núcleo aislantes y doble cobertura metálica, cubiertos por la Norma UNE EN 14509.
 - Paneles composite no cubiertos por la Guía DITE 16 o bien aquellos cuya evaluación no esté especificada en la misma Guía DITE 16 ni tampoco en un Informe técnico de la EOTA específico. En el caso particular de las fachadas ventiladas con aplacado a base de paneles composite de aluminio, fue necesario la aprobación en octubre de 2012 por parte de la EOTA de un Informe Técnico que evaluara la durabilidad del mismo, como condición necesaria para ser incluido en el objeto de la citada Guía DITE 034. Se reseña que este informe fue desarrollado y redactado por el autor de la presente Tesis.
 - Un revestimiento aplicado in situ, o bien proyectado in situ sobre una malla metálica.
 - Aquellos aplacados adheridos directamente a la subestructura.
 - Los muros cortinas cubiertos por la Norma UNE EN 13830.
 - Aquellos sistemas de fachadas realizados en vidrio y/o piedra aglomerada, que podrán ser evaluadas en base a un CUAP con requerimientos adicionales.
 - Tampoco están cubiertos aquellos aplacados previstos para ser utilizados en contacto con el terreno.
-
- Cámara de aire: La Guía la define como un componente del sistema opcional, que siempre deberá permitir el drenaje del agua infiltrada, independientemente de si dicha cámara sea ventilada o no.
 - Aislamiento térmico: Podría decirse que es el único componente del sistema opcional y en todo caso, si forma parte del sistema deberá ser definido y/o evaluado de acuerdo con la especificación técnica correspondiente.
 - Subestructura: Indica que pueden ser metálicas (acero, acero inoxidable o aluminio) y madera. Asimismo, los anclajes pueden ser componentes opcionales y,

en caso de formar parte del sistema, deberán ser definidos de acuerdo a DITE. Finalmente, establece que la hoja interior o soporte no forma parte del sistema.

El alcance de la evaluación (métodos de evaluación y exigencias a satisfacer) previsto en la Guía DITE 034 es el de evaluar únicamente a sistemas basados en fijaciones mecánicas de revestimiento a subestructura. Como se puede ver, quedan fuera de su objeto la evaluación técnica de kits de revestimiento de fachada ventilada con fijaciones entre aplacado y subestructura a base de uniones adhesivas así como mecánico – adhesivas. En consecuencia, tampoco quedan cubiertas por el objeto de la Guía DITE 034 los sistemas de fachada ventilada mediante fijaciones mecánico-adhesivas y bandejas procedentes de paneles composite de aluminio. En este caso, para la obtención de un DITE era necesario la redacción previa de un procedimiento CUAP.

1.3.2.3. En el ámbito de la ETE y el Reglamento UE 305/2011

En el contexto de los cambios introducidos por el Reglamento de Productos de Construcción, la presente tesis podría servir de pauta para la redacción de un DEE a estos sistemas; como se ha comentado antes, este documento serviría de base para la emisión de un Documento de Evaluación Europea para este particular caso de sistema de fachada ventilada. Ahora bien, si el contenido de un DEE únicamente tratara aquellas características que al suministrador le interesara declarar, podría ocurrir que la futura ETE y el correspondiente marcado CE fueran técnicamente insuficiente tanto para el técnico proyectista, la dirección de obra o los organismos de control técnico.

El contenido máximo de un ETE para este tipo de sistemas, es el que especificaba para un DITE en la Guía DITE 034, y sería el detallado en la tabla adjunta.

Tabla 3: Contenido de un ETE

Requisito básico	Apartado de Guía DITE	Características de producto	Apartado de la Guía DITE sobre la evaluación		NPD permitida
			Kit	Componente	
1	No procede	No procede	No procede	No procede	No procede
2	4.2 Seguridad en caso de incendio	Reacción al fuego Resistencia al fuego	Reacción al fuego Resistencia al fuego		SI (Clase F) SI (Clase F)
3	4.3.1 Ambiente interior, humedades	Estanquidad de juntas Permeabilidad al agua Permeabilidad al vapor de agua. Drenaje	Estanquidad de juntas (protección frente al agua de lluvia con viento) Permeabilidad al agua del aplacado Drenaje	Permeabilidad al vapor de agua	SI
	4.3.2 Ambiente exterior	Contenido y/o emisión de sustancias peligrosas	Contenido y/o emisión de sustancias peligrosas	5.3.5 Contenido y/o emisión de sustancias peligrosas	SI
4	4.4 Seguridad de uso	Resistencia a la acción del viento Resistencia mecánica de fijaciones Resistencia a cargas horiz. puntuales Resistencia a impactos (aristas cortantes) Resistencia a sismo Comportamiento higrétrico	Ensayo de succión (si procede) presión de viento Ensayos mecánicos de fijaciones Resistencia a cargas horizontales puntuales Resistencia a impactos Resistencia al sismo Comportamiento higrétrico		NO NO NO SI SI SI SI
5	4.5 Protección frente al ruido	Aislamiento acústico a ruido aéreo	RE 5 Protección frente al ruido	-	No relevante
6	4.6 Ahorro de energía y aisl. térmico	Resistencia térmica	RE 6 Ahorro de Energía y Aislamiento térmico	-	No relevante
Durabilidad y condiciones de servicio	4.7 Aspectos de durabilidad y condiciones de servicio	Fatiga Estabilidad dimensional Resistencia a la helada Resistencia agentes quím. y/o biológicos Corrosión Radiación U.V.		Cargas pulsatorias Estabilidad dim. aplacado Inmersión en agua Hielo-deshielo Resistencia química/biológica Corrosión Radiación U.V.	SI

PARTE 2

*Caracterización de sistemas de fachada ventilada con fijaciones
ocultas mecánico adhesivas en paneles compuestos de aluminio*

PARTE 2: METODOLOGÍA Y RESULTADOS

2.1. JUSTIFICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

El interés por tema de la Tesis surgió debido a mi actividad profesional desarrollada desde hace más de quince años en la Unidad de Evaluación de Productos Innovadores de Construcción del Instituto Eduardo Torroja - CSIC. Allí pude conocer el alcance y la importancia que esta actividad de fuerte base experimental tenía en el sector, y sobre todo, del espíritu de mejora continua inherente a la evaluación técnica de la innovación.

La elección del objeto de la investigación surgió a raíz de ser ponente de las evaluaciones técnicas conducentes a la emisión de Documentos de Idoneidad Técnica por parte del IETcc para los sistemas de revestimiento de fachada con aplacado procedente de PCA. Las tareas realizadas para estas evaluaciones permitieron conocer algunos incidentes afortunadamente escasos, como desarrollo de incendios fortuitos o desprendimientos puntuales del aplacado por la acción del viento, que podrían posiblemente estar también causados por desconocimiento en su prescripción y/o en su puesta en obra por parte de los técnicos involucrados, pero que seguramente podrían generar rechazos hacia estos sistemas y por extensión, desconfianza sobre sus evaluaciones técnicas.

Así, como ejemplo de incendios, se reseñan a continuación algunos casos, bien sea en razón de su espectacularidad, como el ocurrido en 2015 (Fig. 39 y 40) en el rascacielos *The Torch* (Dubai, Emiratos Árabes Unidos) (BARNARD, 2015) bien por sus enormes costes de reparación, por ejemplo en el del *Millennium Business Centre*, (Fig. 41 y 42) ocurrido en Bucarest (Rumanía) en junio de 2009 (RADUTA, 2009). Otros tantos incendios que afectaron a edificios situados en América, Europa y Asia, han sido objeto de un estudio técnico preliminar por la organización *Fire Protection Research Foundation* (NATHAN, 2014) en el que se recalca como denominador común a todos ellos, la presencia de un núcleo combustible de polietileno en la composición de este tipo de paneles.

Por otra parte, como ejemplo de incidente relativo a la acción del viento puede destacarse el desprendimiento generalizado de bandejas y puntualmente, de tramos de montantes, en fachadas de la Torre II de Santa Cruz, edificio residencial de 120 m de altura sito en C/ Los Llanos de Santa Cruz de Tenerife, (Fig. 43 y 44) al paso de la Tormenta Delta, con vientos que llegaron a alcanzar rachas cercanas a los 250 km/h (www.aemet.es).

Fig. 39. The Torch antes del incendio.

Fig. 40. The Torch después del incendio.

Fig. 41. M.B.C antes del incendio.

Fig. 42. M.B.C. después del incendio.

Fig. 43. Vista aérea de las Torres I (izq.) y II (dcha.) de Santa Cruz antes de la tormenta Delta.

Fig. 44. Vista general y detalle de revestimiento de bandejas desprendido de la fachada de la Torre II de Santa Cruz, tras el paso de Tormenta Delta. Fuente: IETcc.

Por otro lado Gerard Blachère, en su libro "Saber Construir" (BLACHERE, 1967) afirmaba ya en 1969 que una de las tres causas que afectan a la durabilidad de un edificio o de sus partes es la exposición a tensiones excesivas o la manifestación de resistencias insuficientes que provocan roturas o deterioros. Las otras dos causas serían por un lado, los movimientos diferenciales entre estas partes del edificio y finalmente los ataques a los materiales instalados, como las alteraciones internas, causadas por ejemplo por el agua y la humedad, corrosiones y pérdidas de materia. Finalmente, argumentaba que un plazo de 25 años sería razonable estimar en relación con la duración de las partes "recambiables" de un edificio.

Para el objetivo de la Tesis, este contexto debería ser enfocado no como un problema sino como una oportunidad de mejora. Para ello el enfoque de la investigación se dirigió a la elección de aquellas prestaciones críticas vinculadas con la contribución al cumplimiento de los Requisitos Básicos de las Obras aplicables al uso previsto y directamente relacionados con tres aspectos de la Seguridad: La seguridad en caso de incendio, la seguridad de utilización y por supuesto, la constancia de esta contribución a lo largo del tiempo; en otras palabras, el mantenimiento de sus prestaciones, su Durabilidad.

En consecuencia, se profundizó en el estudio de sus procedimientos de evaluación de estas prestaciones: La reacción al fuego, la resistencia frente a la succión del viento, y la durabilidad. Como resultado, se ha establecido una metodología que en líneas generales presenta las siguientes tareas, apara cada una de las tres prestaciones indicadas:

1. Análisis de la Reglamentación aplicable y de los resultados de ensayo previos disponibles.
2. Estudios experimentales basados en la realización de nuevos ensayos en laboratorio sobre muestras facilitadas por proveedores nacionales.
3. Estudios de campo, basados en la toma de datos de visitas a obras donde hubieran ocurrido incidentes relacionados con las prestaciones estudiadas y cuando fue posible en la toma de muestras para ensayos en laboratorio.
4. Discusión de resultados obtenidos en los ensayos realizados en los estudios experimentales, y su correlación con los estudios de campo.

Particularmente para el caso de la reacción al fuego, se plantea como hipótesis de partida, que la composición del núcleo de los paneles composite de aluminio y la configuración de la maqueta para el ensayo de exposición frente a un único objeto ardiendo, conocido como “ensayo SBI” son las variables críticas para determinar la reacción al fuego de este tipo de sistemas de revestimiento de fachadas ventiladas a base de bandejas con fijaciones mecánico adhesivas. Y que además en particular, se considera que para este tipo de sistemas, las condiciones “normalizadas” de montaje de la maqueta descritas en el apartado 5.2.2 de la Norma UNE EN 13823 puede conducir a la obtención de clasificaciones de reacción al fuego de dudosa fiabilidad debido a los siguientes factores:

- La delaminación del panel a causa de la descomposición térmica del núcleo de polietileno que podrá o no contribuir a la propagación del fuego en un incendio real, pero que puede que no ocurra durante el ensayo SBI debido al limitado tiempo del mismo.
- La ausencia de junta horizontal en el ala corta, cuya presencia simularía con mayor realismo la contribución a la propagación de incendio tanto en el rincón como en la zona general de la fachada. Se considera que su presencia permitiría un doble frente de fuego simultáneo desde el exterior y desde el interior de la cámara ventilada de aire.
- Resolución de rincones mediante encuentros a tope entre bandejas o placas, en vez de mediante la solución habitual de piezas especiales resultantes de fresar y plegar el panel 90°. Se da la circunstancia, de que con estas piezas especiales no es posible realizar un montaje de rincón en condiciones “normalizadas” según el apartado 5.2.2. de la Norma EN 13823.
- La ausencia de rigidizadores de bandeja procedentes de panel composite de aluminio, que fijados por su trasdós mediante un cordón de adhesivo a base de poliuretano podrían contribuir por un lado, al desarrollo del incendio debido a la presencia de este material previsiblemente combustible y por otro, debido a la descomposición térmica del cordón, perder sus prestaciones mecánicas.

Igualmente y también para esta prestación, el objetivo de la investigación fue establecer un procedimiento que permitiera determinar si en la clasificación de la reacción al

fuego de los revestimientos de fachadas ventiladas a base de PCA, realmente influyen las composiciones del núcleo de estos paneles (tipo PE vs FR), y las condiciones de montaje de la maqueta (normalizadas o según condiciones finales de uso tal y como se describe en la Norma UNE EN 13823 para el ensayo de exposición a un único objeto ardiendo, conocido como “SBI” (Single Burning Item)).

En relación con la investigación particularizada a determinar la resistencia a la succión del viento, se estableció como hipótesis inicial que el comportamiento de estos sistemas, frente a la succión del viento es suficientemente seguro y por tanto contribuye favorablemente, al cumplimiento del Requisito Básico de las Obras nº. 04 establecido en el Reglamento de Productos de Construcción.

Para ello se estableció como objetivo inicial el estudio de la normativa aplicable con el fin de establecer un valor umbral de seguridad, así como condiciones relativas a la inexistencia de roturas y a las deformaciones a efectos de que no se produzca un deterioro de las condiciones de servicio que afecte a la seguridad del sistema, teniendo en cuenta que la Guía EOTA 034 que sirve para la evaluación de estos sistemas no establece valores mínimos o umbrales a exigir a los mismos, toda vez que ello depende de las condiciones geográficas de la obra y de la normativa general o particular del país de la misma.

En este contexto, se recuerda que en una fachada ventilada con junta abierta sometida a presión del viento, las cargas se reparten sobre montantes y travesaños de forma que todos los elementos trabajan en colaboración; mientras que, sometida a succión, corresponde inicial y principalmente a las fijaciones del aplacado a la subestructura, contrarrestar la tracción que ejercerá el viento.

Resulta crítico entonces conocer el comportamiento del aplacado procedente de PCA dado que debido a su menor rigidez, es además fundamental limitar la deformación del aplacado.

Asimismo, se tendrá que conocer la influencia del comportamiento de otros elementos, como las entalladuras, y el propio cordón de adhesivo, para conocer cuál sería el comportamiento particular y su repercusión en el conjunto del sistema completo. A la vista de las imágenes de los desprendimientos de Santa Cruz, cabe sólo congratularse que no hubiera víctimas mortales ni daños personales.

Finalmente y en relación con la evaluación de la durabilidad de estos sistemas, se consideró como hipótesis particular que sería posible mejorar la evaluación de este tipo de sistemas teniendo como objetivo que su vida útil alcanzara al menos 25 años, al igual que otros sistemas similares con fijaciones puramente mecánicas.

2.2. EVALUACIÓN DE LA REACCIÓN AL FUEGO

2.2.1. Análisis de la Reglamentación aplicable y de resultados previos

2.2.1.1. El RBO 02 y el DB-SI CTE: Seguridad en caso de incendio

La definición del Requisito Básico nº. 02 del Anejo 1 del Reglamento de Productos de Construcción) mantiene el articulado del Anejo 1 de la Directiva de Productos de Construcción DPC, en la cual, el entonces denominado Requisito Esencial 02, se definía así:

“Las obras (edificios) deben proyectarse y construirse de forma que, en caso de incendio:

- *La capacidad de sustentación de la obra se mantenga durante un período de tiempo determinado.*
- *La aparición y la propagación del fuego y del humo dentro de la obra estén limitados.*
- *La propagación del fuego a obras de construcción vecinas esté limitada.*
- *Los ocupantes puedan abandonar la obra o ser rescatados por otros medios.*
- *Se tenga en cuenta la seguridad de los equipos de rescate”.*

Con el fin de facilitar la comprensión de los entonces llamados Requisitos Esenciales, nacieron los llamados Documentos Interpretativos de cada uno de estos Requisitos. De acuerdo con el Documento Interpretativo sobre el Requisito Esencial 02 y para los sistemas objeto de estudio, de todos estos aspectos anteriores, solamente la limitación de la propagación del fuego a obras vecinas, sería era el aplicable para evaluar la contribución al cumplimiento de este Requisito Esencial.

Al respecto y, en relación con la propagación, este Documento Interpretativo citaba en su apartado 4.2.3.4.1 “Aspectos generales” que la limitación de la propagación de fuego y el humo fuera del recinto pueden conseguirse mediante diversos procedimientos o mediante una combinación de ellos. En relación con las fachadas, el procedimiento aplicable es *“el diseño adecuado que impida la propagación del fuego a las partes adyacentes de la misma obra”.*

Así, en el apartado 4.2.3.4.2 de este Documento Interpretativo, se indicaba que :

“Por lo que respecta a los muros exteriores, la propagación del fuego de un sector de incendio a otro puede ocurrir por:

- *Fallo de los elementos de separación entre sectores.*
- *Fallo de las uniones entre los muros o suelos y las fachadas.*
- *Propagación del fuego por las cámaras existentes en las fachadas.*
- *Propagación del fuego por la superficie exterior de la fachada”.*

Para conocer el alcance de estas posibles causas relativas a la propagación del fuego conviene tener presente la definición que consta en la Norma UNE EN ISO 13943:2001 sobre comportamiento al fuego: *"Este concepto agrupa a todos aquellos cambios en las propiedades químicas y/ físicas de un objeto y/o estructura causados por estar o haber estado expuesto al fuego"*. Como se dice en esta Norma, tendremos en cuenta que este concepto abarca las variables de reacción al fuego y de la resistencia al fuego, que de acuerdo con la Norma UNE EN 13501 parte 1 y la Norma UNE EN ISO 13943, se definen así:

- **Reacción al fuego:** Es la respuesta de un producto contribuyendo con su propia descomposición a un fuego al que está expuesto, bajo condiciones especificadas. Su expresión no es por unidades medibles, sino por los criterios de clasificación establecidos en la Norma EN 13501-1.
- **Resistencia al fuego:** Es la capacidad de un elemento de construcción de mantener, durante un período de tiempo medido en minutos, la estanquidad o integridad al paso de llamas y del humo, su aislamiento térmico, y si procede su capacidad portante.

Considerando que los sistemas estudiados requieren de aplacados con juntas abiertas para permitir la ventilación, no tiene sentido evaluar esta característica y por tanto la evaluación de su contribución al cumplimiento de este Requisito Básico se limita a la reacción al fuego.

En Europa, para determinar la reacción al fuego de cualquier producto de construcción, es aplicable la Norma europea EN 13501-1 que es dónde se describen de forma general tanto las posibles euroclases como las series de ensayos a realizar y las exigencias

aplicables para la euroclase que se desea alcanzar. Como ejemplo, para alcanzar la clasificación B-s3,d2 se requiere de acuerdo con los criterios de la Norma, la realización de dos ensayos, el de inflamabilidad y el de exposición a un único objeto ardiendo. La Norma UNE EN 13501-1 comprende siete posibles clases, designadas como A1, A2, B, C, D, E y F, donde, A1 y A2 se podría interpretar como incombustibles, B poco combustible, C, D y E combustibles. Finalmente existía la clase F que significa que una vez ensayado, no se ha podido clasificar. Además existen unas clases complementarias para la producción de humos (s) y gotas (d), (excepto si la euroclase es A1 o F), cada una con tres subniveles posibles:

- Clases de opacidad de los humos:
 - s1: baja cantidad y velocidad de emisión.
 - s2: cantidad y velocidad de emisión media.
 - s3: elevada cantidad y velocidad de emisión.

- Clases de gotas /partículas en llamas:
 - d0: no se producen llamas.
 - d1: no se producen en duración < 10 s.
 - d2: productos que no se clasifican ni d0 ni d1.

Procede aclarar que por un lado la subclasificación de humos no evalúa su carácter tóxico, sólo su opacidad. Por otro lado, si los rangos oscilan de mejor a peor, entre 1 y 3 para “s” y entre 0 y 2 para “d”, los valores “s1” y “d0” son en realidad los mejores posibles.

Se recuerda que en España, es en el Real Decreto 312/2005 de 18 de Marzo donde se transcribió a la Reglamentación española el sistema de clasificación europea de reacción y resistencia al fuego. Desde 2005, la euroclase B-s3, d2 es la máxima requerida en España para aquellos materiales que ocupasen al menos un 10% de la superficie exterior del aplacado, o bien para las superficies interiores (cara interior del aplacado o bien cara externa del aislante térmico) sobre los que sean de aplicación las siguientes condiciones complementarias:

- Los primeros 3,5 m metros de altura de áreas de fachada cuyo arranque se sitúa en zonas accesibles al público.
- Fachada de altura > 18 m, independientemente de su ubicación.

En el caso del incendio rápidamente propagado por el exterior del Millennium Bussines Centre, las fachadas revestidas en sus paños opacos presentaban bandejas configuradas por paneles tipo “PE” . Este material de aplacado contaba con una evaluación de idoneidad técnica 003/02-616 emitida en 2013 por la Entidad competente local, donde se especificaba una clasificación de reacción al fuego “B-s1, d0”.

Se reseña que si la estimación económica inicial por la reparación de los daños sufridos, alcanzaba un importe de entre 15 y 20 millones de euros cabría preguntarse si sería fiable este procedimiento de clasificación para este tipo de revestimientos.

Una pauta para encontrar la respuesta la facilitó Brannigan (BRANNINGAN, 2008) que afirmó que en el campo de la evaluación técnica de productos innovadores, la fiabilidad de los resultados de ensayos de reacción al fuego, debían ponerse en entredicho si no se contrastaban previamente con un adecuado análisis de la normativa utilizada.

2.2.1.2. Ensayo de inflamabilidad (UNE EN-ISO 11925-2).

El ensayo de inflamabilidad, determina si la euroclasificación de reacción al fuego es inferior o igual a E. Para estos paneles, la clase será igual a la clase E si el borde del panel expuesto a la llama durante 15 segundos alcanza los requisitos planteados en la Norma EN 13501-1. Si no lo supera, será clase F. Por otro lado, será candidato a las euroclases C, D, B si alcanza los respectivos requisitos planteados para estas clasificaciones, cuando sea expuesto a la llama durante 30 segundos.

2.2.1.3. Ensayo SBI (UNE EN 13823)

El ensayo de exposición a un único objeto ardiendo, denominado de ahora en adelante “SBI”, acrónimo del inglés “single burning ítem”) se realiza según la Norma EN 13823 sobre una maqueta a escala real configurada por el sistema completo. El ensayo “SBI” consiste en exponer al fuego el producto o sistema simulando un incendio originado un rincón configurado una maqueta formada por dos alas, de diferente anchura e igual altura, perpendiculares entre

sí. Según la Norma EN 13823, se admiten dos posibles condiciones de montaje de la maqueta, denominadas como “normalizadas” y “según condiciones finales de uso.

De acuerdo con esta Norma, las condiciones “normalizadas”, requieren que si el sistema tiene juntas horizontales y verticales, deberá ensayarse con sendas junta horizontal (a 500 mm de distancia del borde horizontal) y junta vertical (a 200 mm de la esquina) únicamente colocadas en el ala larga. En el apartado 2.5 del anejo E de la Guía DITE 034, se especifican que para un sistema de revestimiento a base de bandejas, debe seguirse esta configuración de juntas.

Los criterios de extrapolación de resultado del ensayo de la Norma EN 13823 se indican en su apartado 5.2. En mi opinión, resultan en cierta medida arbitrarios, ya que para el montaje en condición final de uso, los resultados son únicamente válidos para esa condición. Por el contrario para el montaje normalizado los resultados son válidos tanto para esa configuración como para un mayor número de aplicaciones.

Por otra parte, es reseñable que la posibilidad de que el ensayo SBI no fuera representativo, ya se cita en el documento Guidance Paper G de 1999, donde se indicaba textualmente que, para determinados productos, la clasificación obtenida en base al ensayo SBI podría no ser un verdadero espejo de su comportamiento real en caso de incendio.

Como ejemplo de esta circunstancia, Birgitte Messerschmidt (MESSERSCHMIDT, 2008) explica el caso de los paneles sándwich de doble cobertura metálica y núcleo aislante a base de espuma de poliuretano en caso de incendio frente al registrado en el ensayo SBI. Según la autora, en este ensayo, el tamaño de muestra es muy pequeño y la exposición al calor demasiado breve como para simular el comportamiento de este tipo de paneles en caso de un incendio real.

Asimismo, esta autora indica que en este ensayo, la chapa metálica del panel evitará inicialmente la exposición del núcleo aislante a la llama, pero le transmitirá el calor. La exposición al calor generará la emisión de gases inflamables dentro del propio panel. Una vez generado el incendio, las caras metálicas expuestas empezarán a deformarse, provocando la apertura de juntas entre paneles, así como liberación y consecuente ignición de los gases inflamables liberados del núcleo, hasta provocar quizá tanto la completa deslaminación del panel como la consecuente exposición total a la llama del material del núcleo.

2.2.1.4. Análisis de clasificaciones existentes según la Norma EN 13501-1.

Se investigaron los resultados de ensayos según la Norma EN 13501-1 ya realizados tanto sobre paneles composite de aluminio como sobre sistemas de revestimiento en base a este tipo de aplacado. A continuación, se resumen los resultados obtenidos para paneles y sistemas suministrados por dos diferentes fabricantes. En las Tablas 4 y 5 se identifican las muestras y las clasificaciones obtenidas a la finalización de cada ensayo.

Tabla 4: Ensayo de inflamabilidad

Muestra		Proveedor	Nombre	Clasificación preliminar
Panel según composición de núcleo	Polietileno de baja densidad	Nº 1	PE - 1	≥ E
	Polietileno de baja densidad	Nº 2	PE - 2	
	Polietileno de baja densidad y compuestos minerales	Nº 1	FR - 1	
	Polietileno de baja densidad y compuestos minerales	Nº 2	FR - 2	

Tabla 5: Ensayo SBI

Tipo de panel	Condiciones de montaje	Objeto de ensayo	Nombre	Clasificación final
PE - 1	Según condición final de uso: - Un panel entero por cada ala - Ausencia de cámara ventilada - Juntas a tope entre paneles - Fijación mecánica al soporte	Panel	Maqueta I-PE-1	B-s2,d0
FR - 1			Maqueta I-FR-1	B-s1,d0
PE - 2	Normalizado (5.2.2 -EN 13823): - Subestructura metálica - Cámara de aire - Panel entero en ala corta - Juntas horizontales y verticales cerradas en ala larga - Paneles remachados	Kit de revestimiento de fachada ventilada	Maqueta II-PE-2	B-s2,d0
FR - 2			Maqueta II-FR-2	B-s1,d0

De los resultados de ensayos de inflamabilidad existentes no se deducen diferencias de comportamiento entre paneles por razón de su núcleo, ni tampoco en función de su origen de fabricación.

De los resultados existentes de ensayos SBI, puede concluirse que de las posibles diferentes composiciones de los núcleos de paneles (PE y FR, y) y las diferentes composiciones de montaje (ausencia/presencia de cámara ventilada), (Fig. 45 y 46), sólo se obtiene como única mejora la que aporta el núcleo FR respecto de la emisión de humos. Se señala también que los valores obtenidos por los paneles tipo PE son superiores a B-s3,d2, la máxima exigencia de la normativa española para los revestimientos de determinadas fachadas.

Fig. 45. Esquema de composición de maquetas "I-PE-1" e "I-FR-1".

Fig. 4. Rig B for SBI test

Fig. 46. Esquema de composición de maquetas "II-PE-1" y "II-PE-2".

2.2.1.5. La degradación térmica del polietileno de baja densidad

La degradación térmica de materiales compuestos por matrices poliméricas es en general un fenómeno bien conocido. A. P. Mouritz y A. G. Gibson (MOURITZ & GIBSON, 2006) lo describen como un proceso por el cual el material se descompondrá en gases (inflamables o no), partículas sólidas carbonizadas y humo. Inicialmente, los gases migrarán desde la matriz en descomposición hacia la llama, donde reaccionarán con el oxígeno, lo que

supondrá la formación final de productos de combustión y la liberación de calor, provocando la ignición de los gases inflamables, y la realimentación del fuego.

El estudio concreto de la degradación térmica del polietileno mediante análisis termogravimétrico tiene antecedentes. J E. Ranzi et al (RANZI et AL, 1997) comprobaron que mediante esta técnica que este material se funde antes de su total descomposición (lo que ocurre a una temperatura entre 420 °C y 470 °C en ambiente de nitrógeno (N₂) y con un rango de calentamiento de 10 °C/minuto). Otros autores también han utilizado esta técnica, para caracterizar el polietileno de alta densidad sin sustancias retardantes de llama; comprobaron que fundía sobre los 136° C y la descomposición finalizaba a 490 °C.

El ambiente de nitrógeno permite caracterizar la degradación térmica del material sin riesgo de combustión y no es su objeto predecir la inflamabilidad del mismo. El rango de calentamiento de 10°C/min también consta de antecedentes en otros ámbito relacionado con el fuego. Por ejemplo, en la evaluación experimental de la resistencia al fuego de refuerzos de acero para evaluar la incidencia de un aumento de temperatura en sus prestaciones mecánicas.

2.2.2. Estudio experimental

Como parte fundamental de esta Tesis, también se planteó un estudio experimental de dos fases: En un primer lugar, con ensayos sobre materiales de núcleos de los PCA y de los cordones adhesivos para determinar su comportamiento térmico y en paralelo sobre la composición de los núcleos de los PCA. Posteriormente se realizaron ensayos SBI a escala real.

2.2.2.1. Comportamiento térmico del núcleo de PCA y del cordón adhesivo de los perfiles y Composición de los núcleos de PCA

Se utilizaron para el presente estudio dos muestras de núcleo de panel tipo PE y otras dos de núcleo de panel tipo FR suministradas respectivamente por los fabricantes n° 1 y n° 2, así como un cartucho del adhesivo empleado suministrado por su propio fabricante. Se cortaron fragmentos de superficie aproximada de 1 cm² y, tras ser retiradas las chapas metálicas, fueron expuestos durante dos días en cámara de curado a temperatura y humedad

relativa constantes de 23 °C y 50 % respectivamente. Posteriormente se extrajeron muestras cúbicas de 4 mm de lado.

De acuerdo con la Norma “UNE EN ISO 11358:1997. Plásticos. Termogravimetría de polímeros (TG). Principios generales” se realizaron análisis termogravimétricos TG en una termobalanza SATQ-600 de TA Instruments. El rango de temperaturas fue de 25 °C a 1000 °C a una velocidad de calentamiento de 10 °C/min en atmósfera inerte de nitrógeno. La cantidad de muestra fue de 30 mg.

A fin de caracterizar la composición del núcleo del panel, se realizaron además ensayos de espectroscopía de infrarrojos, en un espectrómetro Thermo Scientific Nicolet 600 usando para ello la técnica de “attenuated reflectance” (ATR).

Para determinar la posible influencia de la presencia del cordón de adhesivo al desarrollo del incendio, se procedió a realizar asimismo un análisis termogravimétrico sobre una muestra de cordón de adhesivo ya endurecido para conocer su descomposición térmica.

2.2.2.2. Ensayo SBI sobre montaje en condiciones de uso final

De acuerdo con las hipótesis de partida se planteó la realización de ensayos SBI, considerando las condiciones finales de uso según se anuncia en el apartado 5.2.1 de la Norma UNE EN 13823. A la vista de los costes de estos ensayos, se procedió la definición de la condición final de uso más desfavorable, que para este sistema resultó aquella configurada por bandejas procedentes de PCA tipo PE, sin retardante de llama. Para determinar la influencia de los rigidizadores adheridos por su trasdós, se configuraron dos tipos de maquetas. Las composiciones de ambas se ilustran respectivamente en las Fig. 47, 48 y 49.

Fig. 47. Vista general de maquetas sin rigidizadores adheridos (izq.) y con rigidizadores adheridos (dcha)

Observaciones: (dimensiones en mm)

- b.1 Cassette [(longitud x altura=790 x 980)]
- b.2 Bandeja-rincón [(longitud x altura=190 x 980) en ala larga]
[(longitud x altura=500 x 980) en ala corta]
- b.3 Bandeja [(longitud x altura=790 x 500)]
- b.4 Bandeja-rincón [(longitud x altura=190 x 500) en ala larga]
[(longitud x altura=500 x 500) en ala corta]

Fig. 48. Vista general de maqueta con bandejas de esquina sin rigidizadores adheridos.

Observaciones: (dimensiones en mm)

- (b.1) Cassette [(longitud x altura=790 x 980)]
- (b.2) Bandeja-rincón [(longitud x altura=190 x 980) en ala larga]
[(longitud x altura=500 x 980) en ala corta]
- (b.3) Bandeja [(longitud x altura=790 x 500)]
- (b.4) Bandeja-rincón [(longitud x altura=190 x 500) en ala larga]
[(longitud x altura=500 x 500) en ala corta]

Fig. 49. Vista general de maqueta con bandejas de esquina con rigidizadores adheridos.

2.2.3. Estudio de campo

Posteriormente, se pudo realizar un estudio de campo, sobre del incendio ocurrido el 10 de Agosto de 2015 en parte de la fachada del Hospital Santa Lucía de Cartagena (Murcia).

El Hospital General Universitario Santa Lucía, fue inaugurado en 2011 y su composición principal presenta un conjunto de ocho volúmenes de cinco plantas ordenados en espina, de forma simétrica, a lo largo de un eje principal alternándose con patios abiertos al exterior. Cada uno de estos volúmenes tiene tres fachadas, todas ventiladas, revestidas según se indica a continuación:

- Bandejas según dimensiones procedentes de paneles PE-1 de 4 mm de espesor, de aluminio con lacado bicapa color Bronce y núcleo de LDPE con al menos, tres entalladuras por pestaña (también reforzadas a base de perfiles LCR 40 remachados).

Su rigidizador interior horizontal estaba constituido por angulares (cuatro o cinco por bandeja) obtenidos de chapa plegada de aluminio y los verticales a partir de paneles idénticos a los de las bandejas, todos ellos adheridos al trasdós de la bandeja mediante imprimación SIKA y cordón continuo de adhesivo SIKATACK a lo largo de toda la superficie del angular en contacto con la bandeja.

- Subestructura: Piezas de cuelgue remachadas a montante. Estos montantes se fijaron a ménsulas en U.
- Cámara de aire ventilada con aislamiento térmico a base de espuma proyectada de poliuretano.
- Soporte, configurado por los frentes de forjado de las losas de hormigón armado o bien por bloques huecos de hormigón.

Fig. 50. Incendio en fachada de Hospital Santa Lucía de Cartagena. (Fuente: La Opinión).

Fig. 51. Fachada de Hospital Santa Lucía de Cartagena tras el incendio. (Fuente: Propia).

Fig. 52. Detalle de fachada de Hospital Santa Lucía de Cartagena tras el incendio
(Fuente: Propia).

El 10 de Agosto de 2015, sobre las 13.00 h en parte de la fachada Este del ala del Cardiología del Hospital de Murcia, ocurrió un incendio que se propagó rápidamente hacia la parte superior de la fachada en un plazo de 5 – 10 minutos. Según fuentes de la prensa local fue causado por una colilla o bien en un cuarto de instalaciones. Afortunadamente fue asimismo rápidamente sofocado por los bomberos y no se registraron víctimas ni heridos, ni

tampoco daños. Sobre las 16.30 h se cursó –por el autor de esta Tesis- visita a la fachada del edificio comprobándose (Fig. 52) que el revestimiento dañado afectaba aproximadamente al 70% de la superficie de la fachada y que algunas de las bandejas dañadas habían sido retiradas por los bomberos.

2.2.4. Discusión de resultados

2.2.4.1. Comportamiento térmico de núcleos de PCA y del cordón adhesivo. Composición de los núcleos

Tal y como se ha descrito previamente los paneles composite poseen un núcleo de polietileno. Por ser este un material combustible, suele adicionarse al mismo cargas minerales de distinto tipo que retrasen su combustión y mejoren su comportamiento frente al ataque de la llama. La naturaleza de las cargas minerales es diversa pero en cualquier caso ha de satisfacer además de los requisitos de ser retardadoras de llama, aquellos relativos a la conservación del medio ambiente es decir sus productos de descomposición no han de ser tóxicos ni han de emitir humos corrosivos u opacos. Diversos grupos de investigadores autores como han estudiado el efecto de los hidróxidos de magnesio y de aluminio, basando sus propiedades retardantes en su reacción endotérmica de descomposición con emisión de agua, a temperaturas próximas a la de combustión del PE. Igualmente otros investigadores como Severine Patricia Bellayer et al (BELLAYER et AL, 2010), han estudiado la adición de talco, carbonatos de calcio y magnesio, etc . La caracterización del material que conforma el núcleo del panel y de su comportamiento térmico se revelan como esenciales para predecir su comportamiento en caso de incendio.

En la Figura 53 se presentan los resultados obtenidos de pérdida de peso y flujo de calor del núcleo de la muestra PE-1. Se puede observar que la curva de flujo de calor presenta dos picos endotérmicos a 126 °C y a 480 °C. La primera señal se corresponde con la fusión del polietileno y la segunda (400 °C - 500 °C) se interpreta como la descomposición térmica del PE según E.Renacco et al (RENACCO, 1994). En la curva TG se registra una pérdida de masa en dicho intervalo del 95% de la muestra como consecuencia de la descomposición del PE. A temperaturas entre 500 °C y 1000 °C se pierde un 1.5% adicional y el residuo que permanece a la máxima temperatura de ensayo es del 1.6 % en peso.

En la Figura 54 se presentan los resultados obtenidos para la muestra PE-2. Como se puede observar, las señales obtenidas son semejantes a las previamente observadas en la muestra PE-1. La pérdida de peso entre 400-600 °C es del 99%, no quedando residuo sólido a la máxima temperatura de ensayo (1000 °C).

Fig. 53. DSC - TGA de muestra PE-1.

Fig. 54. DSC - TGA de muestra PE-2.

Fig. 55. DSC - TGA de muestra FR-1.

Fig. 56. DSC - TGA de muestra FR-2.

La Figura 55 presenta, los resultados del ensayo DSC y TG para la muestra FR-1. Se observa, en la curva de flujo de calor, además de las señales de fusión (≈ 108 °C) y descomposición (≈ 473 °C) del polietileno las siguientes señales endotérmicas: la primera con perfil asimétrico, con un hombro hacia 359 °C y máximo a 390 °C, que lleva asociada (curva TG) una pérdida de masa del 16.67%, así como una señal hacia 705°C con una pérdida del 7% de masa aproximadamente. Estas señales endotérmicas se deben a procesos experimentados por las cargas minerales adicionadas al polietileno de los núcleos para conseguir el comportamiento retardante de llama. Es interesante subrayar que la pérdida de peso según la curva TGA causada por la descomposición del polietileno de baja densidad es del 29,3% y que el peso residual a los 1000°C es del 46%.

En la Figura 56 se presentan los resultados de DSC_TGA para la muestra FR-2. Las señales observadas son semejantes a las que se presentaban en la muestra FR-1, si bien aparecen a distinta temperatura, lo que indica una diferente composición de la carga mineral. En primer lugar, se observa una pequeña señal endotérmica hacia 127°C debida a la fusión de la matriz polimérica seguida de una señal endotérmica muy intensa en el rango entre 230°C – 348 °C, y que se corresponde con una pérdida de peso del 18.01%. La señal a 475 °C y asociada a la descomposición térmica del PE, con una pérdida de masa asociada de aproximadamente el 29%. Por último, a 668 °C se presenta otra señal endotérmica, con una pérdida de peso del 2,5 % aproximadamente. A 1000°C la masa residual obtenida es del 46,4 % aproximadamente. En ambas muestras (FR-1 y FR-2) esta masa residual es muy superior a las muestras PE1 y PE2. En la Tabla 5 se presentan los resultados cuantitativos del estudio por TG de ambas muestras de los que se puede concluir que ambas presentan una carga mineral sustancial.

Tabla 5. Datos de TG de las muestras FR1 y FR2

FR1		
Rango de temperatura (°C)	Variación de peso (%)	Origen de la señal
300-433	16.67	Pérdida de la carga mineral
433-520	29.33	Descomposición térmica PE
520-1000	6.80	Pérdida de la carga mineral
Residuo a 1000	46.20	Residuo de la calcinación de la muestra
FR2		
Rango de temperatura (°C)	Variación de peso (%)	Origen de la señal
230-348	18.01	Pérdida de la carga mineral
348-414	1.74	Pérdida de la carga mineral
414-500	28	Descomposición térmica PE
500-1000	3.83	Pérdida de la carga mineral
Residuo a 1000	46.36	Residuo de la calcinación de la muestra

En relación con el cordón de adhesivo, lo más reseñable es la rápida descomposición térmica que sufre a partir de los 200 °C y hasta los 500 °C, y cuya curva de pérdida de peso también manifiesta una pendiente elevada por lo que puede concluirse que su descomposición será asimismo rápida.

Fig. 56bis. DSC-TGA de muestra de adhesivo.

Respecto de la composición de los núcleos tipo PE y FR se realizaron sendos análisis FTIR. En la figura 57 se muestran los espectros ATR de los núcleos PE-1 y PE-2. Ambos espectros presentan una serie de bandas características del PE, cuya asignación según V. Gulmine se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Bandas de los espectros de muestras PE1 y PE2 y su asignación

Números de onda (cm ⁻¹)	Tipo de vibraciones	Grupo funcional
2913	Asymmetric stretching	C-H (CH ₂)
2846	Symmetric stretching	CH (CH ₂)
1736	---	---
1461	Bending	(CH ₂)
1376-1372	Symmetric/Wagging deformation	(CH ₃)/(CH ₂)
1236	--	--
720-718	Rocking deformación	CH ₂

Adicionalmente se observan otras señales de pequeña intensidad hacia 1737, 1239 cm^{-1} , que podrían indicar vibraciones C-O de grupos carbonilo de algún tipo de aditivo orgánico añadido o bien al uso de alguna proporción de PE reciclado.

Fig. 57. Espectros ATR de núcleos PE-1 y PE-2.

En los espectros IR de las muestras FR-1 y FR-2 (Fig.58) se observan las bandas del PE ya previamente descritas. Además el espectro FR-1 presenta una banda aguda e intensa a 3692 cm^{-1} debida a vibraciones de tensión de grupos O-H que es característica del $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (Brucita) según F. Pascale et al' mientras que en el del FR-2 dicha banda es de muy pequeña intensidad y sin embargo se observa la presencia de varias bandas a 3618, 3523, 3449 y 3374 cm^{-1} debidas a vibraciones de tensión O-H características del $\text{Al}(\text{OH})_3$ (Gibbsite).

Además se observan otras dos bandas a 1016 y 965 cm^{-1} correspondientes a vibraciones de deformación de Al-O-H, así como bandas a 792 y 533 cm^{-1} debidas a vibraciones de tensión Al-O de este mismo compuesto (Takamura).

Las bandas débiles hacia 1740 , 1239 cm^{-1} , no identificadas, que aparecían en los espectros de las muestra PE-1 y PE-2, son en estos espectros más intensas. En la zona hacia 1430 cm^{-1} , 875 cm^{-1} y 715 cm^{-1} aparecen absorciones en ambos espectros. Dichas absorciones están solapadas con otras del PE y podrían deberse a carbonatos.

Fig. 58. Espectros ATR de núcleos PE-1 y PE-2.

Para identificar inequívocamente si parte de la carga mineral contiene carbonatos se calentó estas mismas muestras hasta 500 °C durante 10 minutos y se realizó el espectro IR de las mismas. Se eligió esta temperatura, porque en las muestras sin carga mineral, se había demostrado que el polietileno existente se había perdido completamente y sin embargo es anterior a la temperatura de descomposición de los carbonatos, que permanecerían en el material residual. Al salir del horno, las muestras se presentaban muy porosa y frágiles (Fig. 59). Se observan además unas fibras negras de carbón como consecuencia de la calcinación del polietileno.

Fig.59. Aspecto de muestra tras exposición 500 °C durante 10 minutos.

Fig. 60. Espectros FR-1 and FR-2 tras exposición a 500 °C.

Los espectros FTIR/ATR de dichas muestras (Fig. 60) presentan bandas a 1438 cm^{-1} , 875 cm^{-1} y 712 cm^{-1} características de la calcita.

Por lo tanto se puede concluir que la muestra FR-1 posee como carga mineral de brucita y caliza ($\text{Mg}(\text{OH})_2$ y CaCO_3). La señal endotérmica obtenidas en los ensayos de DSC/TGA en el rango entre $300 - 433\text{ °C}$, se puede por lo tanto asignar a la deshidratación de la brucita. La carga mineral del núcleo de la muestra FR-2 está constituida por brucita (en pequeña proporción), gibsita y caliza ($\text{Al}(\text{OH})_3$ y CaCO_3) y la señal endotérmica de la curva DSC entre 230 y 348 °C se asigna a las deshidroxilación de la gibsita.

A la vista de los resultados obtenidos se realizaron los cálculos de composición de las muestras FR1 y FR2, que se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7: Composición de las muestras FR1 y FR2 (% en peso)

Muestra	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	$\text{Al}(\text{OH})_3$	CaCO_3	PE
FR1	54	---	15.4	29.3
FR2	5.6	52	8.7	30

2.2.4.2. Ensayo SBI sobre kit de revestimiento con bandejas PE-1

En el caso de la maqueta según la configuración del esquema 6a, (sin rigidizadores adheridos), el ensayo se detuvo al sobrepasarse el valor de emisión de calor HRR considerado en el minuto 11 tras el comienzo del ensayo, por lo que no pudo terminarse el ensayo en el tiempo estipulado; y en consecuencia no se pudo determinar una clasificación de reacción al fuego.

El ensayo realizado sobre bandejas según el esquema (Fig. 48), con rigidizadores adheridos, se detuvo al sobrepasarse los 350 kW antes del tiempo definido para la duración del propio ensayo. Este final anticipado supone que el sistema no puede ser objeto de clasificación de acuerdo con el procedimiento establecido y ha de aplicarse la clase F (si no se realizara el ensayo de inflamabilidad) o bien la clase E (si se realizara y su resultado fuera favorable). A la vista de los antecedentes descritos en el estado del Arte se consideró que no procedía su repetición.

En este ensayo SBI sobre bandejas procedentes de paneles PE-1, se verificó inicialmente, un comportamiento de las mismas que se correspondería con el comportamiento como barrera ignífuga, de cualquier otra chapa metálica. No obstante, en la chapa exterior de la bandeja de esquina inferior, empieza a descomponerse el revestimiento lacado aplicado, así como la transmisión de calor al núcleo del panel y la fusión del núcleo de dicha bandeja.

En el momento en que la llama traspasa la altura de la junta horizontal, la bandeja de esquina superior está expuesta a un doble frente de llama que ataca por su trasdós y por su cara vista. Se produce entonces el mismo fenómeno descrito en el párrafo anterior pero con mayor celeridad.

Esta situación conduce a la fusión del núcleo de polietileno, generación y caída de partículas incandescentes, deslaminación del panel, y la continuidad de la generación de gases inflamables, circunstancias que suponen que en el minuto 13, se haya de suspender el ensayo por razones de seguridad debido a una súbita emisión de calor, y no se registren otras magnitudes.

Finalizado el ensayo se constata la rápida y prácticamente total destrucción del elemento de revestimiento más expuesto (bandeja inferior de esquina), incluyendo la fusión de la chapa externa de aluminio. No se aprecia descuelgue ni caída de bandejas por efectos del calor o la llama sobre los rigidizadores adheridos. Se considera que este resultado, el peor

posible conseguido por elementos teóricamente más protegido (bandejas) sería aplicable a un sistema de revestimiento a base de placas remachadas y no procede por tanto un ensayo SBI sobre un montaje tipo III con placas procedentes de paneles PE-1. (Fig. 61 a 64) para bandejas sin rigidizadores adherido, y 65 a 68 para bandejas con rigidizadores adheridos.

Fig. 61: Montaje.

Fig. 62: Llamas al final del ensayo.

Fig. 63: Estado de bandeja esq. superior.

Fig. 64: Estado bandeja esq. inferior.

Fig. 65: Montaje.

Fig. 66: Llamas a 500 mm.

Fig. 67: Doble ataque de llama.

Fig. 68: Fin de ensayo.

2.2.4.3. Correlación con el estudio de campo

De acuerdo con las fotografías tomadas y el análisis de resultados obtenidos puede concluirse que:

- El comportamiento real de las bandejas procedentes de paneles composite de aluminio PE fue notoriamente más desfavorable y no permitiría obtener el resultado del ensayo SBI previo indicado en el apartado 2.2.1.1. realizado sobre una muestra configurada según las condiciones normalizadas, sin cámara de aire ni juntas ni presencia de espuma de poliuretano (B-s1,d0).
- En cambio, si se contrastó que podría tener semejanza con los realizados en el estudio experimental, donde su comportamiento en laboratorio en los ensayos 47 y 48 serían clase F o E, correspondientes a materiales combustibles.
- Como se pudo constatar en las fotos, se produjo la deslaminación del panel y la fusión del polietileno de baja densidad, tal y como ocurrió en la fase experimental de laboratorio.

2.3. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA FRENTE A LA SUCCIÓN DEL VIENTO

2.3.1. Análisis de la Reglamentación aplicable

2.3.1.1 El RBO 4: La seguridad de utilización

El Requisito Básico de las Obras nº 04 definido en el Anejo 1 del Reglamento de Productos de Construcción (RPC), amplía el ámbito del Requisito Esencial nº. 04 de la Directiva de Productos de Construcción (DPC) incorporando la accesibilidad; dice que: *“Las obras (edificios) deberán proyectarse y construirse de forma que su utilización o funcionamiento no supongan riesgos inadmisibles de accidentes o daños tales como resbalones, caídas, colisiones, quemaduras, electrocución o heridas originadas por explosión y robos. En particular, las obras de construcción deben proyectarse y construirse teniendo en cuenta la accesibilidad y la utilización para las personas discapacitadas”*.

La cuestión de la accesibilidad no se objeto de la presente Tesis, que sólo se centrará en la Seguridad.

En el ámbito de la Directiva se emitió el Documento Interpretativo sobre el Requisito Esencial 04. En este Documento se indicaba que dichos riesgos pueden agruparse en tres familias: Resbalones, caídas e impactos. Estos últimos podrían ser:

- Impactos debidas a pérdidas de equilibrio del usuario.
- Impactos directos sobre usuarios causados por:
 - Choques de usuarios contra partes fijas o móviles de las obras y viceversa.
 - Impactos causados por caída de fragmentos de partes de la obra.

A la vista del ejemplo citado en la introducción, llama la atención que en este Documento Interpretativo para el R.E. 04, no conste ninguna referencia al estudio de la resistencia a la succión del viento como característica susceptible de provocar daños por desprendimientos. Sí en cambio, aparece una reseña en el Documento Interpretativo para el R.E. 01 (Resistencia mecánica y estabilidad) en su apartado 3.2. Acciones. Allí se enuncian dentro de las acciones variables a considerar, las causadas por el viento, que a su vez puede tener efectos estáticos (valor de presión o succión), o dinámicos (como por ejemplo, turbulencias, aceleradores de presiones, torbellinos cónicos).

En el caso particular de la evaluación técnica para las fachadas ventiladas, esta característica resulta ser crucial. La lista de características y posibilidades de no evaluación (prestación no determinada, que establece la CE para la redacción de las Normas o Guías EOTA) se indica en la Tabla 8:

Tabla 8

Características sobre seguridad de utilización a evaluar mandatadas por la Comisión Europea.	Permitida la opción Prestación no determinada
1. Resistencia a la acción del viento	No
2. Resistencia mecánica de las fijaciones	No
3. Resistencia a cargas horizontales puntuales	Sí
4. Resistencia al impacto	Sí
5. Resistencia al sismo	Sí
6. Resistencia a las variaciones higrotérmicas	Sí

De acuerdo con la Guía DITE 034, sólo las dos primeras serían de evaluación obligatoria, y las exigencias serían respectivamente:

- Para la resistencia a la acción del viento: El sistema deberá mostrar resistencia mecánica adecuada a las cargas de presión y succión, así como a las vibraciones causadas por el viento.
- Para la resistencia mecánica del aplacado-fijaciones, en particular su resistencia frente a los efectos del peso propio, y a la acción del viento.

Complementariamente, de acuerdo con lo especificado en la Guía DITE 034, podrán realizarse además de forma complementaria, las siguientes características:

- Resistencia al impacto: El sistema deberá diseñarse de tal modo que retenga sus propiedades tras impactos debidos al uso normal. Por ejemplo, tras impactos casuales o deliberados de objetos, no deberán aparecer roturas con bordes cortantes ni caerse fragmentos susceptibles de generar daños a los usuarios.
- Acciones sísmicas: A tal fin, deberán tenerse en cuenta el Eurocódigo, así como las disposiciones nacionales o reglamentarias que procedan.

- Cargas horizontales puntuales: El sistema deberá permitir el apoyo de dispositivos de mantenimiento y limpieza, sin que al igual que en el caso anterior, aparezcan roturas con bordes cortantes ni puedan caerse fragmentos susceptibles de generar daños a los usuarios.
- Resistencia a las variaciones higrotérmicas. Se deberá evaluar cuando proceda el movimiento del aplacado exterior causado por las variaciones de temperatura y humedad, teniendo en cuenta que las juntas estructurales, deberán respetarse por el aplacado y además, haber sido adecuadamente diseñadas y construidas.

Los riesgos en la seguridad de utilización de los sistemas de fachada ventilada objeto de estudio, son en principio, los mismos que los de cualquier otro sistema cubierto por el objeto de esta Guía. En consecuencia, en esta tesis se plantea seguir este criterio y el estudio se centrará en el estudio de la resistencia a la acción del viento del sistema completo y en la resistencia de las fijaciones del aplacado a la subestructura frente a esta acción.

2.3.1.2. El Eurocódigo 1 y el DB-SE-AE - CTE

Aunque con ciertas divergencias, como indican A. Tomás y M. Morales, [TOMÁS Y MORALES, 2012] el Documento Básico de Seguridad Estructural. Acciones en la edificación (en adelante DB SE-AE), de la parte II del Código Técnico de la Edificación, describe los mismos procedimientos y fórmulas para cuantificar la carga de viento que el Eurocódigo 1 sobre la acción del viento [UNE EN 1991-1]. Ahora bien, en el DB SE-AE no se considera la influencia de los efectos dinámicos, y la estimación de la acción del viento, para el campo de aplicación que se detallará más adelante, se determina mediante el cálculo de la presión estática q_e del viento según la fórmula:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p, \text{ siendo:}$$

- q_b Presión dinámica, que es función de la zona eólica (A, B y C), y es el parámetro que considera el valor de la velocidad básica del aire, es decir, el valor básico de la velocidad del viento correspondiente al valor característico de la velocidad media del viento a lo largo de un período de 10 minutos, tomado en una zona plana y desprotegida frente al viento (grado de aspereza del entorno II según tabla D.2) a una altura de 10 m sobre el suelo.

- c_e Coeficiente de exposición, en función del grado de aspereza del entorno (de I a V) y la altura del punto considerado (hasta 200 m).
- c_p Coeficiente de eólico o de presión/succión, que es función de la esbeltez del edificio, el área del elemento considerado y la zona del edificio a considerar, se distinguen 3 para el caso de paramentos verticales, denominadas A, B y C, que no tienen que ver con las zonas eólicas anteriormente indicadas.

Los límites del campo de aplicación establecidos en el DB-SE-AE excluyen los siguientes casos:

- Aquellos edificios situados en altitudes superiores a 2.000 m.
- Edificios situados en acantilados o escarpas superiores a 50 m.
- Edificios con altura superior a 200 m.
- Aquellas zonas de un edificio donde se prevean acciones de viento mayores a las consideradas (como por ejemplo, por la especial forma del edificio, etc...)

Cuando se den al menos uno de estos casos, se recomienda realizar un estudio “ad hoc” mediante ensayos en túneles de viento sobre maquetas a escala. El motivo, según Pindado, Francini y Meseguer (PINDADO et AL, 2007) es que la presión dinámica de un flujo turbulento sería mayor que la presión dinámica asociada a la velocidad media del aire. En particular, estos autores afirman que los siguientes fenómenos dinámicos, producidos al incidir el viento sobre zonas determinadas de un edificio, pueden generar importantes efectos de succión local, como por ejemplo:

- La aceleración de la corriente. Puede ser provocada por un encajonamiento del flujo de aire, como el cuando dos rascacielos se encuentran próximos entre sí.
- La generación de torbellinos cónicos. Un torbellino cónico se produce cuando la corriente de aire se desprende en una línea o contorno que forma un cierto ángulo respecto de la dirección del viento (por ejemplo una esquina). Así, un torbellino cónico actuando sobre la superficie de un edificio genera una fuerte succión bajo su eje.

En este contexto, conviene recordar que en una fachada ventilada con junta abierta sometida a presión del viento, las cargas se reparten sobre montantes y travesaños de forma que todos los elementos trabajan en colaboración; mientras que, sometida a succión, corresponde inicial y principalmente a las fijaciones del aplacado a la subestructura, contrarrestar la tracción que ejercerá el viento. En el tipo de kits estudiado, debido a su menor rigidez, resulta además fundamental limitar la deformación del aplacado.

Por otro lado, es sabido que el aire es un fluido que, al interrumpir su movimiento por encontrar un obstáculo como por ejemplo una fachada de un edificio, intercambia la energía cinética en presión. En realidad, debido a la distorsión del flujo que se genera alrededor de un edificio, se producen presiones o succiones que dependen de factores tales como la velocidad del viento, el ángulo de ataque, o la geometría del obstáculo. En el caso de edificios de forma paralelepípedica, en los cambios de planos se producirían torbellinos cónicos que pueden generar valores locales de succión sustancialmente mayores a los de la presión recibida por la fachada situada a barlovento. En consecuencia, la evaluación de la resistencia frente a la acción del viento de los sistema de revestimiento de fachada ventilada objeto de estudio puede restringirse a su comportamiento frente a la succión.

Así, ya en la Norma UNE 41.957-1. 2000, se consideraba, en base a la Norma alemana DIN 1055 sección 4, el efecto local de succión en las zonas de esquinas de los planos de fachada paralelos a la dirección del viento. En concreto, se indicaba que el valor de la succión del viento en las esquinas y borde de coronación de las fachadas de un edificio, y a lo largo de una franja de 2 m de longitud puede ser considerado el orden del doble del valor de la presión sobre la fachada situada a barlovento, (véase Fig. 69). Esta circunstancia corrobora la necesidad de aumentar cuantitativamente la resistencia frente al viento del sistema en las esquinas, por ejemplo reduciendo distancias entre perfiles verticales y/o aumentando la densidad de fijaciones. Estas recomendaciones son desde el año 2000, habitualmente propuestas por los miembros de la Comisión de Expertos en las concesiones de DIT para sistemas de fachadas ventiladas.

Fig. 69. Acción del viento sobre un edificio.

2.3.1.3 El Plan Nacional de predicción y vigilancia de fenómenos meteorológicos adversos

Para analizar la peligrosidad del viento, conviene recordar cómo se cuantifica la velocidad del viento. Según el Manual de la Agencia Estatal de Meteorología, en adelante AEMET la velocidad del viento se expresa o bien en función de valores medios (entendidos como promedio de períodos de diez minutos), o bien referenciada a su racha, es decir como la velocidad instantánea y máxima, registrada en el día, expresada en km/h y acompañada de la hora de aparición, que supone una desviación transitoria respecto a su valor medio. Así, los vientos se clasifican por AEMET como:

- “Calma”: Velocidad media menor o igual a 5 km/h.
- “Flojos”: Velocidad media entre 6 km/h y 20 km/h.
- “Moderados”: Velocidad media entre 21 km/h y 40 km/h.
- “Fuertes”: Velocidad media entre 41 km/h y 70 km/h.
- “Muy fuertes”: Velocidad media entre 71 km/h y 120 km/h, donde 96 km/h sería el valor central (equidistante) entre estos valores extremos.
- “Huracanados”: Velocidad media mayor que 120 km/h.

Este Manual de AEMET sólo emplea el término “racha de viento” cuando su velocidad supere los 70 km/h y entonces se clasifican como “rachas muy fuertes” cuando superen los 70 km/h. y rachas huracanadas, cuando superen los 120 km/h.

En el “Plan Nacional de predicción y vigilancia de fenómenos meteorológicos adversos” del Ministerio de Agricultura en adelante Plan Nacional, las rachas estructuran un

rango creciente de niveles de alerta y riesgos indicados a continuación, cuantificados mediante unos “valores umbral” de velocidad de racha en km/h, para cada región de España:

- Nivel amarillo: No existe riesgo meteorológico para la población en general aunque sí para alguna actividad concreta (fenómenos meteorológicos habituales pero potencialmente peligrosos) o localización de alta vulnerabilidad, como una gran conurbación.
- Nivel naranja: Existe un riesgo meteorológico importante (fenómenos meteorológicos no habituales y con cierto grado de peligro para las actividades usuales).
- Nivel rojo: El riesgo meteorológico es extremo (fenómenos meteorológicos no habituales, de intensidad excepcional y con un nivel de riesgo para la población muy alto).

2.3.1.4 El Reglamento del seguro de riesgos extraordinarios

En España inicialmente el Real Decreto 300/2004, y actualmente el Real Decreto 1386/2011 por el que respectivamente se aprobaba y actualizaba el “Reglamento del seguro de riesgos extraordinarios”, define entre otros como “acontecimientos extraordinarios” a los siguientes fenómenos de la naturaleza: Los terremotos y maremotos, las inundaciones extraordinarias, las erupciones volcánicas, la tempestad ciclónica atípica y las caídas de cuerpos siderales y aerolitos. En su artículo 2, por tempestad ciclónica atípica, se entiende un tiempo atmosférico extremadamente adverso y riguroso producido por:

- Ciclones violentos de carácter tropical, identificados por la concurrencia y simultaneidad de velocidades de viento superiores a 96 km/h, promediados sobre intervalos de 10 minutos.
- Borrascas frías intensas con advección de aire ártico identificadas por la concurrencia y simultaneidad de velocidades de viento mayores de 84 km/h, igualmente promediadas sobre intervalos de 10 minutos, con temperaturas potenciales que, referidas a la presión al nivel del mar en el punto costero más próximo, sean inferiores a 6 °C bajo cero.

- Tornados, definidos como borrascas extratropicales de origen ciclónico que generan tempestades giratorias producidas a causa de una tormenta de gran violencia que toma la forma de una columna nubosa de pequeño diámetro proyectada de la base de un cumulonimbo hacia el suelo.
- Vientos extraordinarios, definidos como aquellos que presenten rachas que superen los 120 km/h. Se entenderá por racha el mayor valor de la velocidad del viento, sostenida durante un intervalo de tres segundos.

De estas causas, es reseñable que para los tornados no se indicaba rango alguno de velocidad del viento. Según M. Gayá (GAYÁ, 2013) *Una de las consecuencias de esta definición fue un apreciable aumento de solicitudes de siniestros “consonciables” a causa de tornados. Si los daños producidos podían atribuirse a un tornado, aunque su velocidad máxima fuera relativamente baja (p. ej., 90 km/h), el siniestro resultaba “consonciable” y, en consecuencia, los daños causados eran susceptibles de indemnización por el Consorcio de Compensación de Seguros”.*

Así, a la hora de considerar la peligrosidad del viento un valor promedio de velocidad media de 96 km/h, es un valor umbral. Se concluye que este precedente proveniente del ámbito del aseguramiento de los edificios, con independencia de su ubicación y forma podría ser aplicable al ámbito de la evaluación técnica de los productos innovadores de construcción.

2.3.2. Estudio experimental

Para poder demostrar la hipótesis planteada, como primer paso se procedió a determinar experimentalmente las características mecánicas de los componentes principales del sistema involucrados en la resistencia frente a la succión del viento:

- La resistencia a tracción de las láminas de aluminio y del núcleo del panel.
- La rigidez a flexión del panel.
- La resistencia a la rotura a tracción de los elementos de fijación, es decir, la pieza de cuelgue fijada al montante, la entalladura de las bandejas y el cordón de adhesivo

Y finalmente se realizó un estudio analítico - experimental sobre la resistencia a la succión del viento del sistema completo compuesto por las propias bandejas y la subestructura. Los procedimientos utilizados se explican a continuación.

2.3.2.1. Resistencia a tracción de núcleo de PCA

En cuanto a las características mecánicas de las láminas de aluminio, se sabe que para este material el módulo de Young es de 70000 MPa, y la resistencia a tracción de las chapas del panel se define según sea la aleación elegida en la Norma UNE EN 1396. De acuerdo con esta norma, el comportamiento mecánico a tracción de la aleación EN AW 5005 H42, alcanzaría las siguientes cifras:

- Resistencia a la rotura por esfuerzos de tracción R_m (MPa): ≥ 125 y ≤ 165 .
- Límite elástico al 0,2% de la deformación: $R_{p0,2}$ (MPa): ≥ 80 .
- Elongación tras la rotura A50 (%): ≥ 7 .

En cuanto a la resistencia a tracción del núcleo, para obtener la resistencia a tracción de ambos tipos de núcleos, PE y FR, se recortaron 5 probetas tipo Alterio B, de planchas de 400 x 300 mm, y sometidiéndolas a ensayo según la Norma UNE EN 527-2, a una velocidad de aplicación de carga de 2 mm/min.

2.3.2.2. Rigidez a flexión del panel

Con el fin de corroborar lo que se deduce en el apartado, anterior, se consideró que entonces no deberían establecerse diferencias significativas en el comportamiento a flexión de paneles tipo PE y FR. Para ello se utilizó el procedimiento denominado ensayo de flexión a cuatro puntos, (en inglés Four Points Bending test, denominado de ahora en adelante como FPB) para determinar la rigidez a flexión de los PCA con estos tipos de núcleo, sobre muestras procedentes de PCA con láminas de aluminio lacado de aleación EN AW 5005 H22. Como antecedente, se ha tenido en cuenta lo descrito en el capítulo 4 del libro "An introduction to sandwich construction" por su autor Dan Zenkert, quien indica que este ensayo se caracteriza por la aplicación de dos cargas separadas entre sí y de los apoyos una distancia de L_1 siendo L_2 la luz entre apoyos, tal y como se indica en la Figura 70:

Fig. 70. Esquema ensayo 4 puntos.

En la zona comprendida entre los puntos de aplicación de carga, el momento es constante y de valor $M = P \cdot (L_2 - L_1)/2$, mientras que los esfuerzos cortantes son nulos. En las zonas comprendidas entre los apoyos y los puntos de aplicación de carga, el cortante es constante igual a la carga "parcial" aplicada (P).

En el centro de la zona central (entre puntos de aplicación de carga), la deformación total de la viga sándwich se debe a la flexión que allí existe, más el desplazamiento puntual causado por el esfuerzo cortante en los puntos de aplicación de carga. De acuerdo con los DIT emitidos, se consideraron dos procedimientos de ensayo, el basado en la Norma DIN 53295, y el basado en el realizado por el CSTB.

Las principales diferencias radican en el tamaño de las muestras a extraer de los paneles composite de aluminio de 4 mm de espesor y en las distancias entre puntos de aplicación de carga y reacciones. Así, la Norma DIN especifica unas dimensiones de probetas de 96 x 12 x 4 mm, luz L entre apoyos de 80 mm y una distancia entre apoyos y puntos de carga de $L/4$. Se constató durante su preparación que el corte y la manipulación de las muestras requiere bastante tiempo y precisión, y en consecuencia resulta más fácil el método CSTB.

Fig. 71: Ensayo de flexión según la Norma DIN 53295.

Por su mayor operatividad, se eligió finalmente el procedimiento planteado por el CSTB en el Informe de Ensayos del CSTB nº 36023 realizado en 1993 sobre muestras de paneles composite REYNOBOND; estos ensayos se realizaron sobre muestras de 400 x 300 x

4 mm de PCA, sobre el que se colocaron dos rodillos en posición central y otros dos como apoyos, laterales distanciados 25 mm del borde y permitiendo un vano de 350 mm.

Se aplicó una carga P total, a una velocidad de 5 mm/min., a 23 °C y 55% HR, dividida en dos partes iguales " P ", una por cada rodillo central hasta la deformación permanente de la muestra. De acuerdo con este procedimiento se considera a los valores de carga de 200 N y 600 N como representativos del régimen elástico; y se realizaron tres repeticiones del ensayo FPB, registrando automáticamente los valores individuales de flechas "corregidas" f_c (deformación menos desplazamiento vertical de cizalladura) de estos valores de carga.

Fig. 72. Ensayo de flexión según el procedimiento "CSTB".

Para calcular la rigidez a flexión, se ha tenido en cuenta el apdo. 4.11 del libro de Dan Zaerkert relativo a la determinación de la flecha total en el centro del vano de una viga sándwich sometida a ensayo FPB; esta se calcula como la suma de la deformación por esfuerzos de flexión más aquella causada por esfuerzos de cortante:

$$W_{L_2/2} = [(P \cdot (L_2 - L_1) (2 L_2^2 + 2 L_1 L_2 - L_1^2)) / 48 \cdot E \cdot I \cdot b] + [(P \cdot (L_2 - L_1)) / 2 \cdot S], \text{ siendo:}$$

- $W_{L_2/2}$: Flecha en el centro del vano entre apoyos.
- P : Carga parcial aplicada (200 N y 600 N).
- L_2 : Distancia entre apoyos= 300 mm.
- L_1 : Distancia entre puntos de aplicación de carga, es decir, $L_1 = L_2/3 = 100$ mm.
- $E \cdot I$: Rigidez a flexión.
- b : Anchura de la viga.
- S : Rigidez a cortante.

Se considera que en los PCA no existe deformación por esfuerzos cortantes (si no desplazamientos), por lo que se desprecia a efectos de cálculo el segundo término de la ecuación anterior. Siendo $L_1=L_2/3$, y despejando la variable a calcular se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$w_{(L_2/2)} = \frac{23 (2P/b) L_2^3}{27.48.D} \quad (\text{ec. N}^\circ \text{ ee}) \quad E.I = \frac{23 (2P/b) L_2^3}{27.48 w_{(L_2/2)}}$$

Finalmente, para encuadrar el cálculo de la rigidez dentro de un orden de magnitud se ha procedido a calcular las cargas correspondientes a los siguientes valores límites de tensión. Estos cálculos se han realizado considerando el equilibrio de momentos en el centro del tramo entre puntos de aplicación de carga, según la ecuación: $F \times d = P \times ((L_2-L_1)/2)$, donde:

- $F =$ Fuerza (tracción o compresión) en centro de gravedad de chapa de panel = $= \sigma \times \text{Área chapa de panel} = \sigma \times (t_f \times b)$.
- Dimensiones de chapa: Espesor $t_f = 0,5 \text{ mm}$, anchura $b = 300 \text{ mm}$.
- $d =$ distancia entre centros de gravedad chapas de panel de $4 \text{ mm} = 3,5 \text{ mm}$.

Se comprobaron a continuación que las cargas indicadas para determinar la rigidez se encuentra una dentro del rango elástico teórico y otra justo al límite del rango elástico teórico mediante las formulas siguientes, correspondientes al equilibrio de momentos:

$\sigma \cdot (t_f \cdot b) \cdot d = P \cdot (L_2-L_1)/2$, introduciendo P y despejando σ :

Límite 1: Para $P = 200 \text{ N}$:

$$\sigma = 200 \text{ N} \cdot 100 \text{ mm} / (0,5 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 3,5 \text{ mm}) = 38 \text{ MPa} < R_{p0,2} \geq 80 \text{ MPa}.$$

Límite 2: Para $P = 600 \text{ N}$:

$$\sigma = 600 \text{ N} \cdot 100 \text{ mm} / (0,5 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 3,5 \text{ mm}) = 114 \text{ MPa} > R_{p0,2} \geq 80 \text{ MPa}.$$

2.3.2.3. Resistencia a tracción de la entalladura con/sin refuerzo .

El objetivo del presente ensayo fue determinar el comportamiento del conjunto entalladura-pieza de cuelgue, frente a una carga de tracción simulando la succión del viento. Para ello se tuvo en cuenta el procedimiento de ensayos establecido en el apartado 5.4.2.7.1

de la Guía DITE 034, la aleación de aluminio del panel empleado en el edificio de la Xunta (3005 H46). Como primer paso, se realizaron seis repeticiones de ensayos sobre sendas muestras compuestas por paneles con núcleo tipo PE o bien FR, de 150 mm x 210 mm x 4, con una entalladura centrada en borde superior y anchura de 10 mm, pareja de tornillos autorroscantes de acero inoxidable, un montante omega de 50 mm de longitud y opcionalmente, la pletina de refuerzo de la entalladura de aluminio remachada por medio de cuatro remaches ciegos. De lo anterior, resultaron los cuatro tipos de muestras siguientes:

1. PCA tipo PE sin pletina de refuerzo de aluminio remachada a entalladura.
2. PCA tipo FR sin pletina de refuerzo de aluminio remachada a entalladura.
3. PCA tipo PE con pletina de refuerzo de aluminio remachada a entalladura.
4. PCA tipo FR con pletina de refuerzo de aluminio remachada a entalladura.

Una vez fijada la muestra, (alineada en vertical con el punto y sentido de aplicación de la carga) se aplicó la carga de tracción sobre la entalladura a una velocidad de 5 mm/min. El ensayo (Fig. 73) se realizó a 23 °C y 55% HR. Se obtuvieron el valor medio y el valor característico, así como la desviación estándar.

Fig. 73: Muestra resistencia al arrancamiento de la entalladura.

2.3.2.4 Resistencia a tracción de la unión adhesiva

Tal y como se indicaba en el estado del arte, no debe confundirse la resistencia a tracción del adhesivo con la resistencia de la unión adhesiva. Esta característica requiere de la presencia de todos los componentes que vayan a intervenir en la unión y su simulación debe ser acorde con la acción prevista.

En este caso, la acción considerada es la tracción simulando la succión del viento, Como punto de partida se eligió, de acuerdo con lo indicado en el borrador de Guía DITE 034 Parte III. Bonded cladding kits, un tamaño de muestra de PCA de 100 x 100 mm. La muestra real se configura como un sándwich compuesto por una pareja de dos PCA de 100 x 100 mm, una de las cuales asumirá el rol de soporte sobre la cual se aplicará el cordón de adhesivo y la otra el de cierre o tapa.

La cara donde se aplicará la imprimación y el adhesivo será la destinada a quedar oculta, es decir la que no tiene film protector adhesivo. La aplicación del adhesivo se realizó de acuerdo con el procedimiento descrito en las instrucciones del fabricante para la aplicación del SIKATACK consta de las siguientes fases:

1. Limpieza de superficies implicadas de placas soporte y de cierre con el producto específico, respetando tiempos y procedimientos consignados.
2. Aplicación de imprimación específica sobre superficies implicadas de placas soporte y de cierre, respetando tiempos y procedimientos consignados.
3. Aplicación paralela de dos tiras de cinta de doble cara adhesiva específicas de 3 mm de espesor sobre placa soporte a 2 cm de cada borde respectivo.
4. Aplicación de cordón de adhesivo (sección triangular) de 8 mm de ancho y 10 mm de alto y longitud la del total de las placas soporte consideradas.
5. Colocación de placa de cierre (cara imprimada sobre cordón adhesivo) y apriete durante 10 s. consiguiendo banda de adhesivo de 100 x 12 x 3 mm².

Finalmente, las probetas se curaron a 23°C y 50% HR. A las 24 de curado (1 día), se adhirieron palastros metálicos sobre las caras exteriores de los PCA mediante un adhesivo de resina epoxi bicomponente. Tras dejarles curar 3 días se cortaron las cintas de doble cara y se sometió a ensayo tras 4 días de curado. Se obtuvieron el valor medio y el valor característico, así como la desviación estándar.

Para obtener resultados a cortante se prepararon muestras de idénticas dimensiones (10 x 10 cm²) y se respetó el mismo tiempo de curado. Una de las caras se apoyó sobre un soporte liso y sobre su canto (parte fija) mientras que sobre la otra se aplicó la carga a una velocidad de 5 mm/min, hasta su rotura por deslizamiento.

Fig. 74: Aplicación manual del cordón de adhesivo de sección triangular en probeta.

Fig. 75: Aplicación de ligera presión manual sobre la probeta.

Fig. 76: Carga en régimen elástico, fuera del régimen elástico y de rotura.

2.3.2.5. Resistencia a la succión del viento de BPA

2.3.2.5.1. Diseño de la muestra

Para un primer estudio experimental de la resistencia frente a la succión del viento del sistema completo según el procedimiento de ensayo establecido en el apartado 5.4.1 de la Guía DITE 034, se definió en primer lugar una configuración de las maquetas de bandejas con rigidizadores adheridos a escala real, de acuerdo con los siguientes factores:

- Valor máximo admisible de tensión a tracción de 51 MPa (es decir el mismo valor que aparecía en los DIT citados en el estado del arte).
- El equipo de ensayo disponible en el IETcc (con bastidor de dimensiones libres interiores de 2430 x 1770 mm², capaz únicamente de alcanzar el máximo posible alcanzable por el equipo de ensayo (4,0 kPa, inferior a 4,9 kPa correspondientes al nivel de alerta roja).

Se consideró un diseño de muestra compuesto por dos bandejas diferentes. Las bandejas denominadas 1 y 2 tendrían forma apaisada, de idéntica longitud y diferente altura, una aproximadamente el doble que la otra. El espesor sería el menor disponible (40 mm) y sus entalladuras, con y sin refuerzo de pletina remachada, tendrían una anchura de lengüeta de 10,5 mm. La superficie de la cara vista bandeja debería ser divisible dos paños centrales (objeto de evaluación) y dos paños laterales (sin evaluar) mediante tres rigidizadores verticales adheridos al trasdós de la bandeja. Se buscó deliberadamente que el rigidizador central soportara mayor carga de succión para forzar a que la posible rotura sucediera allí. Para dimensionar los respectivos paños divisorios se consideró que la altura libre h del banco de ensayos (1770 mm) permitiera ubicar la bandeja mayor y la menor, con juntas horizontales entre bandejas de 20 mm (máxima indicada en los DIT consultados) y las juntas con el bastidor suficientes para permitir el montaje (véase Fig.77).

A continuación se consideró que la dimensión mayor "a" (altura) del paño central de la bandeja mayor tendría aproximadamente $2/3$ de la altura libre del bastidor de ensayo, resultando $1770 \times 2/3 = 1180$ mm. A continuación se calcularon mediante tanteo según las fórmulas y tabla indicadas a continuación, los factores de forma α , β , y la dimensión "b"

(anchura de paño o distancia entre rigidizadores adheridos), tales que para la altura del paño elegida (1180 mm) se pudiera resistir un valor de succión correspondiente al del nivel de alerta amarilla considerado (1,6 kPa) sin sobrepasar la tensión admisible de 51 MPa.

Tabla 9. Factores de forma tabulados
(Fuente Roarks' Formulas for stress and strain)

a/b=	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	3,0	4,0	5,0
β	0,2874	0,3762	0,4530	0,5172	0,5688	0,6102	0,7134	0,7410	0,7476
α	0,044	0,0616	0,0770	0,0906	0,1017	0,1110	0,1335	0,1400	0,1417

Tensión máx. (en el centro del paño): $\sigma = (\beta \cdot q \cdot b^2 / t_{eq}^2) \leq \sigma_{adm} = 51 \text{ MPa}$.

Flecha máx. (en el centro del paño): $\gamma = (\alpha \cdot q \cdot b^4 / E t_{eq}^3)$.

De estos distintos, la dimensión "b" más adecuada que permitiera obtener un valor de resistencia igual o superior más próximo a 1,6 kPa resultó ser 908 mm. Así, para los paños divisorios de la bandeja 1, resulta $b = L$, y así, la flecha máxima admisible sería 30,2 mm. A continuación, para dimensionar la altura de la bandeja nº 2, se tuvo en cuenta 908 mm como dimensión mayor "a" del paño y se calculó la dimensión menor "b" (altura) considerando que debería ser menor o igual que 540 mm, es decir el valor resultante de la resta de la altura libre del bastidor (1770 mm) menos la altura de la bandeja mayor (1180 mm), y las juntas entre bandejas (20 mm) y entre bandejas y bastidor (30 mm).

Tabla 10. Tanteos de máx. tensión y deformación en centro de paño de bandeja mayor

Tanteo	a/b	Dimensión mayor a (mm)	Dimensión menor b (mm)	α	β	q_e succión (kPa)	Flecha en centro placa (mm)	Notas
1	1,1	1180	1180/1,1 = 1073	0,05	0,33	1,49	40	$q_e < 1,6$ kPa
2	1,2	1180	1180/1,2 = 983	0,06	0,37	1,55	35	$q_e < 1,6$ kPa
3	1,3	1180	1180/1,3 = 908	0,06	0,41	1,66	30	$q_e > 1,6$ kPa
4	1,4	1180	1180/1,4 = 843	0,07	0,45	1,76	26	$q_e \gg 1,6$ kPa

Tabla 11. Tanteo de máx. tensión y deformación en centro paño de bandeja menor

Tanteo	a/b	Dimensión mayor a (mm)	Dimensión menor b (mm)	α	β	q_e succión (kPa)	Flecha en centro placa (mm)	Notas
1	1,2	908	908/1,2=757	--	--	--	--	$b > 540$ mm
2	1,4	908	908/1,4=648	--	--	--	--	$b > 540$ mm
3	1,6	908	908/1,6= 568	--	--	--	--	$b > 540$ mm
4	1,8	908	908/1,8=504	0,09	0,48	4,32	10	$b < 540$ mm

Tabla 12. Tanteos de máx. tensión y deformación en centro de paño de bandeja mayor

Tanteo	a/b	Dimensión mayor a (mm)	Dimensión menor b (mm)	α	β	q_e succión (kPa)	Flecha en centro placa (mm)	Notas
1	1,1	1180	1180/1,1 = 1073	0,05	0,33	1,49	40	$q_e < 1,6$ kPa
2	1,2	1180	1180/1,2 = 983	0,06	0,37	1,55	35	$q_e < 1,6$ kPa
3	1,3	1180	1180/1,3 = 908	0,06	0,41	1,66	30	$q_e > 1,6$ kPa
4	1,4	1180	1180/1,4 = 843	0,07	0,45	1,76	26	$q_e \gg 1,6$ kPa

Tabla 13. Tanteo de máx. tensión y deformación en centro de paño de bandeja menor

Tanteo	a/b	Dimensión mayor a (mm)	Dimensión menor b (mm)	α	β	q_e succión (kPa)	Flecha en centro placa (mm)	Notas
1	1,2	908	908/1,2=757	--	--	--	--	$b > 540$ mm
2	1,4	908	908/1,4=648	--	--	--	--	$b > 540$ mm
3	1,6	908	908/1,6= 568	--	--	--	--	$b > 540$ mm
4	1,8	908	908/1,8=504	0,09	0,48	4,32	10	$b < 540$ mm

2.3.2.5.2 Montaje de la muestra

Sobre el bastidor del banco de ensayos se colocó la subestructura para cada maqueta, configurada por perfiles de aluminio extruido de aleación 6060 T6 y acabado natural, con sección transversal en forma de omega, fijados cada 600 mm al soporte mediante ménsulas con sección transversal de 3 mm de espesor y forma de "TT" de la misma aleación. Sobre los montantes se colocaron las piezas de cuelgue atornilladas a las alas del perfil omega ubicadas en la bandeja 1 cada 500 mm (distancia máxima especificada en los DIT) y a 340 mm en la bandeja 2, según se indica en la figura 77. Para la unión entre elementos de la subestructura se utilizaron tornillos de rosca autorroscantes y punta autotaladrante con cabeza hexagonal.

Las bandejas tipo 1 y 2 procedían de paneles compuestos de láminas de aleación de aluminio lacado 5005 H42 (siendo su límite elástico $R_{p0,2}$ 80 MPa, se utilizó un coeficiente de seguridad 1,56 para considerar 51 MPa como la tensión máxima admisible a tracción en las láminas de aluminio, (la misma que la indicada en los DIT según la revisión del Estado del Arte), y núcleos de polietileno de baja densidad tipos PE y FR. En el trasdós de cada bandeja, se incorporaron a las distancias especificadas en el apartado anterior, tres rigidizadores procedentes del mismo tipo de PCA que la bandeja, adheridos mediante el conjunto de componentes formado por imprimación Sika Primer-206 G+P, cinta adhesiva de doble cara SIKA y el propio adhesivo Sikatack Panel, de tipo poliuretano monocomponente, y siempre de acuerdo con las condiciones de limpieza y respeto a tiempos de curado del adhesivo especificados por el proveedor del mismo.

Además del tipo de núcleo, se consideró como una nueva variable de ensayo la presencia de pletinas fijadas, mediante remaches ciegos tipo ISO 15973 - 4,8 × 15 AIA/St, con cabeza de aluminio y vástago de acero inoxidable A2, conformes con la Norma UNE EN ISO 15973, a las entalladuras tanto en las pestañas laterales como en los rigidizadores intermedios. Dichas pletinas eran de las dimensiones especificadas eran de aleación de aluminio 6063 T5.

Respecto del montaje de las bandejas, primeramente se colocó la inferior (de menor superficie) y después la mayor, y se ubicaron los medidores de deformación en el centro de cada "paño" de bandeja, para registrar las deformaciones instantáneas para cada valor de succión. En todos los casos, los sistemas se ensayaron tras 72 h de curado de los cordones de adhesivo de los rigidizadores.

Se realizaron tres repeticiones por cada configuración. La Tabla siguiente presenta las configuraciones sometidas a ensayo:

Tabla 14: Configuraciones sometidas a ensayo de succión al viento

Tipo	Descripción	Dimensiones (mm) de cara vista L x H x E	Rigidizadores adheridos	Entalladuras reforzadas
A	Bandeja "1A" procedente PCA tipo-PE	2343 x 1180 x 40	3	Ninguna
	Bandeja "2A" procedente PCA tipo-PE	2343 x 512 x 40	3	Ninguna
B	Bandeja "1B" procedente PCA tipo-FR	2343 x 1180 x 40	3	Ninguna
	Bandeja "2B" procedente PCA tipo-FR	2343 x 512 x 40	3	Ninguna
C	Bandeja "1C" procedente PCA tipo-PE	2343 x 1180 x 40	3	Todas
	Bandeja "2C" procedente PCA tipo-PE	2343 x 512 x 40	3	Todas
D	Bandeja "1D" procedente PCA tipo-FR	2343 x 1180 x 40	3	Todas
	Bandeja "2D" procedente PCA tipo-FR	2343 x 512 x 40	3	Todas

:

Fig. 77. Configuración de la maqueta de ensayo.

2.3.2.6 Resistencia a la succión del viento de sistema completo

2.3.2.6.1. Diseño de la muestra

A continuación se realizó una nueva serie de ensayos de succión sobre bandejas de modulación horizontal y un único rigidizador central adherido por su trasdós. En esta ocasión, se buscó intencionadamente, que las muestras de ensayo permitieran resistir el valor que podría ser exigido en el ámbito de la Pre-evaluación DIT (2,5 kPa) (BLÁZQUEZ, 2014) y que además fuera lo más representativa posible de un paño tipo de fachada. Así se configuró una composición de maqueta con los siguientes elementos:

- Ménsulas: 3 unidades por montante, de menor profundidad posible, (en total 9) distanciadas entre sí 938 y 250 mm de cada extremo del perfil vertical del bastidor, simulando el arranque y coronación del kit, fijadas a la perfilería del bastidor metálico mediante tornillos pasantes, arandela y tuerca, o bien tornillos autotaladrantes.
- Montantes: 3 unidades de 2375 mm de longitud, distanciados entre sí 910 mm, de modo que sirvieran para ensayar conjuntamente, bandejas de modulación vertical u horizontal, rigidizadas o no por su trasdós.
- Piezas de cuelgue: 2 unidades para otras tantas entalladuras por pestaña o rigidizador vertical, fijadas al montante con las fijaciones (p.ej. tornillos, remaches), evitando el efecto viga continua que tendría.
- Composición del revestimiento: Tres bandejas de iguales dimensiones, procedentes de PCA de 4 mm de espesor, compuestos por núcleos tipo "PE" como "FR", y por láminas de aleación de aluminio del tipo 5005 H42, definidas así:
 - Pestaña horizontal inferior a base de pliegue sencillo (la más débil).
 - Distancia vertical entre entalladuras: 500 mm, (la máxima especificada).
 - Distancia entre rigidizador adherido y pestaña vertical: 905 ± 5 mm.
 - Profundidad de sus pestañas verticales: 40,5 mm con entalladuras reforzadas con pletinas remachadas, o bien 44,5 mm sin entalladuras reforzadas.
 - Anchura de lengüeta de las entalladuras: 15 mm.
 - Tipo de panel según composición del núcleo: PE ó FR.

Tabla 15: Configuraciones de bandejas para ensayo

Nº	Tipo de panel	Dimensiones cara vista bandeja L x H (mm)	Nº de entalladuras en pestaña vertical	Profundidad de pestaña vertical (mm)	Anchura de lengüeta de entalladura (mm)	Refuerzo de entalladura	Observaciones
6	PE	1820 x 665	2	45	15	No	Posición superior (véase Fig. 78)
7	FR	1820 x 665	2	45	15	No	Posición central (véase Fig. 78)
8	FR	1820 x 665	2	40	10,5	Sí	Posición inferior (véase Fig.78)

En la definición de las maquetas para ensayo se consideraron las dimensiones interiores del cajón, 2000 mm de longitud x 2400 mm de alto, y la estructura de un nuevo bastidor-soporte disponible, para permitir la ubicación de medidores de deformación LVDT, así como para el ensayo conjunto de tres bandejas de modulaciones horizontal con rigidizadores adheridos. Tal y como se indica en la Tabla 15 y en la Fig. 78, los medidores de deformación LVDT se instalaron en los puntos donde a priori se podrían obtener las deformaciones más desfavorables.

2.3.2.6.2. Cálculos

El caso de la bandeja tipo prevista para el ensayo de succión se modela considerando su cara vista como una placa plana rectangular de dimensiones $a=910$ mm, $b=665$ mm y $t_{eq} = 3,33$ mm, apoyada en tres de sus cuatro lados de su perímetro, y empotrada en un lado corto b , por la presencia del rigidizador central distanciado 910 mm de las pestañas verticales. Se obtendrían la tensión máxima y la flecha máxima en el centro de la placa de acuerdo con las ecuaciones [a] y [b], tomadas de Roark Formulas (ROARK, 2001), considerando carga como uniformemente repartida.

Siendo la proporción $a/b= 1,37$, donde a es el lado mayor y b el lado menor, se obtienen los valores de los factores de forma $\alpha= 0,067$ y $\beta=0,66$, interpolando respectivamente de los valores para $a/b = 1$ ($\alpha= 0,030$ y $\beta=0,50$) y para $a/b=1,5$ ($\alpha= 0,071$ y $\beta=0,067$).

[a] Tensión máx. (en el centro de la placa): $\sigma_{adm} = (\beta \cdot q \cdot b^2 / t_{eq}^2) \leq \sigma_{adm} = 51$ MPa.

[b] Flecha máx. (en el centro de la placa): $\gamma = (\alpha \cdot q \cdot b^4 / E t_{eq}^3) \leq \gamma_{adm}=L/30$ (mm).

Donde:

“q” es la presión estática negativa (succión).

“β” y α son factores de forma, que dependen de “a” y “b”.

Siendo conocidas las dimensiones de la placa a y b, y su espesor equivalente $t_{eq} = 3,3$ mm se calcula el valor de succión en kPa “q” capaz de provocar un esfuerzo de tensión máxima admisible de $\sigma_{adm} = 51$ MPa, despejando “q” de la ecuación [4] obtenemos:

$$q = [(\sigma_{adm} \cdot t_{eq}^2) / (\beta \cdot b^2)]; \text{ resulta introduciendo datos } = 1,93 \text{ kPa, que sería el valor de succión que alcanza la tensión máx. admisible a tracción de láminas de aluminio.}$$

Y si se calcula, despejando de la ecuación obtenemos el valor de succión para el que se alcanzaría la deformación máxima admisible $L/30 = 30,33$ mm, siendo $L = 910$ mm.

$$q = [(\alpha \cdot E \cdot t_{eq}^3) / (\beta \cdot b^2)]; \text{ resulta introduciendo datos } = 3,98 \text{ kPa, que sería el valor de succión que alcanza la deformación máx. admisible en el centro de las bandejas.}$$

Y redondeando al alza estos valores a los escalones de succión establecidos en el procedimiento de ensayo de resistencia a la succión del viento establecido en la ETAG 034, resultarían los siguientes valores teóricos de máximas tensión y deformación admisibles:

- 2,0 kPa: Valor de succión correspondiente a la tensión máxima admisible.
- 4,0 kPa: Valor de succión correspondiente a la deformación máxima admisible.

Esquema de maqueta para ensayo de succión al viento. Vista posterior
Observaciones (dimensiones en mm)

- ① Banco de ensayos compuesto por bastidor y cajón de cierre
- ② Ménsula (menor profundidad y canto; max. vano voladizo = 250 mm; máx vano entre ménsulas: 938 mm) (9 uds) fijada a bastidor
- ③ Montante (longitud=2375 mm) (3 uds) fijado a ménsula
- ④ Pieza de cuelgue ajustable en altura (24 uds) fijada a montante
- ⑤ Bandeja de cierre (LxH cara vista=1820 x 305 mm) sin sobrepestaña hor. sup. procedente de panel composite de aluminio PCA
- ⑥ Bandeja (LxH cara vista=1820 x 665 mm) pest.lateral 1 vano prof. 44.5 mm, anch. entalladura no ref. 15 mm, procedente de PCA tipo PE de 4mm de espesor (1 ud)
- ⑦ Bandeja (LxH cara vista=1820 x 665 mm) pest.lateral 1 vano prof. 44.5 mm, anch. entalladura no ref. 15 mm, procedente de PCA tipo FR de 4mm de espesor (1 ud)
- ⑧ Bandeja (LxH cara vista=1820 x 665 mm) pest.lateral 1 vano prof. 40 mm, anch. entalladura reforz. 10 mm, procedente de PCA tipo FR de 4mm de espesor (1 ud)
- ⑨ Medidor de deformación

Fig. 78. Esquema de composición de maqueta para ensayo de succión con tres bandejas.

2.3.3. Estudio de campo

2.3.3.1. Toma de datos

Considerando el precedente del desprendimiento ocurrido en Tenerife en 2005 descrito en el Estado del Arte, en primer lugar se investigó si hubieran ocurrido incidentes sobre el sistema objeto de estudio causado por la acción del viento, esto es, posibles defectos tales como deformaciones, desprendimientos sufridos por sistemas de fachada ventilada a base de bandejas procedentes de paneles composite de aluminio rigidizadas por su trasdós, encontrándose un caso ocurrido en 2014 en las fachadas Oeste de la sede de la Xunta de Galicia situada en Campolongo (Pontevedra).

Como segundo paso, se obtuvo información de un diario local digital, se consultó al jefe de bomberos y se cursó una visita al edificio. Se trataba de un edificio de 11 plantas, de gran calidad arquitectónica, resuelve su composición mediante un desdoblamiento paralelo pero no totalmente simétrico de su volumetría en dos cuerpos (denominados A – de color gris oscuro y B (de color gris claro) en la fig. 79) de similares alturas y retranqueos, a lo largo de un eje Este-Oeste. Su arquitecto, D. Manuel Gallego Jorreto resolvió sus fachadas con ventanales y paneles de revestimiento de gran tamaño logrando un contenedor de estética muy cuidada.

Fig. 79. Estado actual (Julio 2015). Vista general desde el Suroeste. (Fuente: Propia).

Entre el 4 y el 6 de Febrero de 2014, durante el paso por la ciudad de las ciclogénesis explosivas bautizadas como “Petra” y “Qumaira”, se registraron rachas de viento que superaron los 100 km/h según el avance climatológico de Febrero de 2014 publicado por AEMET y se constataron por los usuarios del edificio vibraciones y ruidos en el revestimiento así como desprendimientos de algunas bandejas, que obligaron al aseguramiento de las bandejas de coronación y esquina de la fachada Oeste por los bomberos (Fig. 80 a 84).

Fig. 80: Detalle de subestructura y bandeja de coronación desprendida y plegada sobre sí misma al paso del temporal en la esquina suroeste del volumen A (Fuente: Xunta de Galicia).

Fig. 81: Detalle de bandeja desprendida al paso del temporal en arranque de fachada oeste del volumen B (Fuente: Xunta de Galicia).

Fig. 82. Vista General de A y B desde Suroeste. Actuación de bomberos al paso del temporal. (Fuente: Bombeiros Concello de Pontevedra).

Fig. 83. Vista detalle de cordón de adhesivo de rigidizador adherido por trasdós en bandeja de coronación de esquina suroeste de volumen A. (Fuente: Bombeiros Concello de Pontevedra).

Fig. 84. Aseguramiento vs caída de bandejas de fachada Oeste del edificio.
Fuente: (Bombeiros Concello de Pontevedra).

Afortunadamente, no hubo que lamentar desgracias personales, por la caída de las bandejas referidas anteriormente, pero conviene reseñar que en mi opinión, los ruidos y vibraciones sufridos por los usuarios se debieron al movimiento de las bandejas causados por la apertura (deformación permanente) de sus entalladuras debido a la acción del viento.

De acuerdo con la información consultada, las bandejas instaladas en la fachada lateral Oeste procedían de PCA composite de aleación 3005 H46, y sus dimensiones en mm (largo x alto x canto) eran las siguientes:

- Planta de cubierta: No dimensionadas.
(6100x1939x35) + (4100x1939x35).
- Plantas 10,8,6,4,2: (4100x1939x35) + (6100x1939x35).
(7000x1939x35) + (5000x1939x35).
- Plantas 9,7,5,3: (4100x1939x35) + (6100x1939x35).
(6100x1939x35) + (4100x1939x35).
- Planta 1: (4100x1939x35) + (6100x1939x35).
(5100x1939x35) + (4100x1939x35).

Por otra parte, de acuerdo con la información gráfica facilitada por el Jefe de bomberos del SEIS (Servicio de Extinción de Incendios y Salvamento), puede apreciarse que las bandejas dañadas que fueron retiradas se correspondían con las de dimensiones (4100x1939 mm) y contaban con dos rigidizadores adheridos equidistantes entre sí y con las pestañas verticales, y podría considerarse compuesta por tres paños de dimensiones de cara vista Lx H = 1367 mm x 1939 mm.

Al respecto, merece señalarse que según las fuentes consultadas (Xunta de Galicia, Bombeiros de Concello de Pontevedra y Diario Digital Pontevedra Viva), no se produjeron desprendimientos por la acción del viento en la fachada Este, de composición prácticamente simétrica a la fachada Oeste. (Fig. 85).

Fig. 85. Estado actual (Julio 2015). Vista general desde el Sureste. (Fuente: Propia).

2.3.3.2. Cálculos

Se realizaron cálculos para la determinación de la presión estática equivalente del viento para el edificio en cuestión, de acuerdo con los criterios establecidos en el Documento Básico de Seguridad Estructura-Acciones en la Edificación, considerando la zona B, así como los valores más desfavorables de los coeficientes aplicables:

- $q_b = 0,45$ kPa (zona B, para una velocidad básica de viento 27 m/s = 97 km/h).
- $c_e = 3,7$ (situación según tabla 3.4 para edificios de altura ≥ 30 m y grado I).
- $c_p = -1,4$ (situación según tabla D.3 del anejo D.3. para franja A del edificio).
- Presión estática $q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p = -2,33$ kPa (succión).

En cuanto a los niveles de alerta establecidos en el Plan Nacional, para las Rías Baixas se reseña que el nivel amarillo se asume para valores de velocidad de racha de viento de cómo mínimo 80 km/h ($22,22$ m/s) mientras que para el nivel de alerta naranja, el mínimo valor de velocidad es de 100 km/h ($27,77$ m/s) esto es, ligeramente superior al valor de velocidad media básica (97 km/h) para la zona B establecida en el método de

cálculo definido en el CTE-DB-SE-AE. Finalmente, el nivel de alerta roja se alcanza para un valor de racha valor igual o superior a 140 km/h (38,88 m/s). (Tabla 16).

Tabla 16. Niveles de alerta y velocidad de viento en Galicia. (Fuente: AEMET).

CODIGO	NOMBRE DE LA ZONA	PROVINCIA	umbrales		
			amarillo	naranja	rojo
711501	Noroeste de A Coruña	A Coruña	80	100	140
711502	Oeste de A Coruña	A Coruña	80	100	140
711503	Interior de A Coruña	A Coruña	70	90	130
711504	Suroeste de A Coruña	A Coruña	80	100	140
712701	A Mariña	Lugo	80	100	140
712702	Centro de Lugo	Lugo	70	90	130
712703	Montaña de Lugo	Lugo	80	100	140
712704	Sur de Lugo	Lugo	70	90	130
713201	Noroeste de Ourense	Ourense	70	90	130
713202	Miño de Ourense	Ourense	70	90	130
713203	Sur de Ourense	Ourense	70	90	130
713204	Montaña de Ourense	Ourense	80	100	140
713205	Valdeorras	Ourense	70	90	130
713601	Rias Baixas	Pontevedra	80	100	140
713602	Interior de Pontevedra	Pontevedra	70	90	130
713603	Miño de Pontevedra	Pontevedra	80	100	140

Si se considerasen los valores de velocidades de rachas de viento correspondientes a los niveles amarillo y naranja en el cálculo de la presión estática equivalente media, junto con los coeficientes de presión estática y de exposición aplicables para el edificio en cuestión (los más desfavorables establecidos en el Documento Básico de Seguridad Estructural. Acciones en la Edificación. DB-SE-AE del Código Técnico de la Edificación) resultarían los siguientes valores de presión estática equivalentes:

- Nivel amarillo:
 - $q_b = 0,5 \times 1,25 \text{ kg/m}^3 \times (22,22 \text{ m/s})^2 = 0,308 \text{ kPa}$.
 - $c_e = 3,7$ (según tabla 3.4 para edificios de altura $\geq 30 \text{ m}$ y grado I).
 - $c_p = -1,4$ (según tabla D.3 del anejo D.3. para franja A del edificio).
 - Presión estática $q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p = -1,6 \text{ kPa}$ (succión).
- Nivel naranja:
 - $q_b = 0,5 \times 1,25 \text{ kg/m}^3 \times (27,77 \text{ m/s})^2 = 0,481 \text{ kPa}$.
 - $c_e = 3,7$ (según tabla 3.4 para edificios de altura $\geq 30 \text{ m}$ y grado I).
 - $c_p = -1,4$ (según tabla D.3 del anejo D.3. para franja A del edificio).
 - Presión estática $q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p = -2,5 \text{ kPa}$ (succión).

Considerando el modelo de comportamiento de la cara vista de una bandeja al caso de una placa rectangular apoyada en todo su perímetro, de dimensiones $a = 1939$ mm, $b = 1367$ mm [$(a/b)=1,4$], y $t_{eq} = 3,33$ mm, y considerando los factores de forma $\alpha=0,07$ y $\beta=0,45$ se obtendrían la tensión máxima y la flecha máxima en el centro de la placa de acuerdo tanto con la tabla de datos de los coeficientes α y β , así como con las ecuaciones indicadas ambas por Roark, se obtendrían los siguientes valores de tensión y deformación (flecha) máximas admisibles:

- Si se tiene en cuenta el valor de la presión estática según el CTE $q_e = -2,33$ kPa:
 - Tensión (en centro de placa):
 - $\sigma = \beta \cdot q \cdot b^2 / t_{eq}^2 = 0,45 \cdot 2,33 \cdot (1367)^2 / (3,33)^2 = 179,91$ MPa, que supera el límite elástico R_{p02} (160 MPa) indicado para esta aleación.
 - Flecha (centro de placa):
 - $\gamma = \alpha \cdot q \cdot b^4 / (E \cdot t_{eq}^3) = 0,07 \cdot 2,33 \cdot (1367)^4 / (70\,000\,000 \cdot (3,33)^3) = 220,34$ mm. Si además se consideran el criterio de máxima deformación admisible establecido en el Estado del Arte ($L/30$ siendo L la distancia entre perfiles verticales o rigidizadores), resultaría $\leq \gamma_{adm} = L/30 = 1367/30 = 45,5$ mm. Esto es las deformaciones teóricas serían del orden de cinco veces mayores que las estipuladas como admisibles ($220,34/45,50 = 4,84$).
- Si se tiene en cuenta el valor de presión estática según el nivel amarillo del Plan Nacional $q_e = -1,60$ kPa:
 - Tensión (en centro de placa):
 - $\sigma = \beta \cdot q \cdot b^2 / t_{eq}^2 = 0,45 \cdot 1,60 \cdot (1367)^2 / (3,33)^2 = 122,43$ MPa, que no supera el límite elástico R_{p02} (160 MPa) indicado para esta aleación.
 - Flecha (centro de placa):
 - $\gamma = \alpha \cdot q \cdot b^4 / (E \cdot t_{eq}^3) = 0,07 \cdot 1,60 \cdot (1367)^4 / (70\,000\,000 \cdot (3,33)^3) = 151,33$ mm. Si además se consideran el criterio de máxima deformación admisible establecido en el Estado del Arte ($L/30$ siendo L la distancia entre perfiles verticales o rigidizadores), resultaría $\leq \gamma_{adm} = L/30 = 1367/30 = 45,5$ mm. Esto es las deformaciones teóricas serían del orden del triple que las estipuladas como admisibles.

En consecuencia para estas dimensiones de paño y geometría de bandeja, y considerando los escalones de succión de la Guía DITE 034, se deberá prever que el comportamiento de la bandeja estudiada estaría en el rango elástico para una succión de 1,6 kPa (nivel de alerta amarilla) y ya en el rango plástico para un valor de succión de 2,4 kPa (nivel de alerta naranja).

Fig. 86. Vista aérea parcial desde el Oeste de la Sede de la Xunta tras bloques de viviendas. (Fuente: www.pontevedraviva.com).

2.3.4. Discusión de resultados

2.3.4.1. Resistencia a tracción de núcleos

Del ensayo según la Norma UNE EN 527-2, a una velocidad de aplicación de carga de 2 mm/min. Se obtuvieron los resultados mostrados en las siguientes Tablas y Figuras:

Tabla 17: Resultados de ensayo de tracción de núcleo tipo PE

Muestra	Máximo Carga (N)	Extensión de tracción al Máximo Carga (mm)	Módulo de Young (MPa)
1	289,67	27,74	462,39
2	293,60	11,82	481,64
3	301,84	12,19	513,72
4	296,44	15,40	520,61
5	292,75	10,52	510,72
Máximo	301,84	27,74	520,61
Media	294,86	15,53	497,82
Mínimo	289,67	10,52	462,39
Desviación estándar	4,59	7,05	24,78

Tabla 18: Resultados de ensayo de tracción de núcleo tipo FR

Muestra	Máximo Carga (N)	Extensión de tracción al Máximo Carga (mm)	Módulo de Young (MPa)
1	202,53	4,75	854,40
2	203,52	4,35	824,84
3	205,79	7,28	822,05
4	200,60	4,84	767,63
5	205,67	4,81	871,07
Máximo	205,79	7,28	871,07
Media	203,62	5,21	828,00
Mínimo	200,60	4,35	767,63
Desviación estándar	2,19	1,18	39,50

Fig. 87. Ejemplo Curva carga-deformación PE.

Fig. 88. Ejemplo Curva carga-deformación FR.

Como puede observarse en las gráficas anteriores, se verifica que, el núcleo tipo PE es más elástico que el tipo FR. Si se considera la diferencia en % entre los respectivos valores medio del módulo de Young de ambos núcleos PE y FR, se obtiene que $((828,00 - 497,82) \cdot 100) / 828,00 = 39,87\%$. Es decir, que para esfuerzos de tracción, el núcleo FR es cuantitativamente casi un 40% más rígido que el núcleo PE.

Si comparamos módulos de elasticidad del aluminio (70.000 MPa) frente al valor medio obtenido en los ensayos, (828 y 497 MPa) se verifica que el primero es aproximadamente del orden de 85 veces mayor que el módulo del núcleo de PCA tipo FR y 141 veces mayor que el módulo del núcleo de PCA tipo PE.

Se concluye que esta diferencia no permite modelizar el comportamiento de este tipo de paneles como el de otros paneles sándwich de mayor espesor, donde las láminas resisten a tracción y el núcleo se encarga de resistir los esfuerzos cortantes que genera la carga de flexión recibida. Bajo cargas uniformes de flexión, se concluye que un PCA se comportará de forma más parecida a una membrana, resistiendo únicamente las cargas de viento mediante esfuerzos de tracción bidireccional.

2.3.4.2. Rigidez a flexión del panel

De acuerdo con el procedimiento indicado en el apartado 2.3.2.2. se obtuvieron los resultados que se indican en la Tabla 19, y verificó la ausencia de diferencias significativas de rigidez a flexión entre los paneles con núcleo tipo FR y PE

Tabla 19: Rigidez por metro lineal de PCA según núcleo (N.m/m de anchura)

Tipo núcleo	Probeta	$W_{L/2}$ (mm) $P_{total} = 600$ N	EI (daN.m ² /m)	$W_{L/2}$ (mm) $P_{total} = 200$ N	EI (daN.m ² /m)
PE	1	2,21	26,02	0,72	26,62
	2	2,19	26,26	0,74	25,90
	3	2,16	26,62	0,8	23,96
	V. Medio	--	26,30	--	25,49
FR	1	2,38	24,16	0,8	23,96
	2	2,37	24,26	0,77	24,89
	3	2,45	23,47	0,77	24,89
	V. Medio	--	23,96	--	24,58

2.3.4.3. Resistencia a tracción de la entalladura con / sin refuerzo

Con el fin de obtener una comparación de resultados de resistencia a tracción de la entalladura, se procedió a determinar el comportamiento del conjunto nueva entalladura con lengüeta de 10,5 mm y de 15 mm de anchura-pieza de cuelgue, frente a una carga de tracción simulando la succión del viento, según el apartado 5.4.2.7.1 de la Guía DITE 034, con y sin refuerzo, en este caso empleando paneles con la aleación de aluminio de menor resistencia mecánica a tracción, esto es la 5005 H22. De lo anterior, resultaron los ocho tipos de muestras siguientes:

1. PCA tipo PE sin pletina de refuerzo de aluminio a entalladura de 10,5 mm.
2. PCA tipo FR sin pletina de refuerzo de aluminio a entalladura de 10,5 mm.
3. PCA tipo PE sin pletina de refuerzo de aluminio a entalladura de 15 mm.
4. PCA tipo FR sin pletina de refuerzo de aluminio a entalladura de 15 mm.
5. PCA tipo PE con pletina de refuerzo de aluminio a entalladura de 10,5 mm.
6. PCA tipo FR con pletina de refuerzo de aluminio a entalladura de 10,5 mm.
7. PCA tipo PE con pletina de refuerzo de aluminio a entalladura de 15 mm.
8. PCA tipo FR con pletina de refuerzo de aluminio a entalladura de 15 mm.

De acuerdo con el método descrito en el apartado 2.3.2.3 se obtuvieron los resultados:

Tabla 20. Resistencia a tracción de entalladura de 10,5 mm según núcleo y refuerzo

Muestra	Probeta	Carga máxima (kN)	Observaciones
Entalladura de PCA - PE sin pletina de refuerzo	1	0,82	Rotura por bota
	2	0,85	
	3	0,81	
	4	0,85	
	5	0,75	
	6	0,78	
	V. Medio	0,81	
	Máximo	0,85	
	Mínimo	0,75	
	D. estándar	0,03	
	V. característico	0,72	
Entalladura de PCA - FR sin pletina de refuerzo	1	0,70	Rotura por bota
	2	0,64	
	3	0,68	
	4	0,64	
	5	0,58	
	6	0,65	
	V. Medio	0,648	
		0,70	
		0,58	
	D. estándar	0,70	
	V. característico	0,56	
Entalladura de PCA - PE con pletina de refuerzo	1	1,42	Rotura por bota y deformación permanente de pletina
	2	1,42	
	3	1,36	
	4	1,38	
	5	1,38	
	6	1,40	
	V. Medio	1,39	
	Máximo	1,42	
	Mínimo	1,36	
	D. estándar	0,02	
	V. característico	1,33	
Entalladura de PCA - FR con pletina de refuerzo	1	1,21	Rotura por bota y deformación permanente de pletina
	2	1,25	
	3	1,22	
	4	1,35	
	5	1,24	
	6	1,20	
	V. Medio	1,25	
	Máximo	1,35	
	Mínimo	1,20	
	D. estándar	0,05	
	V. característico	1,12	

Tabla 20. Resistencia a tracción de entalladura de 15 mm según núcleo y refuerzo

Muestra	Probeta	Carga máxima (kN)	Observaciones
Entalladura de PCA - PE sin pletina de refuerzo	1	0,94	Rotura por bota
	2	0,85	
	3	0,98	
	4	1,01	
	5	0,98	
	6	0,93	
	V. Medio	0,95	
	Máximo	1,01	
	Mínimo	0,85	
	D. estándar	0,06	
	V. característico	0,83	
Entalladura de PCA - FR sin pletina de refuerzo	1	1,27	Rotura por bota
	2	1,20	
	3	1,26	
	4	1,18	
	5	1,27	
	6	1,27	
	V. Medio	1,20	
	Máximo	1,26	
	Mínimo	1,18	
	D. estándar	1,27	
	V. característico	1,24	
Entalladura de PCA - PE con pletina de refuerzo	1	2,01	Rotura por bota y deformación permanente de pletina
	2	2,16	
	3	1,96	
	4	2,03	
	5	1,97	
	6	1,89	
	V. Medio	2,00	
	Máximo	2,16	
	Mínimo	1,89	
	D. estándar	0,09	
	V. característico	1,81	
Entalladura de PCA - FR con pletina de refuerzo	1	2,10	Rotura por bota y deformación permanente de pletina
	2	1,93	
	3	2,07	
	4	1,97	
	5	1,94	
	6	1,96	
	V. Medio	2,00	
	Máximo	2,10	
	Mínimo	1,93	
	D. estándar	0,07	
	V. característico	1,84	

De los resultados se concluye que:

- El tipo de núcleo del PCA influye en la resistencia a tracción de la entalladura; al comparar los valores de rotura a tracción de las tablas anteriores, resultan ser

ligeramente mayores para el núcleo tipo PE que para el FR. Esto se debe al contenido mineral del panel tipo FR, que conlleva una rotura más frágil y con menor deformación que la presentada por el panel PE.

- La incorporación de la pletina de refuerzo remachada a la entalladura permite prácticamente, duplicar el valor característico de la resistencia a la rotura.
- La rotura de la entalladura se identifica en las gráficas como caídas, de pendiente más suave si hay presencia de pletinas de refuerzo. El valor característico alcanzado, minorado con un coeficiente de 3, es el que se podría utilizar para considerar la carga máxima admisible de la entalladura.
- Se concluye que para poder garantizar la resistencia de las entalladuras, y manteniendo las distancias entre rigidizadores, la entalladura debería aumentar la anchura de la lengüeta y quizá además, incorporar pletinas de refuerzo remachadas.

De esta nueva serie de resultados se concluye que complementariamente a todo lo indicado antes, es posible aguantar 1,5 kN por parte las entalladuras siempre que sus lengüetas tengan 15 mm de profundidad y cuenten con pletinas de refuerzo remachadas. Asimismo, las entalladuras de 15 mm sin refuerzo presentan valores de resistencia ligeramente inferiores a las de las de 10,5 mm reforzadas, por lo que pueden ser una alternativa válida para evitar el encarecimiento de la ejecución del aplacado.

2.3.4.4. Resistencia a tracción de la unión adhesiva

Tabla 22. Resistencia a tracción de cordón de adhesivo

Muestra	Probeta	Carga máxima (kN)	Observaciones
Panel PCA Imprimación Cordón de adhesivo + Cinta doble cara Imprimación Panel PCA	1	2,12	Rotura por seno del adhesivo
	2	2,35	
	3	1,56	
	4	1,95	
	5	1,91	
	V. Medio	1,98	
	Máximo	2,35	
	Mínimo	1,56	
	D. estándar	0,29	
	V. característico	1,30	

Se verifica que el valor promedio de la carga de rotura a tracción es parecido al valor de carga de rotura tracción de la entalladura de 10,5 mm reforzada, y nunca menor que el valor de rotura de cualquier entalladura no reforzada.

2.3.4.5. Resistencia a succión del viento de BPA

Se presentan a continuación los resultados obtenidos por sendas BPA de diferentes dimensiones, de acuerdo con las indicaciones dadas en el apartado 2.3.2.5.

Tabla 23: Deformaciones (mm) registradas en bandejas (configuración A)

Succión (kPa)	Bandeja 1A - Muestra 1		Bandeja 1A - Muestra 2		Bandeja 1A - Muestra 3	
	d1	d3	d1	d3	d1	d3
0,6	5,05	5,70	5,60	5,62	5,93	6,07
0,8	6,69	7,38	7,48	7,66	7,47	7,67
1,0	9,17	8,92	9,46	9,23	8,99	9,22
1,2	9,61	10,40	11,35	11,69	10,59	10,89
1,4	11,10	11,93	13,09	13,25	12,00	12,30
1,6	12,62	13,52	Rotura por 7m		13,77	14,05
1,8	Rotura por 7m				Rotura por 7m	
2,0						
2,2						
2,4						
2,6						
2,8						
3,0						
3,2						
3,4						
3,6						
3,8						
4,0						
Succión (kPa)	Bandeja 2A - Muestra 1		Bandeja 2A - Muestra 2		Bandeja 2A - Muestra 3	
	d2	d4	d2	d4	d2	d4
0,6	2,45	1,86	2,27	2,45	2,40	2,72
0,8	3,25	2,71	3,03	3,28	3,28	3,58
1,0	4,04	3,48	3,78	4,08	4,18	4,49
1,2	4,83	4,27	4,53	4,86	5,21	5,55
1,4	5,65	5,09	5,33	5,47	6,26	6,62
1,6	6,47	5,92	Fin de test sin daños		7,80	8,14
1,8	Fin de test sin daños				Fin de test sin daños	
2,0						
2,2						
2,4						
2,6						
2,8						
3,0						
3,2						
3,4						
3,6						
3,8						
4,0						

Tabla 24: Deformaciones (mm) registradas en bandejas (configuración B)

Succión (kPa)	Bandeja 1B - Muestra 1		Bandeja 1B - Muestra 2		Bandeja 1B - Muestra 3	
	d1	d3	d1	d3	d1	d3
0,6	5,97	6,14	6,59	6,36	6,54	6,10
0,8	7,69	7,88	8,20	8,03	8,40	7,87
1,0	9,24	9,41	9,99	9,95	9,84	9,53
1,2	10,77	11,00	Rotura por s9		Rotura por s9	
1,4	Rotura por s9					
1,6						
1,8						
2,0						
2,2						
2,4						
2,6						
2,8						
3,0						
3,2						
3,4						
3,6						
3,8						
4,0						
Succión (kPa)	Bandeja 2B2- Muestra 1		Bandeja 2B - Muestra 2		Bandeja 2B - Muestra 3	
	d2	d4	d2	d4	d2	d4
0,6	2,01	2,32	2,32	2,50	2,52	2,56
0,8	2,69	3,15	3,06	3,31	3,37	3,29
1,0	3,31	3,89	3,79	4,19	4,08	4,21
1,2	3,98	4,71	Rotura por s9		Rotura por s9	
1,4	Rotura por s9					
1,6						
1,8						
2,0						
2,2						
2,4						
2,6						
2,8						
3,0						
3,2						
3,4						
3,6						
3,8						
4,0						

Tabla 25. Deformaciones (mm) registradas en bandejas (configuración C)

Succión (kPa)	Bandeja 1C - Muestra 1		Bandeja 1C - Muestra 2		Bandeja 1C - Muestra 3	
	d1	d3	d1	d3	d1	d3
0,6	5,61	5,71	5,58	5,41	5,88	6,15
0,8	7,28	7,40	7,08	6,98	7,52	7,70
1,0	8,82	8,91	8,53	8,48	9,03	9,12
1,2	10,20	10,27	10,02	9,94	10,54	10,60
1,4	11,57	11,63	11,51	11,39	12,05	12,08
1,6	12,94	12,99	12,70	12,54	13,59	13,57
1,8	14,18	14,19	13,77	13,66	14,89	14,87
2,0	15,54	15,57	14,91	14,89	16,30	16,29
2,2	17,60	17,65	16,11	16,16	18,04	18,04
2,4	19,54	19,61	17,29	17,36	19,42	19,47
2,6	21,45	21,65	18,52	18,61	21,15	21,24
2,8	23,46	23,85	19,97	20,17	23,35	23,53
3,0	25,11	25,82	21,38	21,71	Rotura por 7m	
3,2	26,82	28,13	23,73	24,17		
3,4	Rotura por 7m		Rotura por 7m			
3,6	--					
3,8						
4,0	--					
Succión (kPa)	Bandeja 2C - Muestra 1		Bandeja 2C - Muestra 2		Bandeja 2C - Muestra 3	
	d2	d4	d2	d4	d2	d4
0,6	2,49	2,56	2,39	2,42	2,29	2,40
0,8	3,33	3,43	3,27	3,31	3,13	3,27
1,0	4,16	4,23	4,08	4,12	3,96	4,07
1,2	4,99	5,04	4,93	4,93	4,90	5,03
1,4	5,76	5,76	5,82	5,71	5,76	5,98
1,6	6,50	6,51	6,66	6,44	6,66	6,89
1,8	7,26	7,20	7,47	7,20	7,39	7,69
2,0	7,92	7,89	8,38	8,10	8,27	8,54
2,2	8,59	8,61	9,09	8,80	9,30	9,58
2,4	9,35	9,43	9,80	9,40	10,07	10,39
2,6	10,40	10,50	10,48	10,02	10,99	11,31
2,8	11,37	11,54	11,27	10,73	12,14	12,40
3,0	12,54	12,76	12,02	11,41	Fin de test sin daños	
3,2	13,91	14,19	12,68	12,02		
3,4	Fin de test sin daños		Fin de test sin daños			
3,6						
3,8						
4,0						

Tabla 26. Deformaciones (mm) registradas en bandejas (configuración D)

Succión (kPa)	Bandeja 1D - Muestra 1		Bandeja 1D - Muestra 2		Bandeja 1D - Muestra 3	
	d1	d3	d1	d3	d1	d3
0,6	6,23	6,70	6,59	6,07	6,00	6,10
0,8	7,80	8,37	8,50	7,96	7,82	7,98
1,0	9,45	10,07	10,42	9,92	10,10	10,34
1,2	11,16	11,79	12,15	11,69	11,57	12,14
1,4	13,64	14,21	14,14	13,70	12,88	13,60
1,6	17,04	17,14	15,92	15,45	14,24	15,15
1,8	19,34	19,43	18,25	17,49	15,54	16,68
2,0	21,59	21,90	Rotura por 7m		17,05	18,40
2,2	Rotura por 7m				18,62	20,15
2,4					20,02	21,73
2,6					Rotura por 7m	
2,8						
3,0						
3,2						
3,4						
3,6						
3,8						
4,0						
Succión (kPa)	Bandeja 2D - Muestra 1		Bandeja 2D - Muestra 2		Bandeja 2D - Muestra 3	
	d1	d3	d1	d3	d1	d3
0,6	2,55	1,60	2,10	2,34	1,95	2,36
0,8	3,28	2,35	2,91	3,18	2,66	3,13
1,0	4,04	3,12	3,77	4,09	3,38	3,90
1,2	4,80	3,90	4,67	4,91	4,02	4,63
1,4	5,82	4,93	5,46	5,60	4,64	5,37
1,6	6,61	5,72	6,25	6,25	5,25	6,15
1,8	7,34	6,44	7,00	6,82	5,90	6,89
2,0	8,14	7,23	Fin de test sin daños		6,61	7,71
2,2	Fin de test sin daños				7,41	8,69
2,4					8,02	9,38
2,6					Fin de test sin daños	
2,8						
3,0						
3,2						
3,4						
3,6						
3,8						
4,0						

De la comparación entre resultados obtenidos en esta primera fase sobre un total de ocho casos estudiados, cabe destacar que la rotura tiene lugar siempre en la entalladura "7_m", y a 1,2 kPa en el caso de las bandejas 1B, por debajo de la carga de succión máxima admisible (1,6 kPa) teórica aquella para la que se alcanzaría la tensión

máxima admisible a tracción (51 MPa) de las láminas de aluminio, e incluso sin alcanzarse la deformación máxima admisible.

Por lo tanto, el modelo de placa apoyada en todo su perímetro (sin continuidad), no se cumplirá si las pestañas perimétricas y/o los rigidizadores adheridos no son suficientemente resistentes. En particular, si las entalladuras no son lo suficientemente resistentes a tracción como para comportarse como verdaderos apoyos, es decir sin deformaciones permanentes ni roturas, tampoco se cumplirá el modelo de cálculo. Por ello, se tendrá que tener en cuenta por un lado en el ámbito de su prescripción, que sería adecuado no utilizar bandejas de 40 mm de espesor con entalladuras no reforzadas y lengüeta de 10,5 mm de anchura. Por otro lado, y ya en el ámbito de su evaluación experimental, debe incorporarse el registro de las deformaciones permanentes para cada escalón de succión, con el fin de establecer si procede, un valor límite para garantizar su seguridad.

Respecto del porqué de la rotura en todos los casos de la bandeja 1 por la entalladura 7_m se concluye que es el punto más desfavorable del rigidizador central. El motivo es debido a ser la entalladura más próxima a la pestaña horizontal inferior de la bandeja, que es la más deformable al encontrarse en voladizo, sin contacto directo con la subestructura. En efecto, si la deformación de la pestaña horizontal inferior de la bandeja fuera permanente, probablemente se superaría también, y de forma previa el límite elástico a tracción de la entalladura 7_m .

Para las bandejas referidas, sus respectivo rigidizadores centrales adheridos han sufrido rotura en la entalladura " 7_m " en el escalón de succión de 1,2 kPa, reseñable además por estar por debajo del valor de succión (1,6 kPa) previsto para alcanzar la máxima tracción admisible de las láminas de aluminio. Se ha procedido a considerar su comportamiento como una viga continua sometida a carga uniformemente repartida, y por equilibrio de momentos y giros, obtener los esfuerzos cortantes y las reacciones en los apoyos. El rigidizador central se ha modelizado como una viga continua de tres vanos sobre cuatro apoyos (las tres entalladuras del rigidizador y por último el remache a la subestructura situada sobre la sobrepestaña horizontal superior) y un tramo en voladizo, tal y como se indica en la Fig. 89. Esta viga constaría de 4 mm de espesor y un canto definido de 40 mm. La longitud de esta viga sería la correspondiente a la altura de la bandeja considerada, es decir 1180 mm.

Fig. 89. Esquema de bandeja 1 y de su rigidizador central modelizado como viga continua

Como valor para el cálculo inicial se ha considerado una succión de 1,00 kPa (o lo que es lo mismo, 1 kN/m²), por ser el valor inmediatamente inferior al cual donde se produjo durante el ensayo, la rotura de la entalladura 7_m. Siendo la distancia entre rigidizadores 0,908 m resulta que la cara vista de la bandeja transmite al rigidizador central adherido una carga uniformemente repartida $q=1 \text{ kN/m}^2 \times 0,908 \text{ m} = 0,908 \text{ kN/m} = 908 \text{ N/m}$ (fig. 126). En primer lugar, se ha procedido a calcular los momentos flectores en los apoyos de la viga continua sometida a esa carga; para ello se ha modelizado ésta

descompuesta como tres vigas simples en sendos tramos numerados como 1, 2, 3a y 3b, de acuerdo con las acciones recibidas. En particular, el tramo 3 se ha desglosado en dos, uno que recibe la carga uniformemente repartida de succión y otro, el momento “M” sobre su apoyo 7_m , causado por esta misma carga sobre el voladizo derecho). Comparando los valores de los momentos calculados para cada apoyo, se concluye que hay un desequilibrio de momentos en los apoyos centrales, “ 7_k ” y “ 7_l ”, donde se generarán giros en la viga, y en consecuencia otros nuevos momentos para equilibrarlos. Se calculan descomponiendo tramos y agrupándolos después (Tablas 27 y 28):

Tabla 27: Cálculo de momentos en apoyos debido a carga uniformemente repartida

Descomposición en vigas simples por tramos					Momento flector (N.m) <i>fórmula</i>		Momento resultante (N.m) (apoyo)
Tramo	Acción	Luz	Apoyo izq.	Apoyo dch.	Apoyo izq.	Apoyo dch.	
1	908 N/m	0,08 m	Apoyo libre (R_b)	Empotramiento (7_k)	0 $M_{Rb} = 0$	- 0.88 $M_{7k} = q.l_1^2/8$	+18,91 -0.88≈18 (7_k)
2	908 N/m	0,5 m	Empotramiento (7_k)	Empotramiento (7_l)	+18.91 $M_{7k}=q.l_2^2/12$	-18.91 $M_{7l} = q.l_2^2/12$	+28,37 -18,91 -2,27=7,2 (7_l)
3a	908 N/m	0,5 m	Empotramiento (7_l)	Apoyo (7_m)	+28.37 $M_{7l} = q.l_3^2/8$	0 $M_{7k} = 0$	
3b	M	0,5 m	Empotramiento (7_l)	Apoyo (7_m)	-2.27 $M_{7l} = M/2$	-4.54 $M = q.l_v^2/2$	

Nota para el cálculo de momentos debidos a giros:

Siendo $E = 70.000 \text{ MPa} = 7.10^{10} \text{ N/m}^2$, Inercia $I=b.c^3/12$, siendo $b= 0,004 \text{ m}$. $c= 0,04 \text{ m} = 2,13 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$ y el producto $E.I = 1491 \text{ N.m}^2$

Existirá equilibrio de momentos en los apoyos 7_k y 7_l si los sumatorios de momentos debidos a carga uniformemente repartida y debidos a giros respectivos resultaran nulos:

En el apoyo 7_k:

$$18 - ((3.E.I/L_1) \vartheta_2 + (4.E.I/L_2) \vartheta_2) + (2.E.I/L_2) \vartheta_3 = 18 - (50829 + 11928) \vartheta_2 + 5964 \vartheta_3 = 0.$$

$$\text{Despejando: } 18 = 62757 \vartheta_2 - 5964 \vartheta_3.$$

En el apoyo 7_l:

$$7,20 - (2.E.I/L_2) \vartheta_2 + (4.E.I/L_2) \vartheta_3 + 3.(E.I/L_3) \vartheta_3 = 7,20 - 5964 \vartheta_2 + (11928 + 8946) \vartheta_3 = 0.$$

$$\text{Despejando: } 7,2 = 5964 \vartheta_2 - 20874 \vartheta_3.$$

Y resolviendo este sistema de dos ecuaciones y dos incógnitas resultan los siguientes valores de giros en radianes: $\vartheta_2 = 2,61 \cdot 10^{-4}$ radianes y $\vartheta_3 = -2,7 \cdot 10^{-4}$ radianes, que introducidos en las fórmulas correspondientes a cálculo de momentos causados por giros, nos permiten obtener los respectivos valores indicados en la tabla siguiente:

En el apoyo 7_k:

- $M = -(3.E.I/L_1) \vartheta_2 = -13,3 \text{ N. m.}$
- $M = -4.E.I/L_2 \vartheta_2 = 3,10 \text{ N. m.}$
- $M = 2.E.I/L_2 \vartheta_3 = -1,6 \text{ N. m.}$

En el apoyo 7_l:

- $M = -(2.E.I/L_2) \vartheta_2 = -1,5 \text{ N. m.}$
- $M = 4.E.I/L_2 \vartheta_3 = -3,2 \text{ N. m.}$
- $M = 3.E.I/L_3 \vartheta_3 = -2,5 \text{ N. m.}$

Tabla 28. Cálculo de momentos en apoyos centrales

Apoyo	Momentos resultantes debidos a $q=908 \text{ N/m}$ (N.m)	Momentos en apoyos de viga continua debidos a giros ϑ (N.m)			Momento resultante
		Tramo 1 Apoyo-Apoyo [Fórmula]	Tramo 2 apoyo-empotram. [Fórmula]	Tramo 3 Empotram-apoyo [Fórmula]	
7 _k	18,0	-13,3 [$M = -(3.E.I/L_1) \vartheta_2$]	-3,1 [$M = -4.E.I/L_2 \vartheta_2$]	-1,6 [$M = 2.E.I/L_2 \vartheta_3$]	0,00
7 _l	7,20	-1,5 [$M = -(2.E.I/L_2) \vartheta_2$]	-3,2 [$M = 4.E.I/L_2 \vartheta_3$]	-2,5 [$M = 3.E.I/L_3 \vartheta_3$]	0,00

A continuación se han calculado para cada tramo de viga continua, considerando cada uno de ellos como viga simple, los esfuerzos cortantes V_M provocados por los momentos generados por los giros ϑ_2 y ϑ_3 (M_{ϑ_2} y M_{ϑ_3}) resultantes en cada uno de los apoyos centrales, los esfuerzos cortantes provocados por la carga uniformemente repartida V_Q :

- Tramo 1 (7_K) : $\Sigma M_{T1} = M_Q + M_{\vartheta_2} = -0,88 \text{ N.m} - 13,3 \text{ N.m} = -14,21 \text{ N.m.}$

$V_M = M_{T1} / L_1 = -14,21 \text{ N.m} / 0,088 \text{ m} = 161,47 \text{ N.}$

$V_Q = Q \cdot L_1 / 2 = 908 \text{ N/m} \cdot 0,088 \text{ m} / 2 = 39,95 \text{ N.}$

Luego $V_{Rb} = 121,52 \text{ N}$ y $V_{7K} = 201,42 \text{ N.}$
- Tramo 2 (7_K) : $\Sigma M_{T2} = M_Q + M_{\vartheta_2} + M_{\vartheta_3} = 18,91 - 3,1 - 1,60 = 14,21 \text{ N.m.}$

(7_L) : $\Sigma M_{T2} = M_Q + M_{\vartheta_2} + M_{\vartheta_3} = -18,91 - 1,50 - 3,20 = -24,61 \text{ N.m.}$

$V_M = M_{T2} / L_2 = (14,21 - 24,61) \text{ N.m} / 0,5 \text{ m} = 20,8 \text{ N.}$

$V_Q = Q \cdot L_2 / 2 = 908 \text{ N/m} \cdot 0,5 \text{ m} / 2 = 227 \text{ N.}$

Luego $V_{7K} = 206,2 \text{ N}$ y $V_{7L} = 247,80 \text{ N.}$
- Tramo 3: (7_L) : $\Sigma M_{T3} = M_Q + M_{\vartheta_2} + M_{\vartheta_3} = (28,37 - 2,27) - 1,5 = 24,6 \text{ N.m.}$

(7_M) : $\Sigma M_{T3} = M_Q = -4,54 \text{ N.m.}$

$V_M = M_{T3} / L_2 = (24,6 - 4,54) \text{ N.m} / 0,5 \text{ m} = 20,06 / 0,5 = 40,12 \text{ N.}$

$V_Q = Q \cdot L_2 / 2 = 908 \text{ N/m} \cdot 0,5 \text{ m} / 2 = 227 \text{ N.}$

(1A-PE-no ref.)	1,00	908	7_k	0,41	0,72	0,72/0,392= 1,83
			7_l	0,51		
			7_m	0,19		
(1B-FR-no ref.)	1,00	908	7_k	0,41	0,56	0,56/0,392=1,42
			7_l	0,51		
			7_m	0,19		
(1A-PE-ref.)	1,00	908	7_k	0,41	1,33	1,33/0,392=3,39
			7_l	0,51		
			7_m	0,19		
(1B-FR-ref.)	1,00	908	7_k	0,41	1,12	1,12/0,392=2,85
			7_l	0,51		
			7_m	0,19		

Se deduce que si en el ensayo sobre el sistema completo la rotura ocurre en esta entalladura, es porque previamente para determinadas succiones inferiores a la causante de la rotura, se supera se producen deformaciones permanentes en la misma.

Se deduce asimismo que no es suficiente dimensionar las bandejas considerando únicamente la resistencia a tracción del aluminio de la cara vista del panel. Si la reacción en la entalladura (apoyo) supera el rango elástico, se producirían deformaciones permanentes (aperturas) y el modelo de viga continua sobre varios apoyos no sería válido. Incluso puede inducir la rotura de la entalladura inferior y el pandeo o deformación permanente de la pestaña horizontal inferior de la bandeja, que trabajaría como si estuviera en voladizo. En consecuencia, el modelo de cálculo considerado para dimensionar la cara vista de la bandeja como una placa apoyada en todo su perímetro no sería válido.

2.3.4.6. Resistencia a la succión del viento del sistema completo

Se resumen en la Tabla 30, los registros obtenidos por cada medidor (LVDT):

Tabla 30: Valores de deformación acumulada (mm) más desfavorable registrada en el ensayo de succión

Carga de succión (kPa)	Bandeja 6 (PE)		Bandeja 7 (FR)			Bandeja 8 (FR)		
	LVDT d ₁ ó d ₃ instantánea (diferida)	LVDT d ₇ instantánea (diferida)	LVDT d ₂ ó d ₄ instantánea (diferida)	LVDT d ₉ instantánea (diferida)	LVDT d ₈ instantánea (diferida)	LVDT d ₅ ó d ₆ instantánea (diferida)	LVDT d ₁₁ instantánea (diferida)	LVDT d ₁₀ instantánea (diferida)
0,3	4.14 (0.18)	2.67 (0.14)	4.13 (0.13)	2.4 (0.05)	1.49 (0.03)	3.78 (0.04)	3.14 (0.05)	1.76 (0.02)
0,5	5.50 (0.24)	4.57 (0.19)	5.45 (0.16)	4.46 (0.07)	2.55 (0.05)	5.36 (0.14)	4.03 (0.15)	3.14 (0.02)
1,0	6.90 (0.38)	5.55 (0.33)	6.83 (0.26)	5.48 (0.19)	3.12 (0.13)	6.62 (0.18)	4.84 (0.22)	3.9 (0.04)
1,2	7.95 (0.51)	6.67 (0.44)	7.84 (0.32)	6.57 (0.24)	3.71 (0.21)	7.87 (0.33)	5.70 (0.31)	4.75 (0.19)
1,4	9.12 (0.66)	7.71 (0.59)	9.08 (0.46)	7.59 (0.46)	4.30 (0.35)	9.07 (0.51)	6.63 (0.44)	5.43 (0.35)
1,6	10.44 (0.91)	8.72 (0.74)	10.57 (0.92)	8.75 (0.64)	5.02 (0.54)	10.23 (0.64)	7.41 (0.59)	6.32 (0.59)
1,8	11.61 (1.18)	9.72 (0.92)	11.89 (1.29)	9.75 (0.98)	5.60 (0.48)	11.29 (0.87)	8.35 (0.75)	7.10 (0.72)
2,0	13.16 (1.56)	11.03 (1.25)	13.65 (1.83)	11.18 (1.09)	6.51 (1.06)	12.36 (1.03)	9.20 (0.92)	7.97 (0.94)
2,2	14.47 (2.05)	12.58 (1.77)	15.02 (2.36)	12.29 (1.13)	7.41 (1.41)	13.42 (0.72)	8.63 (0.98)	7.99 (1.19)
2,4	15.77 (2.35)	14.29 (2.08)	16.27 (2.54)	13.95 (1.41)	8.26 (1.64)	14.46 (1.54)	10.97 (1.43)	9.52 (1.41)
2,6	17.56 (2.75)	16.02 (2.90)	17.91 (2.92)	15.42 (2.03)	9.05 (2.02)	15.61 (2.02)	12.46 (1.91)	10.70 (2.13)
2,8	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	16.64 (2.25)	13.46 (2.35)	11.49 (2.46)
3,0	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	17.58 (2.62)	14.91 (2.91)	12.36 (2.90)
3,2	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	18.55 (2.88)	16.31 (3.71)	13.16 (3.26)
3,4	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	19.59 (3.18)	18.11 (4.95)	13.99 (3.71)
3,6	Finalización del test por alcanzarse máxima potencia del dispositivo de ensayo.							

El acrónimo “N.R.” significa que “no registrado”, es decir que no se midieron deformaciones por la retirada de medidores de deformación LVDT. Tras superar los valores de succión 2,0 kPa (el que suponía alcanzar la tensión máxima admisible a tracción de las láminas de aluminio) y 2,4 kPa (escalón aplicable al resultante del cálculo según el criterio del DB.SE-AE del CTE para la zona B, se procedió por precaución a retirar los medidores de deformaciones de las bandejas 6 y 7, manteniéndose en la bandeja 8.

En relación con los posibles fallos que se consideran en la Guía DITE 034 se precisa que, no se produjeron ni rotura de elementos de aplacado, ni fallos de fijación, ni desprendimientos de componentes de la subestructura pero sí se una deformación permanente apreciable a simple vista de 3 mm para un valor de succión de 3,2 kPa en la bandeja 8. En el escalón de 3,6 kPa se alcanzó la máxima potencia posible del dispositivo de ensayo, por lo que por precaución se finalizó el ensayo antes del límite teórico de 4,0 kPa.

2.3.4.7. Correlación con el estudio de campo

La modulación de las bandejas instaladas en la fachada Oeste objeto de estudio, compuesta por tres paños de cara vista (longitud L x altura H) = 1367 mm x 1939 mm (área 2,65 m²) no sólo era excesivamente grande para poder resistir la succión de viento causada por las tormentas “Petra” y “Qumaira” sino también, para incluso resistir con seguridad a la rotura una succión de 2,33 kPa obtenida por cálculo de acuerdo con los criterios establecidos en el Código Técnico. En este sentido, se reseña que el resultado de ensayo obtenido para escalón de 2,4 kPa por una bandeja de modulación (longitud L x altura H) 910 mm x 665 mm (0,60 m²) ya presentaría para ese valor una deformación permanente por encima de 2 mm.

Como valor umbral para una evaluación técnica favorable, se estima que en España, siempre que hayan sido adecuadamente diseñados, instalados y mantenidos, estos sistemas deben resistir una succión de viento de al menos 2,4 kPa sin que se produzcan los fallos de rotura descritos en la Guía DITE 034, esto es, ni rotura de elementos de aplacado, ni fallos de fijación, ni desprendimientos de componentes de la subestructura.

2.4 EVALUACIÓN DE LA DURABILIDAD

2.4.1. Análisis de la Reglamentación aplicable y de resultados previos

2.4.1.1. En el ámbito de la UEAtc

2.4.1.1.1 Consideraciones generales

Decía Gerard Blachère (BLACHERE, 1967) sobre la Durabilidad, en la que probablemente fuera la primera vez que se considerase como una exigencia irrenunciable para los edificios, que ésta dependería de las condiciones de financiación. Lo exponía con un ejemplo muy claro: Si el período de tiempo de amortización de la inversión de una vivienda fuera 45 años, la vivienda no podría durar menos. Definía entonces la durabilidad como una exigencia económica consistente en que mientras dure la vida normal del edificio, deberían mantenerse las otras exigencias irrenunciables como la habitabilidad, *“a despecho del uso y de los agentes destructores corrientes”*, suponiendo un mantenimiento normal.

En la UEAtc, para los productos y sistemas innovadores, la evaluación de la durabilidad ha sido “tradicionalmente” un campo en los que la aplicación de una metodología científica se ha tenido en cuenta desde sus comienzos gracias a Gerard Blachère. Así pueden destacarse varias ideas aportadas por algunos de sus discípulos, como Jean Daniel Merlet (MERLET, 2005), y Peter Hewlett (HEWLETT & BLAISDALE, 2005), en el Seminario de la UEAtc sobre la evaluación de la durabilidad celebrado en el IETcc en Madrid, 2005.

Jean Daniel Merlet, planteaba que, como en cualquier otra investigación científica, la aproximación de partida consistiría en aislar el fenómeno a observar, de modo que en primer lugar, se identificaran los agentes intervinientes, sus posibles combinaciones, y a continuación se procediera a su definición y, si es posible, a la cuantificación de su influencia. En consecuencia, para investigar sobre la durabilidad requería estudiar por este orden, primero a escala pequeña, el comportamiento del producto o de los componentes del sistema. Después, estudiaría su comportamiento a mayor escala y/o bien sobre la obra física donde se hubiera incorporado dicho producto o sistema. A continuación, el autor proponía el establecimiento de un modelo de comportamiento que debería ser validado experimentalmente, tanto en laboratorio, como mediante el oportuno análisis patológico de los defectos encontrados en obras construidas con la mayor antigüedad posible.

En este sentido, se recuerda que si un producto o sistema es suficientemente conocido desde un punto de vista técnico, las acciones que afectan a su durabilidad vendrán definidas por las experiencias de obras ya construidas, es decir por la buena práctica constructiva.

Si en cambio, el producto o sistema es innovador, las acciones que pueden afectar a la durabilidad no se conocen por la experiencia de obras antiguas, y deberían ser objeto de un estudio específico. Para terminar, el autor afirma que es preciso vincular el conocimiento técnico adquirido sobre la durabilidad de un producto ya sea tradicional o innovador, con sus aspectos socioeconómicos relativos a los costes de reparación y mantenimiento, de forma que pueda definirse adecuadamente su vida útil.

Finalmente, conviene citar la ponencia de Peter Hewlett y Joe Blaisdale (HEWLETT & BLAISDALE, 2005) en este mismo Seminario, donde propusieron una metodología que complementaba en cierta forma el de Jean Daniel Merlet, detallando en mayor profundidad las actividades que serían necesarias, agrupándolas en etapas en base a, citándoles textualmente, una variación del esquema propuesto en la figura 1 de la Norma ISO 15686-2:2012. Buildings and construction assets - Service life planning- Part 2: Service life prediction procedures.

Como puede verse en la Fig. 90, establecían seis etapas que se iniciaban con la definición del sujeto y del objeto del estudio. En la etapa II se deberían definir los agentes y el mecanismos del deterioro. Las etapas III y IV corresponderían a la fase experimental con especial énfasis en la necesidad de comparación de resultados obtenidos a corto y largo plazo. Finalmente, las etapas V y VI se refieren a la interpretación de resultados y a la estimación de la durabilidad.

Figura 90. Esquema para el estudio de la durabilidad de P. Hewlett y J. Blaisdale.

2.4.1.1.2. Análisis de resultados previos

Las primeras obras con paneles composite de aluminio cuentan ya con más de cuarenta años de antigüedad. Según el libro conmemorativo del cumplimiento de los 40 años de paneles ALUCOBOND (ALCAN SINGEN, 2009), la primera fachada construida data de 1969 y se encuentra en Leverkusen (Alemania). En ella se emplearon paneles enteros, sin cortar ni fresar, lacados en blanco, fijados a una subestructura tipo muro cortina.

Algunos PCA cuentan entonces con cierta longeva presencia en el mercado al igual que los primeros Avis Technique (Documentos de Idoneidad Técnica en Francia). Así, en los Avis Technique 2/94-388 y 2/94-389 emitidos por el Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) en 1995 para los sistemas de bandejas colgadas y placas remachadas procedentes de paneles ALUCOBOND, se indicó para estos revestimientos que, debido a la durabilidad propia de sus elementos componentes, a su compatibilidad, así como a la experiencia disponible hasta la fecha (en Francia ya existían obras desde 1982) era razonable esperar una durabilidad mínima de al menos 30 años, excepto en lo que se refiere al aspecto, para el que se indicaba un posible riesgo de deterioro en un menor plazo.

En cambio, en el Avis Technique n.2/94-373 emitido también en 1995 por el CSTB para el sistema de revestimiento con bandejas suspendidas (con rigidizadores adheridos por su trasdós) procedentes de paneles REYNOBOND, se especificaban por primera vez ensayos de durabilidad. Concretamente, se realizaron ensayos para determinar la resistencia a la delaminación por pelado del panel, según la norma ASTM D 1781-76. Standard Test Method for Climbing Drum Peel for Adhesives tras exposición al calor y humedad del ciclo B descrito en la Norma ASTM C 481 Standard Test Method for Laboratory Aging of Sandwich Constructions . El ciclo B suponía la realización de seis repeticiones del siguiente secuencia:

- Inmersión total en agua durante 1 h a $50 \pm 3^{\circ}\text{C}$.
- Exposición a aire seco durante 3 h a $70 \pm 3^{\circ}\text{C}$.
- Rociado de agua caliente durante 3 h a $70 \pm 3^{\circ}\text{C}$.
- Exposición a aire seco durante for 18 h at $70 \pm 3^{\circ}\text{C}$.

A título de ejemplo, se presenta a continuación un precedente de pérdida de resistencia a la deslaminación de PCA tipo PE tras exposición ciclo B ASTM C48(Informe de ensayos Report of Test n. 186144-3 realizado por la United States Testing Company Inc.) sobre muestras de PCA tipo PE “color champagne” que expone los siguientes resultados de resistencia a la delaminación por pelado según ASTM D 1781 (expresados como momento torsor), antes y después de al envejecimiento “ciclo B”:

- En estado inicial: 160,93 N.mm/mm
- Tras ciclo B de la Norma ASTM C 481: 151,73 N.mm/mm
- Esto suponía una pérdida del orden de 5,71 %.

En cuanto al ensayo de pelado, consiste básicamente en provocar la delaminación del panel aplicando una fuerza de pelado sobre de una de sus caras. Para ello se fijaba la lámina de aluminio al cabezal de un tambor guiado, que recorrerá paralela y verticalmente la longitud de la muestra; de ahí su denominación como "tambor rampante" (en inglés climbing drum).

La Norma ASTM D 1781 no especificaba indicaciones detalladas sobre el muestreo, y en el caso concreto de los PCA, al ser un material fabricado por laminación se podría llegar a encontrar, en caso de un defectuoso control de fabricación, diferencias de adherencia a lo largo de la longitud del panel, en sus laterales y/o zona central, entre el núcleo y las dos láminas exteriores.

El motivo de duplicar especímenes no es otro que permitir la comparación, si procede, de las respectivas resistencias al pelado de las caras vista y oculta, de una misma zona del panel. Una vez recortados los especímenes rectangulares, se procedió a realizar mediante fresadora manual y a lo largo de toda la longitud de la muestra, sendos fresados paralelos y de sección trapezoidal, a 23 mm de los borde de la cara a ensayar, de modo que se ajustara a las dimensiones de ensayo especificadas en la Norma ASTM D 1781.

A continuación se procedió a deslaminar el extremo inferior de la muestra, separando del núcleo una lengüeta de aluminio de 30 mm de longitud con la ayuda de unos alicates corrientes. Después se sujetó la muestra con la mordaza niveladora de la máquina universal de ensayos por el extremo superior. Una vez perfectamente aplomada, se fijó la lengüeta del extremo inferior al tambor rampante, tal y como se indica en las fotografías 91 a 93.

Fig. 91: Sujeción del extremo superior con la mordaza de máquina universal.

Fig. 92: Inserción de lengüeta del extremo inferior de muestra en ojal del tambor

Fig. 93: Inicio del recorrido vertical ascendente del tambor sobre la muestra.

Finalmente se realiza el ensayo, (Fig. 94 y 95) en condiciones normales de laboratorio de temperatura (23 °C) y humedad (55%), registrándose el tipo de rotura (por el seno del film adhesivo) y el valor medio del momento aplicado a lo largo de la longitud de la muestra, excepto los 30 mm iniciales y finales.

Fig. 94: Recorrido vertical ascendente del tambor sobre la muestra durante el ensayo.

Fig. 95: Estado de la muestra tras el ensayo.

En cuanto al Documento AC 25, conviene recalcar que aquí se especifican los procedimientos y las exigencias establecidas por la Organización norteamericana ICC Services, para los fines exclusivos de la emisión de sus Informes de Evaluación sobre los

paneles compuestos de doble cobertura metálica y núcleo de naturaleza plástica. Esta organización pertenece a la organización mundial WFTAO y sus Informes presentan un estatus en gran medida similar a los DIT emitidos por el IETcc en España.

Concretamente en el ámbito de la durabilidad, se proponen una serie exposiciones de corto plazo al calor, y a la humedad, que limitan el momento torsor resultante a un valor nunca inferior a 100 N.mm/mm obtenido según la Norma ASTM D 1781, tras cualquiera de los siguientes exposiciones:

- 48 h a (21°C) and 50% HR, consideradas como condiciones ambientales estándar.
- Inmersión en agua a (100°C) durante 8 h, consideradas como exposición simultánea a corto plazo al agua y al calor.
- Inmersión en agua (21°C) durante 21 días, considerada como exposición al agua líquida a medio plazo.

Hasta la fecha, lo cierto es que entre los propios fabricantes de PCA no parece existir un criterio claro sobre el método de ensayo más adecuado para determinar la resistencia a la delaminación por pelado. Probablemente, porque la determinación de esta característica respondía a costumbres y procedimientos surgidos en el control de calidad de sus productos terminados y no a la necesidad de simular su comportamiento a largo plazo. Así, unos utilizaban el procedimiento de pelado con "tambor rampante" descrito en la Norma ASTM D 1781, otros el de "pelado a 180°" descrito en la Norma ASTM D 903 y otros el procedimiento de pelado "en T" descrito en la Norma ASTM D 1876.

A la vista de los Documentos Avis Technique antes mencionados, lo correcto sería concluir que al no constar deterioro, o al menos deterioro significativo de la resistencia a la delaminación por pelado tras este envejecimiento siguiendo el ciclo B referido, la calidad del panel, sería satisfactoria. Otro punto sería la durabilidad.

En cuanto al estudio de su durabilidad, Kruger and Schneider (KRUGER & SCHNEIDER, 1999) indicaron que el sistema SIKATACK obtuvo un Documento de Idoneidad Técnica (Zulassung Z-10.8-408) en febrero de 2008, al que se incorporó el aplacado procedente de panel composite de aluminio en abril de ese mismo año. Sin embargo este documento no contemplaba resultados sobre la evaluación de la durabilidad de la unión adhesiva.

Más recientemente en en 2011, se emitió en este caso por el Instituto británico BBA, el Documento de Idoneidad Técnica nacional, denominado BBA Cert 05/4218 para un sistema de revestimiento de fachadas ventiladas mediante placas adheridas procedentes de varios posibles materiales: fibrocemento, cerámica, así como PCA. En ese Documento (§ 9. Durability) se afirma que, en base a los materiales y componentes conocidos, así como los resultados de ensayo obtenidos, ser posible siempre que no esté directamente expuesto al sol, que el sistema adhesivo compuesto por producto limpiador, imprimación, cinta de doble cara y el adhesivo propiamente dicho pueda tener una vida útil de al menos la misma que el aplacado, estimada en al menos 30 años.

2.4.1.2. En el ámbito de la DPC y el RPC

2.4.1.2.1. Consideraciones generales

La Directiva 89/106 de Productos de Construcción de la UE, de 1989, establecía en sus primeros párrafos, que para su adopción por parte del Consejo de las Comunidades Europeas, se habían considerado entre otros criterios, la existencia en los Estados Miembros de disposiciones relativas a la seguridad de la construcción, a la salud -entendida como salubridad-, pero también a la durabilidad. Así, esta cualidad se equiparaba en importancia no sólo a las recién citadas, sino también a otras de interés público como el ahorro de energía, o la protección del medio ambiente. Sin embargo, a pesar de este prometedor comienzo, el término Durabilidad no volvió a aparecer explícitamente en su redacción. Implícitamente puede sobrentenderse que reaparece al final, cuando en el primer párrafo de su Anejo I, y como preámbulo a la definición de los Requisitos Esenciales, se decía sobre los mismos que, sin perjuicio de un mantenimiento normal, debían cumplirse durante un período de vida económicamente razonable, período que se denominaría la vida útil del producto.

Fue en el Documento Guidance Paper F (DURABILITY AND THE CONSTRUCTION PRODUCT DIRECTIVE, 2004) dónde se definía por durabilidad de un producto o sistema constructivo, a la *"capacidad del mismo para mantener las requeridas prestaciones bajo la influencia de acciones previsibles, bien durante un tiempo dado o bien durante un largo período de tiempo"*.

En el Documento EOTA Guidance Document 002 (EOTA, 1999) se indicaba un criterio de clasificación para los evaluadores técnicos de los productos de construcción.

Tabla 31: Vida útil de productos de construcción para la redacción de Guías DITE

Vida útil estimada expresada en años de una obra o edificio		Vida útil expresada en años de productos de construcción a estimar en Guías Dite, DITEs y Normas armonizadas		
Categoría	Años	Categoría		
		Fácilmente reparable	Reparable con cierto esfuerzo	Vitalicia ⁽²⁾
Breve	10	10 ⁽¹⁾	10	10
Media	25	10 ⁽¹⁾	25	25
Normal	50	10 ⁽¹⁾	25	50
Larga	100	10 ⁽¹⁾	25	100
(1)	En casos excepcionales y debidamente justificados, p.ej: Para ciertos productos específicos de reparación, puede considerarse una vida útil de 3 a 6 años (si así se especifica por el EOTA TB o el CEN respectivamente).			
(2)	Si no es reparable ni reparable fácilmente o bien, ni es reparable con cierto esfuerzo			

En el caso de los productos de construcción no normalizados, cada Documento Guía DITE o CUAP debía de establecer una estimación de vida útil en base principalmente a la tabla anterior, acompañada de una aclaración específica según la cual, el período de vida útil considerado, no debía ser interpretado como una garantía cuantificada en años dada por el fabricante o por el Instituto emisor del Documento DITE.

De acuerdo con la Tabla anterior, para una categoría media, la vida útil estimada para el tipo de edificio dónde más comúnmente se instalasen los sistemas de fachada ventilada, sería como mínimo de 25 años. Es decir, considerando que los métodos de reparación del aplacado dañado supondrían la retirada con o sin rotura previa del aplacado y su sustitución con ayuda de elementos auxiliares, este tipo de sistemas serían “reparables con cierto esfuerzo”, y le correspondería una estimación de vida útil de al menos 25 años.

Así lo estimaba en 2012, la entonces emitida Guía DITE N° 034. Sin embargo, en el apartado de Exigencias, esta misma Guía permitía la opción de no declarar prestación alguna sobre su durabilidad. Conviene indicar que esta opción era perfectamente válida desde el punto de vista reglamentario, puesto que como apuntaba Antonio Blázquez (BLÁZQUEZ, 2005) la Directiva de Productos de Construcción permitía la elección de esta opción por parte del peticionario, si al menos uno de los Estados Miembros no tuviera requisitos legales para esta determinada característica.

Con la entrada en vigor en 2013 del Reglamento de Productos de Construcción, conviene precisar, que se ampliaron a siete los Requisitos, con la introducción del Requisito Básico nº 7: La utilización sostenible de los recursos naturales. En el 55º párrafo del preámbulo se indicaba que: *“El Requisito Básico para las obras de construcción sobre la utilización sostenible de los recursos naturales debe tener especialmente en cuenta las posibilidades de reciclado de las obras de construcción, de sus materiales y partes después del derribo, de la durabilidad de las obras de construcción y de la utilización en las obras de construcción de materias primas y productos secundarios que sean compatibles desde el punto de vista medioambiental”*.

Sin embargo, a continuación se indicaba en el Reglamento que “Para la evaluación del uso sostenible de los recursos y el impacto medioambiental de las obras de construcción deben utilizarse, cuando estuvieran disponibles, las declaraciones medioambientales de productos”. No se especificaba por tanto, ningún tipo de procedimiento específico relativo a la durabilidad y la opción de no declarar prestación, se mantuvo igual de disponible.

En este contexto, es razonable afirmar que si la durabilidad del edificio dependía al menos en parte de la de los productos que se hubieran instalados en el momento de la puesta en obra, lo mejor para el técnico prescriptor, el propio fabricante y el resto de los agentes involucrados, sería disponer de una evaluación de la durabilidad, por mínima que ésta fuera.

2.4.1.2.2. Análisis de resultados previos

En el momento de iniciar la investigación para esta Tesis sobre estos sistemas no existía ningún procedimiento consensuado para la evaluación de la Durabilidad. En el caso particular de los sistemas de fachada ventilada, la Guía DITE 034, citaba en la Tabla 1 de su capítulo 4, las siguientes características: Fatiga, estabilidad dimensional, resistencia a la helada, al ataque químico y biológico, a la corrosión y finalmente a la radiación UV, como variables a considerar caso por caso según el material de aplacado (p.ej. metal, cerámica, etc.), remitiéndose a las respectivas Normas Europeas EN que hubiera vigentes.

En la fase de redacción final de esta Guía, se acordó la inclusión de los sistemas basados en PCA como nuevo aplacado, pero con la condición de que se dispusiera de un Informe consensuado para la evaluación técnica de su durabilidad, al no ser tan conocido su

comportamiento como en los materiales antes citados y se limitara la evaluación al empleo de fijaciones de otra naturaleza que la exclusivamente mecánica, no por desconfianza, sino por la imposibilidad material de proponer en tiempo razonable de un proceso de evaluación de fijaciones adhesivas para todos los aplacados.

Por encargo de la EOTA al IETcc, tuve la oportunidad de ser el investigador responsable de la redacción de este Informe, que finalmente se publicó en Octubre de 2012 como EOTA Technical Report 038 for the assessment of Durability of Thin Metallic Composite Panels. Su objeto abarcaba no sólo a los paneles composite delgados metálicos y ligeros basados en láminas de aluminio y núcleo tipo PE o FR sino también en aquellos basados en láminas de acero inoxidable. Gracias al mismo, los kits de bandejas colgadas y placas remachadas procedentes de PCA se incorporaron al objeto de la Guía DITE 034, pudieron ser objeto de ETE, marcado CE y comercializarse sin trabas en la Unión Europea.

2.4.2. Propuesta de Metodología

En base a las propuestas de J.D. Merlet, Hewlett y Blaisdale en el ámbito de la UEAtc, y a la experiencia adquirida en la evaluación de las anteriores prestaciones, establecí –como parte esencial para esta Tesis, y con la metodología para ella establecida, la propuesta de metodología que se presenta a continuación y que sirvió para la concepción del Informe Técnico EOTA TR 038. En la Figura 96 se resumen las etapas de la metodología propuesta:

Fig. 96. Propuesta de metodología para evaluar la durabilidad en 10 etapas.

2.4.2.1 Definición de hipótesis y objetivo (Etapa 1)

Se formuló como hipótesis a demostrar que sí sería posible establecer una metodología experimental para la evaluación de la durabilidad de este tipo de sistemas, de modo que alcanzarían el objetivo de tener una vida útil de al menos 25 años, es decir idéntica a la establecida para los sistemas de fachada ventilada con aplacados cubiertos por la Guía DITE 034 y con fijaciones puramente mecánicas.

2.4.2.2 Caracterización del objeto de estudio y de las condiciones del uso previsto. (Etapa 2)

Se consideraron dos objetos de estudio: En primer lugar, y por las razones indicadas en el Estado del Arte, el propio PCA y en un segundo lugar, las bandejas con perfiles adheridos (BPA), también sin metodología desarrollada, enfocando el estudio hacia dos aspectos relevantes en la transmisión de la acción del viento a la subestructura:

- Las entalladuras, permitiendo el cuelgue de la bandeja y sus perfiles adheridos
- El subsistema adhesivo de fijación de los perfiles rigidizadores.

La identificación de las condiciones del uso previsto como revestimiento exterior de fachadas, no presentó mayor dificultad y de acuerdo con el estado del arte, serían las correspondientes a la exposición de los diferentes agentes que constituyen la intemperie (calor, humedad, etc.).

2.4.2.3 Identificación de agentes del deterioro. (Etapa 3)

Se definieron como aquellas entidades susceptibles de afectar la durabilidad del sistema objeto de estudio. Según el Estado del Arte y en relación con las uniones adhesivas (DA SILVA et AL, 2009) indicaban que el calor y la humedad podrían provocar daños en determinados adhesivos. Por otra parte, de acuerdo con el análisis de resultados previos disponibles, el ciclo B de la Norma ASTM C 481 también consideraba estos factores para el envejecimiento y como se indicaba anteriormente, los resultados previos disponibles mostraban un deterioro del 5,7% en la resistencia a la delaminación por esfuerzos de pelado. Como punto de partida se consideraron entonces estos dos factores como los únicos que podrían afectar al PCA cuando estuviera expuesto a la intemperie. No obstante, el hecho de que en la ETAG 034, se considerasen además del calor, el agua líquida, la helada, las variaciones bruscas de humedad y temperatura, fenómenos todos ellos propios de la intemperie, como posibles factores que afectasen a los componentes del sistema y particularmente al aplacado, motivó que se identificaran como posibles agentes causantes del

deterioro del PCA y de las BPA. Sobre estas últimas se consideró además la fatiga mecánica causada por la acción del viento (presión y succión).

Al respecto de la unión adhesiva conviene indicar que el punto de partida fue la Guía DITE 002 al ser la más "próxima" en cuanto a la evaluación de sistemas de fachada basados en uniones adhesivas. Esta "cercanía" era relativa, puesto que en esta Guía únicamente se especificaba en su apartado 4.7, que si en el ámbito del cumplimiento del Requisito de la Seguridad de Utilización, ya se hubieran evaluado la acción del agua, de la temperatura, y de la radiación UV entre otros aspectos, no sería necesaria una evaluación específica de la durabilidad.

2.4.2.4. Identificación de mecanismos del deterioro. (Etapa 4)

Se definieron como las relaciones causa-efecto que vincularían las acciones originadas por los agentes del deterioro con la variación de las prestaciones, y se plantearon para cada objeto de estudio, las siguientes relaciones:

- PCA: Pérdida de resistencia a la delaminación por exposición a la intemperie.
- BPA: Pérdida de resistencia al arrancamiento de la entalladura por fatiga mecánica y pérdida de adherencia del adhesivo por exposición a la intemperie.

Tal y como se indicaba anteriormente, existían varios procedimientos para la caracterización de la pérdida de adherencia entre capas y núcleos de paneles sándwich. En el caso de los paneles composite delgados y metálicos, la variable que caracterizaría esta pérdida de adherencia es la resistencia a la delaminación por esfuerzo de pelado (peeling resistance).

De entre todos ellos, se escogió el de la Norma ASTM D 1781 por ser la especificada por el fabricante creador del panel composite original (ALUCOBOND). Se recuerda que en el ámbito de los primeros Documentos de Idoneidad Técnica emitidos (Avis Technique), la evaluación determinaba la variación de la resistencia al pelado del panel tras envejecer las muestras por calor y la humedad según el ciclo B de la Norma ASTM C 481.

Se consideró la pérdida de la resistencia al arrancamiento de la entalladura, cuyo valor inicial se determinaría según el procedimiento establecido en el apartado 5.4.2.7.1 de la Guía DITE 034 para las bandejas metálicas. El posible deterioro debía entonces determinarse tras una exposición frente a cargas pulsatorias o repetidas sobre la entalladura, y tras comparación entre resultados antes y después esta exposición.

Al igual que ocurría en el caso anterior, la mayor repercusión de la acción del viento sobre el peso propio del aplacado en relación con posibles desprendimientos debido a pérdidas de resistencia a lo largo del tiempo, supuso dirigir la investigación hacia la resistencia a tracción del subsistema adhesivo, que se emplearía para fijar sobre la cara interior de la bandeja el perfil rigidizador. Este, al quedar oculto, se ha considerado que quedaría más protegido de la intemperie.

2.4.2.5. Identificación de indicadores del deterioro. (Etapa 5)

Se definieron los indicadores como aquellas variaciones cuantitativas y/o cualitativas de las características respecto de unas condiciones iniciales, y tras envejecimientos en laboratorio y si fuese posible, también en condiciones reales para su comparación posterior. Así pues, cuantitativamente, se propuso tanto para la posible pérdida de resistencia al pelado del panel como de la resistencia al arrancamiento del conjunto entalladura-pieza de cuelgue, como del subsistema adhesivo, un mismo valor máximo o límite, que de no sobrepasarse, permitiera concluir que efectivamente la durabilidad del sistema sería de al menos 25 años. En la tabla 8.3. de la Guía DITE 002, cap.6 se especificaba para los adhesivos empleados en sistemas de vidrio estructural la siguientes exigencias:

- Que el valor medio envejecido fuera al menos el 75% del valor inicial (25 % como posible deterioro máximo admisible).
- Que la rotura fuera siempre cohesiva (en el seno del film adhesivo) en un porcentaje de al menos el 90%.

En base a las semejanzas entre sistemas de vidrio estructural y los sistemas objeto de estudio, relativas al empleo de adhesivos y uso previsto (fachadas) y estimación de vida útil de al menos 25 años, se adoptaron entonces las exigencias de la Guía DITE 002 para cada una de las variaciones de las resistencias anteriormente mencionadas que permitiera estimar una vida útil de al menos 25 años.

2.4.3. Estudio experimental y estudio de campo. (Etapa 6, fase 1)

Como se indica en la figura, el planteamiento del estudio experimental se basaba en la determinación mediante ensayos en laboratorio de una serie de características antes y después de una serie de envejecimientos reales. En la medida de lo posible, se buscó intencionadamente buscar su correlación con el estudio de campo basado en obras ya construidas. En cuanto al planteamiento del estudio de campo, éste consistió en localizar fachadas de la mayor antigüedad posible donde se hubiera instalado el sistema estudiado con el objeto de conocer sus condiciones reales de envejecimiento. Como tarea preliminar se buscaron fachadas de la mayor antigüedad, expuestas a condiciones reales de envejecimiento y que permitieran la toma de muestras in situ para determinar experimentalmente las variaciones de los indicadores elegidos. Para ello se contactó con fabricantes de panel composite que fuesen beneficiarios de DIT vigentes en España.

2.4.3.1. Estudio experimental

Para la primera fase del estudio experimental no se realizaron nuevas tareas al considerarse suficiente como punto de partida el análisis de los resultados de ensayos previos disponibles (resistencia a la delaminación según la Norma ASTM D 1781, antes y después de un envejecimiento artificial siguiendo el ciclo B de la Norma ASTM C 481).

2.4.3.2. Estudio de campo

El trabajo de campo consistió en el estudio del aspecto visual de la fachada, y la toma de datos relativos a la localidad, orientación, antigüedad, y de posibles incidentes previos relacionados con el deterioro del sistema (p.ej. desprendimientos en el aplacado). Asimismo, se incluyó en el estudio datos climáticos generales y particulares respectivamente. Así, se consideró el tipo de clima según la escala Köppen - Geiger como dato general, y se completó la información con los datos promedios anuales particulares tomados por la estación meteorológica más próxima a la localidad donde se ubicara el edificio relativos a la temperatura, la precipitación, la humedad relativa, y el número de horas de sol al año por su comparación posterior. Se visitaron las siguientes obras:

- a) Nave industrial en Torre-Pacheco (Murcia), visitada en septiembre de 2011.
- b) Nave industrial en Miranda de Ebro (Burgos), visitada en junio de 2012.

Finalmente, se tomaron muestras del aplacado retirado de las fachadas "a" y "b". Estas muestras eran de panel composite de aluminio tipo PE, de dimensiones 76x40x4 mm para realizar ensayos de resistencia a la deslaminación por pelado según la Norma ASTM D 1781. Las muestras se codificaron como " PE (tipo de panel)"_nº (código de identificación del fabricante)" - "referencia de la obra (letra)"; así por ejemplo "PE 1-a", significó muestra de PCA tipo PE suministrada a obra "a" por fabricante "1".

2.4.3.2.1. Visita y toma de muestras en fachada “a”

- Aspecto: Bueno salvo algunas bandejas decoloradas por limpieza inadecuada.
- Orientación: Oeste.
- Ubicación: C/ Mar Tirreno s/n. Torre-Pacheco (Murcia).
- Fin de obra: 2003 (8 años de antigüedad en el momento de la visita).
- Tipo PCA: PE, color negro sólido.
- Ref. muestra: PE 1-a.
- Tipo de clima: Seco, subtipo estepa fría (BSk). (Fuente: Köppen-Geiger, AEMET).
- Temperatura media mensual/anual: 17,6 °C (fuente: E.M.A. S. Javier-Murcia, 1981-10).
- Precipitación horas mensual/anual: 313 mm (fuente: E.M.A. S. Javier-Murcia, 1981-10).
- Humedad relativa mensual/anual: 71% (fuente: E.M.A. S. Javier-Murcia, 1981-2010).
- Nº. medio horas sol mensual/anual: 2621 h (fuente: E.M.A. S. Javier-Murcia, 1981-10).

Fig. 97: Ubicación de fachada "a" . (Fuente: Google Maps).

Fig. 98: Vista general de bandejas de fachada "a".(Fuente: Propia).

Fig. 99: Vista detalle de bandejas retirada de fachada "a". (Fuente: Propia).

Fig. 101: Vista parcial de bandejas de fachada "b". (Fuente: Propia).

2.4.4. Discusión y correlación de resultados. (Etapas 7-8, fase 1)

Las muestras se obtuvieron de bandejas retiradas de las fachadas "a" y "b", procedían de paneles tipo PE suministrados respectivamente por los fabricantes codificados como "1" y "2". Se desconocían los valores iniciales de resistencia. Fueron preparadas y ensayadas en laboratorio según la Norma ASTM D 1781 tras acondicionarse 7 días en condiciones normales de humedad y temperatura. Los resultados se muestran en la columna "Estudio de campo (envejecimiento real)" de tabla siguiente, precedidos de los datos ya presentados en el estudio del Estado del Arte.

Tabla 32: Comparación de resultados de resistencia al pelado. Momento Torsor T (N.mm/mm)

Muestra	Estudio del Estado del Arte		Estudio de campo en obras (envejecimiento real)			
	Inicial	Envejecimiento Ciclo B ASTM C 481	Envejecimiento: 8,3 años Muestra PE 1-a		Envejecimiento: 5 años Muestra PE 2-b	
	T ₁ Cara vista	T ₂ Cara vista*	T ₁ Cara vista	T ₂ Cara oculta	T ₁ Cara vista	T ₂ Cara oculta
1	153,46	152,13	113,93	116,53	304,37	287,43
2	152,13	157,02	108,76	149,73	294,94	290,61
3	147,24	151,68	109,56	161,78	290,89	291,30
4	201,95	152,13	123,12	141,05	304,46	289,41
5	149,02	146,35	130,97	136,18	298,89	301,73
6	162,36	Nulo	99,28	148,57	309,54	343,30
Promedio	161,03	151,86	114,27	142,31	300,51	300,63
Deterioro (%) = $T_1 \cdot 100 / T_2$ en valor absoluto	--	5,70 %	19,70 %		0,04%	
Tipo de rotura	Desconocido		>90% cohesiva (seno de film adhesivo)		>90% cohesiva (seno de film adhesivo)	
Notas	Valores de cara oculta desconocidos		Valores iniciales desconocidos		Valores iniciales desconocidos	

De acuerdo con los antecedentes expuestos, se había constatado una pérdida del 5, 70 % tras la exposición al envejecimiento descrito en el ciclo B de la Norma ASTM C 481. Tal y como se indicaba en el Estado del Arte, este ciclo B constaba de seis repeticiones de la

siguiente secuencia: Inmersión total en agua durante 1 h a $50 \pm 3^{\circ}\text{C}$, exposición a aire seco durante 3 h a $70 \pm 3^{\circ}\text{C}$, rociado de agua caliente durante 3 h a $70 \pm 3^{\circ}\text{C}$ y finalmente la exposición a aire seco durante 18 h a $70 \pm 3^{\circ}\text{C}$.

En los estudios de campo realizados, no había valores iniciales con los que comparar, por lo que se decidió que el valor referencia fuera el promedio de la resistencia al pelado de la cara oculta, que al estar protegida de la radiación solar y colindante con una cámara de aire ventilada, debería haber sufrido a priori un menor deterioro.

Para las muestras de la fachada "a", se obtuvo un deterioro de casi el 20% para una exposición a poniente durante 8 años (aproximadamente la tercera parte de 25 años) en un clima seco con una cantidad de horas de sol anuales superiores a 2.500 h y sobre un panel de color negro. Por el contrario, los resultados obtenidos sobre muestras extraídas de la fachada "b", de diferente antigüedad fabricante, color y orientación, mostraron un deterioro prácticamente inexistente, de sólo un 0,05% tras 5 años de exposición en las condiciones indicadas. Respecto de la fachada "c", no se pudieron obtener muestras, y por tanto no procede su comparación, pero sí se reseña que los desprendimientos de bandejas tuvieron su causa en la rotura de la entalladura causada por la acción del viento. Asimismo, se reseña que todas las fachadas se encontraban expuestas a similares condiciones de humedad relativa, comprendidas en el rango entre 71% y 75%, por lo que se concluyó que la presencia simultánea y prolongada de calor y alta humedad podría asumir el rol de principal agente del deterioro.

El resultado tras el envejecimiento real tras 8,3 años en la fachada "a" resultó más desfavorable que el obtenido tras envejecimiento en laboratorio de acuerdo con el ciclo B de la Norma ASTM C 481, por lo que se concluyó que el procedimiento de esta Norma americana no era fiable para demostrar que la vida útil de los PCA alcanzaría al menos 25 años sin deteriorarse significativamente, al menos cuando se expusieran a un clima seco y húmedo. El resultado tras el envejecimiento real tras 5 años en la fachada "b" resultó prácticamente inexistente.

El procedimiento consideraba en caso de disconformidad replantearse desde prácticamente el principio el objeto de estudio. Como ya se había planteado en la investigación un segundo objeto de estudio, se consideró revisar únicamente en una segunda fase el estudio experimental con la inclusión de nuevos procedimientos de envejecimiento y con el apoyo de un estudio de campo complementario realizado posteriormente.

2.4.5. Estudio experimental y estudio de campo. (Etapa 6, fase 2)

2.4.5.1. Estudio experimental

La nueva propuesta de envejecimientos en laboratorio fue desarrollada en el contexto del encargo al autor de la presente Tesis de redacción del EOTA TR y para ello, se contó con el apoyo puntual de la Asociación Europea de Fabricantes de Aluminio (EAA, European Aluminium Association). La relación de los principales envejecimientos finalmente adoptada se presenta a continuación y es parte de la recogida por el EOTA TR 038 de Octubre de 2012 del EOTA TR 038 (*véase Anejo 1 para mayor información sobre la descripción detallada de los siguientes procedimientos de ensayo antes y después de los siguientes envejecimientos*):

- Exposición a 2500 h 80°C, es decir un envejecimiento de larga duración al calor seco.
- Inmersión en agua caliente 90°C 6 h, que supondría exposición a calor húmedo a corto plazo.
- Inmersión en agua 500 h (21 d) 20° C, que simularía la exposición a humedad a medio plazo.
- Exposición a ciclos higrotérmicos simulando los cambios bruscos de temperatura y humedad.
- Ciclos hielo-deshielo, simulando los efectos del cambio de fase (aumento de volumen 9%) al pasar el agua del estado líquido al estado sólido.

2.4.5.2. Estudio de campo

2.4.5.2.1. Visita a fachada “c”:

Se trata del mismo edificio donde se hizo el estudio de campo relativo a la resistencia frente a lacción del viento. En este caso concreto se consideró una bandeja semi desprendida. Se interpretó que una de las probables causas sería la frecuente formación de remolinos en el patio de la fachada Oeste donde se ubicaba.

- Aspecto visual: Bueno, excepto algunas bandejas con roturas de entalladuras tras desprendimiento causado por cargas de viento.
- Orientación: Oeste.
- Ubicación: Av. Fernández Ladreda s/n (Pontevedra).

- Antigüedad: 2007 (Año de finalización): 10 años.
- Tipo PCA: PE, color plata metalizado.
- Zona de viento: B según Documento Básico DB-SE-AE, del CTE.
- Tipo de clima: Templado (CSb), según escala Köppen-Geiger. (Fuente: AEMET).
- Temperatura media mensual/anual: 14,8 °C (fuente: E.M. Pontevedra, 1981-2010).
- Precipitación horas mensual/anual: 1613 mm (fuente: E.M. Pontevedra, 1981-2010).
- Humedad relativa mensual/anual: 72 % (fuente: E.M. Pontevedra, 1981-2010).
- N°. medio horas sol mensual/anual: Sin datos (fuente: E.M. Pontevedra, 1981-2010).

Fig. 102. Vista aérea. (Fuente: Google Maps).

Fig. 103. Vista general. (Fuente: Propia).

Fig. 104. Vista parcial de fachada Oeste. (Fuente: Propia).

Fig. 105. Rotura de entalladura en bandeja de patio de fachada Oeste (Fuente: Propia).

2.4.5.2.2. Visita a fachada “d”:

Edificio de oficinas de nueva planta compuesto por cuatro plantas (baja más tres) en cuyo volumen principal se encuentra la fachada objeto de estudio, orientada al Sur. Ésta presenta en su parte ciega un revestimiento de fachada ventilada compuesto básicamente por bandejas de modulación vertical fijadas a la subestructura, que a su vez se fijaba al soporte, en esta ocasión de chapa plegada. En el momento de la visita se había realizado el revestimiento de fachada, a expensas de resolver encuentro con falso techo del soportal.

- Aspecto visual: Satisfactorio, sin apreciarse deformaciones/desprendimientos.
- Orientación: Sur.
- Ubicación: Pol. Ind. Heras, parcela 149. Heras (Cantabria).
- Antigüedad: 2007 (Año de finalización), 9 años en el momento de la visita.
- Tipo de panel: Panel con núcleo de polietileno de baja densidad (PE).
- Tipo de clima: Templado, según escala Köppen-Geiger. (Fuente: AEMET).

Fig. 106: Vista aérea. (Fuente: Google Maps).

Fig. 107: Vista general. (Fuente: Propia).

Fig. 108. Detalle de cordón de adhesivo en rigidizador de bandeja. (Fuente: Propia).

2.4.6. Discusión y correlación de resultados. (Etapas 7-8, fase 2)

2.4.6.1. Deterioro de resistencia a la deslaminación tras envejecimiento

Tabla 33. Deterioro de resistencia a la deslaminación tras envejecimiento

PCA	Mues- tra	Momento Torsor (N.mm/mm)											
		Inicial		Ciclos higrotérmicos		6h agua 90° C		500 h agua 20°C		2,500 h. 80°C		Ciclos hielo- deshielo	
		C. Vista	C. oculta	C. Vista	C. oculta	C. Vista	C. oculta	C. Vista	C. oculta	C. Vista	C. oculta	C. Vista	C. oculta
PE	1	86,52	66,47	122,50	96,35	161,52	133,52	165,50	145,87	137,2	104,7	143,50	129,50
	2	91,27	45,34	133,50	101,52	155,50	136,42	165,50	128,40	124,7	124,7	166,42	90,14
	3	95,67	59,24	132,00	99,51	158,74	137,54	159,50	105,14	137,8	99,5	154,37	145,50
	Valor medio	91,15	57,02	129,33	99,13	158,59	135,83	163,50	126,47	133,3	109,6	154,76	121,71
	0.75 V. ini	68,37	42,76	97,01	74,35	118,94	101,87	122,63	94,85	99,94	82,2	116,07	91,29
	1.15 V. env.	--	--	148,73	114,00	182,37	156,20	188,03	145,44	153,2	126,2 ₁	177,98	139,97
	0.85 V. env	--	--	109,93	84,26	134,80	115,45	138,98	107,50	113,3	93,2	131,55	103,46
	V. env. > 0,75 V. ini	--	--	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
FR	1	73,08	139,52	132,5	131,42	67,01	131,54	89,74	69,50	89,5	135,4	59,57	135,47
	2	87,50	152,47	143,5	136,24	81,42	133,24	86,54	133,50	95,5	126,5	67,85	140,57
	3	86,54	137,12	113,5	131,21	73,51	153,41	78,93	138,50	86,5	122,5	62,36	136,74
	Valor medio	82,37	143,04	129,83	132,96	73,98	139,40	85,07	113,83	90,50	128,2	63,26	137,59
	0.75 V. inic	61,78	107,28	97,38	99,72	55,49	104,55	74,24	85,38	67,88	96,12	47,45	103,20
	1.15 V. env	--	--	149,31	152,90	85,08	160,31	97,83	130,91	104,1	147,4	72,75	158,23
	0.85 V. env	--	--	110,36	113,01	62,88	118,49	72,31	96,76	76,93	108,9	53,77	116,95
	V. env. > 0,75 V. ini	--	--	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Se constata que las variaciones encontradas, expresadas en la tabla anterior muestran pérdidas y también ganancias (pérdidas negativas) de resistencia. Sin embargo, el hecho de que cualitativamente en todos los casos la rotura se produce por el film adhesivo en más de un 90%. Confirmaría que no existe deterioro significativo.

2.4.6.2. Deterioro de la resistencia de la entalladura tras fatiga

Tabla 34. Resultados de rotura inicial y tras ciclos de fatiga

Muestra	Carga de rotura inicial (KN)			
Panel 4 mm	Entalladura procedente de panel tipo PE		Entalladura procedente de panel tipo FR	
	40 mm con refuerzo	45 mm sin refuerzo	40 mm con refuerzo	45 mm sin refuerzo
1	1.19	1.00	0,91	0,94
2	1.21	1.03	0,90	0,90
3	1.18	1.06	1,04	0,99
4	1.29	1.05	1,05	0,98
5	1.21	0.98	0,94	1.03
6	1,22	1,02	0,97	0,97
Media	1.20	1.02	0,97	0,97
k	2,18	2,18	2,18	2,18
Desviación estándar	0,02	0,04	0,06	0,04
Valor característico	1.13 (75% 1.13=0.84)	0.94 (75% 0.96=0.70)	0,83 (75% 0.93 =0.62)	0,87 (75% 0.93 =0.65)

Muestra	Carga de rotura tras 10.000 ciclos de fatiga (KN).			
Panel 4 mm	Entalladura procedente de panel tipo PE		Entalladura procedente de panel tipo FR	
	40 mm con refuerzo	45 mm sin refuerzo	40 mm con refuerzo	45 mm sin refuerzo
1	1,27	1.02	0.93	0.69
2	0,97	0.94	0.89	0.83
3	1,03	0.91	0.93	0.81
4	1,31	0.92	0.86	0.78
5	1,29	0.96	0.75	0.89
6	1,34	0,95	0,84	0,93
Media	1,21	0,95	0,87	0,82
k	2,18	2,18	2,18	2,18
Desviación estándar	0,15	0,04	0,07	0,08
Valor característico	0,85> 0.84 ok	0,87> 0.70 ok	(0.72 > 0.62) ok	(0.64 ≈ 0,65) ok

De acuerdo con esta Tabla, tanto las entalladuras reforzadas como las no reforzadas, pueden llegar a satisfacer la exigencia planteada, pero en algunos casos se quedan al límite. Se concluye que este método de ensayo debería para su mayor fiabilidad, poder correlacionarse con los valores de succión de viento que provocaran la rotura de la entalladura.

2.4.6.3. Deterioro de la resistencia a la tracción del subsistema adhesivo tras intemperie

Los resultados se indican en la siguiente Tabla, correspondientes a valores iniciales y tras los correspondientes ciclos de exposición a diferentes envejecimientos por separado

Tabla 35. Carga de rotura (kN)

Muestra	Estado inicial	42 d agua 45°C	30 ciclos hielo-deshielo	21 d estufa 80°C
1	2,12	2,48	2,20	2,72
2	2,35	2,62	1,87	2,77
3	1,56	2,69	2,20	2,66
4	1,95	2,19	1,69	2,86
5	1,92	1,73	1,67	2,69
Valor medio	1,98	2,34	1,93	2,74
Valor máximo	2,35	2,69	2,20	2,86
Valor mínimo	1,56	1,73	1,67	2,66
Desv. estándar	0,29	0,39	0,26	0,08
Valor característico	1,30	1,43	1,32	2,56

Todas las roturas ocurrieron en el seno del cordón de adhesivo. A la vista de los resultados obtenidos, se concluye por ahora, que para el envejecimiento realizado la unión adhesiva no presenta deterioro significativo alguno.

PARTE 3

PARTE 3: CONCLUSIONES Y NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

3.1 CONCLUSIONES

3.1.1. Conclusiones generales

La mejora continua debe ser un objetivo inherente a la evaluación de la innovación. Este objetivo a lograr es perfectamente aplicable a la evaluación técnica de los productos y sistemas de construcción innovadores. Es más, su alcance beneficia no sólo a los fabricantes y técnicos involucrados en la prescripción y dirección de obras, sino también a los usuarios finales de los edificios.

En el caso de los sistemas de fachada ventilada evaluados, el análisis del estado del Arte, determinó que su evaluación técnica requería de una metodología propia, más adecuada y fiable en aquellos Requisitos Básicos (entonces Requisitos Esenciales) exigibles a las Obras, de mayor repercusión en el alcance considerado anteriormente: La seguridad en caso de incendio, la seguridad de utilización y la durabilidad. Se formuló entonces la hipótesis de si sería posible desarrollar esta metodología, centrándose en la evaluación técnica de aquellas características críticas vinculadas con los Requisitos referidos:

- La reacción al fuego del sistema.
- La resistencia frente a la succión del viento del sistema.
- El mantenimiento de la propia cohesión del material de aplacado así como de las propiedades resistentes de la unión mecánico – adhesiva del perfil a la subestructura.

Se concluyó que efectivamente éstas deben ser consideradas como prioritarias a la hora de tanto de planificar las tareas como de prever resultados para la evaluación técnica de estos sistemas.

De los resultados obtenidos en base a la metodología propuesta en la investigación realizada se concluye afirmativamente que sí es posible desarrollar una metodología de la evaluación técnica aplicable a los sistemas objeto de estudio. Al respecto se reseña que además, su desarrollo ha permitido generar aportaciones tanto al conocimiento científico

como a la innovación tecnológica y particularmente su evaluación (véanse documentos adjuntos en el apartado Anejos).

La propuesta servirá de modelo base para la evaluación de las prestaciones de reacción al fuego, resistencia frente al viento y durabilidad de otros sistemas de fachada ventilada de reciente aparición, basados en otros revestimientos metálicos y/o en otros de adhesivos, por ejemplo, cinta adhesiva permanente). Asimismo, podría aplicarse al procedimiento PREASSESSMENT/PREEVALUACIÓN DIT, cuando se requiere una evaluación rápida de productos o prototipos, donde resultaran críticas estas prestaciones.

Finalmente, se recalca que perfeccionar la evaluación de la innovación de productos y sistemas constructivos, favorecerá el progreso en la Construcción, entendida no sólo como disciplina científico-técnica, sino como soporte material de la Arquitectura.

3.1.2. Conclusiones particulares

3.1.2.1. En relación con la reacción al fuego

A la vista de la metodología seguida y de los resultados obtenidos se concluye que sí es posible establecer una propuesta de mejora relativa a la evaluación técnica de esta característica. Además, es posible establecer una serie de conclusiones más específicas, que se presentan a continuación:

No se constatan diferencias significativas entre las composiciones de los paneles de núcleo de polietileno PE-1 y PE-2, pero sí entre los paneles FR-1 y FR-2.

Tanto las muestras de paneles PE como las FR experimentan una fusión de la matriz polimérica a temperaturas de 100°C - 130°C mientras que la descomposición térmica con evaporación de la misma en atmósfera inerte se produce entre 400 °C y 500 °C. En los paneles PE la pérdida de masa a esa temperatura es prácticamente total mientras que en los FR permanece casi un 50% de su masa debido a la carga mineral, por lo que los paneles con núcleo a base de polietileno de baja densidad tipo PE sin retardante de llama tienen siempre un comportamiento frente al fuego más desfavorable que aquellos basado en FR, para unas mismas condiciones de montaje.

Los componentes minerales de los núcleos FR alcanzan un 70 % mientras que el 30% es polietileno de baja densidad. Esta composición permite obtener una mejor y más

fiable clasificación, independientemente del tipo de aplacado (bandejas o placas) y de las condiciones de montaje para el ensayo SBI (normalizadas o en condiciones finales de uso).

Se concluye que el procedimiento establecido en la Norma EN ISO 11925-2 no permite distinguir la diferente respuesta frente a la llama de los paneles PCA en razón de la composición de sus núcleos PE y FR en tanto que la caracterización de sus composiciones y comportamientos térmicos sí que lo permiten.

Respecto del ensayo conocido como SBI, se concluye que el repentino final anticipado de ensayo obtenido en las condiciones de montaje propuestas para simular el uso final, por el revestimiento basado en bandejas procedentes de panel tipo PE, se debe a la mayor longitud de juntas abiertas y por la mayor presencia de núcleo de polietileno (sin protección tras el necesario fresado en las aristas) que presentan estas condiciones de montaje, al permitir a medida que se desarrollara el incendio, el ataque de la llama simultáneamente sobre las dos caras del aplacado.

No se apreciaron diferencias a causa de la presencia del subsistema adhesivo en los perfiles rigidizadores instalados en bandejas procedentes de panel PE, por lo que tampoco tiene influencia en sistemas a base de panel FR.

Se deduce que el resultado obtenido para un sistema de placas remachadas procedentes de paneles tipo PE y unas condiciones de montaje y fijación normalizadas no es extrapolable a un revestimiento a base de bandejas. Por tanto no es posible establecer la opción más desfavorable, y deben ser ensayadas ambas.

Se demuestra que para este tipo de sistemas de revestimiento de fachadas ventiladas a base de paneles compuestos, se obtiene una clasificación de reacción al fuego más fiable utilizando las condiciones de montaje de la maqueta C en vez de las condiciones de montaje y fijación normalizadas (apdo. 5.2.2. de la Norma EN 13823).

Se concluye que únicamente deben utilizarse revestimientos de fachadas ventiladas a base de paneles compuestos con núcleo tipo FR, y particularmente cuando la exigencia de reacción al fuego se limite a una clase igual a B-s3,d2, de acuerdo con la Norma EN 13501-1.

3.1.2.2. En relación con la resistencia frente a la succión del viento

A la luz de la metodología seguida y de los resultados obtenidos se concluye que también es posible establecer en este caso una propuesta de mejora relativa a la evaluación técnica de esta característica. Además, se han establecido estas otras conclusiones:

No se apreciaron diferencias significativas en el comportamiento de las bandejas en función de su material del núcleo ni de la configuración propuestas de las entalladuras (es decir aquellas de 40 mm de profundidad y 10,5 de lengüeta con refuerzo a base de pletina remachada frente a aquellas de 45 mm de profundidad y 15 mm de lengüeta sin refuerzo).

Como valor umbral para una evaluación técnica favorable, se estima que en España, siempre que hayan sido adecuadamente diseñados, instalados y mantenidos, estos sistemas deben resistir una succión de viento de al menos 2,4 kPa sin que se produzcan los fallos de rotura descritos en la Guía DITE 034, esto es, ni rotura de elementos de aplacado, ni fallos de fijación, ni desprendimientos de componentes de la subestructura.

Asimismo, para una evaluación técnica favorable deben limitarse las deformaciones permanentes y residuales, del aplacado y no sólo en el centro de la cara vista de la bandeja. También se tendrá en cuenta el centro de la pestaña horizontal inferior.

En este último caso, puede alcanzarse valores de deformación residual superiores a los del centro de la cara vista si las lengüetas de las entalladuras inferiores de la bandeja se deformaran más, es decir, se abrieran más, que las entalladuras superiores.

El criterio establecido en el Estado del Arte de limitar la deformación instantánea a $L/30$, siendo L la distancia entre pestañas verticales o entre pestaña y rigidizador vertical adherido se cumple sobradamente si las láminas de aluminio presentan límites elásticos $R_{p0,2}$ por encima del valor mínimo establecido en la correspondiente norma.

Asimismo, este criterio presupone que cuando la bandeja se deforma por efecto de la succión, la tensión de tracción de las láminas de aluminio de espesor 0,5 mm no sobrepasa el límite elástico $R_{p0,2}$ establecido en la Normativa. El hecho de que los

fabricantes con DIT suministren láminas de aluminio de espesores bien definidos, y que cumplen sobradamente con el valor mínimo de límite elástico establecido en la Normativa, no implica que se puedan prescribir PCA desconociendo la aleación utilizada y por ende sus propiedades mecánicas.

Para una estimación preliminar debe puede considerarse un valor límite de la deformación permanente acumulada de $L/300$, que para el caso estudiado resulta ser de 3 mm. No obstante, debe tenerse en cuenta que puede existir disposiciones reglamentarias y que en todo caso, no tiene sentido para este tipo de sistemas, prolongar la duración del ensayo de succión de viento cuando el material de aplacado ya no recuperaría las deformaciones al cesar la acción.

3.1.2.3. En relación con la durabilidad

Finalmente, de acuerdo con la metodología seguida y para los agentes del deterioro considerados, principalmente la intemperie y la fatiga se concluye que al igual que en los apartados anteriores sí es posible establecer una mejora de la evaluación técnica de la durabilidad de este tipo de sistemas constructivos.

Por otra parte, de acuerdo con los resultados obtenidos relativos a los deterioros de la resistencia a la deslaminación del PCA, resistencia a fatiga de la entalladura y resistencia a tracción del subsistema del cordón adhesivo, limitados a la influencia de la intemperie y la fatiga como principales agentes actuantes, se concluye que sí es posible considerar que la vida útil de estos sistemas sea también de como mínimo 25 años, es decir, similar a la de cualquier otro sistema de fachada ventilada objeto de la ETAG 034 y en las mismas condiciones generales, es decir, siempre que la obra haya sido adecuadamente proyectada, ejecutada y construida.

En relación con la durabilidad de la resistencia de la entalladura a la fatiga mecánica, se reseña que en los ensayos realizados la unión de la pieza de cuelgue a los montantes ha sido realizada mediante parejas de tornillos autorroscantes de acero inoxidable, y no debe en consecuencia extrapolarse la durabilidad del conjunto a otras configuraciones en las que se empleen otro tipo de fijaciones.

En relación con la durabilidad de la unión adhesiva, al respecto se reseña que el cumplimiento de las condiciones de aplicación de los componentes del subsistema adhesivo (en particular la limpieza de las superficies adherentes y los plazos de curado) son aspectos críticos para obtener valores durables de resistencia a tracción.

3.2. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

3.2.1. Pre-assessment / Preevaluación DIT

Recientemente ha sido surgido una nueva metodología para anticipar una previsión de la idoneidad técnica de los productos innovadores de construcción que ha sido además, objeto de una tesis doctoral en la Universidad Politécnica de Madrid. Su autor, Antonio Blázquez [BLÁZQUEZ, 2014] consideró que unas de las principales dificultades que atravesaba la evaluación técnica de este tipo de sistemas era el largo plazo, entre doce y dieciocho meses y el costes de difícil asunción por parte de los fabricantes .

En algunas ocasiones, el fabricante ha sufrido rechazo en la aceptación del producto en la obra por no haber podido tener el DIT incluso tras un enorme esfuerzo económico, y lamentablemente por no conocer suficientemente sus características. Mediante este procedimiento específico se pretende reducir sustancialmente el plazo para la obtención de una evaluación técnica, proporcionar al fabricante conocimiento de su producto así como su competitividad y facilitar al técnico la aprobación y utilización del producto, o al menos evitar su rechazo a las primeras de cambio. No pretende sustituir al DIT final sino constituirse en un paso intermedio.

Para ello, la naturaleza de este procedimiento específico plantea como plazo límite, tres meses para realizar esta pre-evaluación, que incluye la realización de ensayos. Obviamente, de aquellos que fuesen más críticos y significativos para poder estimar previsiblemente la idoneidad del producto. Asimismo, contempla la Declaración de Prestaciones del fabricante como un punto de partida para este procedimiento. El autor investigó y analizó las Guías DITE de la EOTA, Guías de la UEAtc así como Documentos DIT y DITE relacionados. Para la familia de los sistemas de fachada ventilada estimó, según su experiencia considerar a los efectos la definición clara del uso previsto del sistema, su composición, su control de producción en fábrica y los detalles de puesta en obra como la información básica que permitiría estimar su viabilidad.

La metodología de propuesta es perfectamente aplicable para este procedimiento de evaluación técnica, previa identificación caso por caso, de las características más críticas que presentara el producto o sistema objeto de estudio. Así, podrían ser las mismas características si se tratara de un sistema de fachada ventilada con BPA procedente de PCA, pero adaptada a los condicionantes que plantea el Preassessesment/Preevaluación DIT, como por ejemplo el plazo, limitar a 1500 h en vez (aprox. 2 meses) de 2500 h el tiempo de exposición a 80 °C del PCA.

3.2.2. En el ámbito del Reglamento UE 305/2011

Tal y como analiza en Antonio Blázquez [Blázquez 2014] en su tesis, este Reglamento *“no tiene como objeto definir la seguridad de los productos de construcción, sino garantizar que se presenta información fiable en relación con sus prestaciones”*. Se introduce la figura del Documento de Evaluación Europeo (DEE), que servirá de base para la evaluación de las Evaluaciones Técnicas Europeas (ETE), los Documentos que sustituyen a los anteriormente conocidos como Documentos de Idoneidad Técnica Europeos (DITE). En este contexto se considera que la metodología propuesta sería también aplicable para establecer al menos una propuesta inicial de Programa de Trabajo para la redacción del DEE, que contemplara al menos las características y procedimientos experimentales propuestos en la presente Tesis.

3.2.3. Aplicación de la metodología a otros aplacados

Existen otros paneles compuestos basados en láminas de zinc, de cobre y de acero inoxidable a los que se puede aplicar la metodología propuesta, extendiendo su alcance hacia aquellas particularidades propias de cada material, como por ejemplo la posible corrosión por par galvánico con determinados metales habitualmente empleados en las obras.

Asimismo, existen edificios donde se ha instalado una versión particular de aplacado procedente de PCA, caracterizado por presentar tal densidad de perforaciones que le impiden su consideración como revestimiento y el uso previsto es el de ser un parasol, que contribuye al control solar de la radiación incidente y por tanto al sombreado de las fachadas, gracias al mayor o menor diámetro y densidad de perforaciones. En este tipo de aplacado, deja de tener sentido la evaluación de la reacción al fuego y de la resistencia frente a la succión, por ser totalmente permeables al paso de la llama y del viento, pero merece la pena indicar que la longitud de la interfase entre chapas y núcleos expuesta a la intemperie se multiplica exponencialmente y sería objeto de estudio la posible influencia de la pérdida de resistencia a la deslaminación por pelado corrosión superficial de la cara interna de las láminas de aluminio del PCA.

Finalmente, considero que otra línea investigación sería la aplicación de la metodología a soluciones adhesivas de reciente aparición en el mercado para revestimiento de fachadas ventiladas basadas en la utilización de cintas adhesivas permanentes, suministradas en forma de rollo y pensadas para sustituir al subsistema adhesivo compuesto por primer, cinta de doble cara “guía” y el propio adhesivo, en aras de una más fácil y rápida puesta en obra.

3.2.4 En relación con la reacción al fuego

El origen del principal ensayo de reacción al fuego, el ensayo SBI, “impuesto” desde la Comisión Europea y basado en la simulación de un incendio generado en un espacio interior, (una papelera en la esquina de una oficina) que ha de “extrapolarse” al inicio de un incendio en una fachada externa, ya causó ciertas dudas sobre su capacidad para ser un “ensayo espejo” del comportamiento real de todos los sistemas y productos de construcción, independientemente de su uso.

Ni antes ni después de la entrada en vigor del Reglamento el 1 de Julio de 2013, y para los sistemas de fachada ventilada con fijaciones mecánicas, se ha establecido aún un escenario normativo europeo común sobre el fuego. Es común que en algunos Estados Miembros, la clasificación obtenida de acuerdo con la Norma UNE EN 13501-1 sea insuficiente para su uso en fachadas y sea necesario realizar una evaluación adicional de acuerdo con las disposiciones nacionales (por ejemplo sobre la base de un ensayo a mayor escala) para así satisfacer las exigencias de los Estados Miembros”.

En diversos países de Europa, como por ejemplo Polonia, se han continuado realizando métodos de evaluación de la seguridad en caso de incendio, sometiendo muestras diferentes en la forma a la esquina establecida en la Norma 13823, y también en cuanto al procedimiento del ensayo, en este caso, aplicando viento a una caja de madera con material combustible encerrado en ella. En cualquier caso, sirve de precedente para el posible desarrollo de un nuevo y único método para evaluar el comportamiento frente al fuego de los sistemas de fachada. De hecho, la propia Comisión Europea y la Asociación Europea para la Protección Pasiva contra el fuego (European Association for Passive Fire Protection (EAPFP), ya están actualmente evaluando su desarrollo.

Se recomienda entonces investigar un procedimiento de evaluación a mediana y a gran escala, que necesariamente contemple una altura de dos o tres plantas, con varios huecos, y que simule el comportamiento real en caso de incendio de toda la fachada y no solo la parte opaca.

3.2.5. En relación con la resistencia frente a la succión del viento

Como futura línea de investigación se propone la incorporación del cálculo por el método de elementos finitos a la evaluación preliminar de la resistencia frente a la succión del viento, con apoyo de ensayos previos de caracterización de materiales y componentes,

y tras un proceso de comparación entre simulaciones por ordenador y resultados experimentales de laboratorio.

Esta posibilidad es de gran interés para la evaluación de productos innovadores, para los cuales no hay normas específicas de ensayo, y permite incluso el desarrollo “ad hoc” de procedimientos de ensayo para incluso fases previas del proceso industrial, como la generación de prototipos.

Esta línea de investigación, permitiría en el caso de que la comparación previa de simulaciones y ensayo fuera realista, llegar a reducir costes y plazos de las evaluaciones técnicas, permitiendo además un análisis más eficiente y localizado de los posibles puntos débiles del comportamiento mecánico del sistema, bajo determinadas situaciones. Por ejemplo, en condiciones normales de humedad y temperatura. Pero también en situaciones de ausencia “funcional” de rigidizadores, por ejemplo en caso de inicio de incendio, donde ocurre esta circunstancia debido a la rápida descomposición del adhesivo por efecto del calor.

3.2.6. En relación con la durabilidad

En relación con el mantenimiento de las prestaciones a lo largo del tiempo, para este tipo de sistemas constructivos una futura línea de investigación es aumentar la consideración de vida útil al siguiente escalón establecido para los elementos estructurales, es decir 50 años, habida cuenta de que la evaluación de la durabilidad de estos sistemas es una de las características críticas para demostrar la contribución al cumplimiento del nuevo Requisito Básico 07, la evaluación del uso sostenible de los recursos naturales. En este contexto, también es adecuado como futura línea de investigación, establecer una propuesta de evaluación para los PCA basados en núcleo de polietileno reciclado “post-consum”.

Por otra parte, la previsible rápida aceptación por el sector del procedimiento Preassessment / Preevaluación DIT requiera métodos experimentales más eficientes pero igual de fiables que para determinar la durabilidad de estos sistemas. A tal fin, es adecuado realizar entre otras tareas, un nuevo estudio de campo consistente en la visita de obras para confirmar la identificación de agentes, mecanismos e indicadores del deterioro reales, en relación con otras características planteadas en el Informe Técnico de la EOTA TR 038, como la resistencia de la pestaña fresada y plegada, la resistencia del lacado a la intemperie y a la corrosión.

PARTE 4

PARTE 4: GLOSARIO Y BIBLIOGRAFÍA

4.1 GLOSARIO

A:

1) **«Acto delegado»:** Procedimiento de la Comisión Europea por el cual ésta establece las clases de prestaciones (por ejemplo la reacción al fuego) para las características esenciales y los sistemas de Evaluación y Verificación de la Constancia de las Prestaciones de los productos de construcción. En virtud de estos actos delegados se considerará que un producto de construcción satisface un determinado nivel sin ensayo o sin ensayos adicionales. Estas clases serán utilizadas por los organismos europeos de normalización en las Normas Armonizadas.

2) **«Anejo ZA»:** Anejo así denominado que forma parte de la Norma Armonizada que se utiliza para el marcado CE de los productos de construcción mandatada por la Comisión Europea.

B:

C:

3) **«Clase»:** Expresión cuantitativa del comportamiento de un producto de construcción en relación a sus condiciones de uso final. Miden el intervalo de niveles, delimitado por un valor mínimo y un valor máximo, de la prestación del producto de construcción.

4) **«Comité Europeo de Normalización»:** Organización formada por las Asociaciones de Normalización de 33 países europeos y es uno de los tres organismos de estandarización oficialmente reconocidos por la Unión Europea y la Asociación Europea de Libre Comercio. Tiene por misión desarrollar las Normas europeas (EN) -que son de carácter técnico y voluntario- en varios sectores, mejorando el entorno del mercado único europeo para mercancías y servicios y posicionando a Europa en la economía global.

D:

5) **«Declaración de prestaciones»:** Declaración dada por parte del fabricante de un producto de construcción y si procede, certificada por un Organismo Notificado de la UE, que reconoce el cumplimiento de las características que se especifican en la Norma Armonizada o bien Evaluación Técnica Europea que le es aplicable.

6) **«Directiva de Productos de la Construcción» [DPC]:** Directiva 89/106/EEC del Consejo Europeo, que fue derogada y sustituida por el Reglamento de Productos de Construcción a partir del 1 de julio de 2013. Se trataba de una norma no obligatoria donde se establecía que corresponde a los Estados miembros –bajo reglamentación nacional- garantizar que las obras de construcción y de ingeniería civil se proyectaran y realizaran de forma que no comprometieran la seguridad y respetaran los requisitos esenciales que definía la propia Directiva.

7) **«Documento de Idoneidad Técnica» [DIT]:** Documentos emitido exclusivamente por el IETcc desde 1963, que recoge la evaluación técnica de la idoneidad de empleo para el uso previsto para producto, sistemas, materiales y procedimientos no normalizados. Tiene

carácter nacional. El DIT español es equivalente, entre otros, al Avis Technique francés, el Agrément Certificate británico, el Documento de homologação portugués, el Ágrement Tecnici italiano o el Zulassung alemán.

8) «Documento de Idoneidad Técnica Europea» [DITE]: Documento de evaluación de los productos de la construcción según las directrices establecidas por la Directiva 89/106/CEE. Es una evaluación técnica favorable de la idoneidad de un producto para el uso asignado, fundamentado en el cumplimiento de los requisitos esenciales previstos para las obras en las que se utiliza dicho producto. Con la entrada en vigor del Reglamento 305/2011 fue sustituido por la Evaluación Técnica Europea (ETE), con características bien diferenciadas.

9) «Documento de Idoneidad Técnica Plus» [DIT plus]: Documento de carácter voluntario, emitido por el IETcc para los fabricantes por los fabricantes como marca de calidad para mostrar prestaciones superiores a las que exige el mercado CE desde el Reglamento 305/2011 para productos de construcción. En España es concedido por el IETcc, que certifica una apreciación técnica favorable de la idoneidad de empleo en edificación y obras públicas de un producto de construcción para el uso asignado, considerando aspectos no cubiertos o complementarios a los contemplados por el mercado CE. El DIT plus puede ser aplicado tanto a productos cubiertos por una Norma Europea Armonizada (tradicionales) como a los cubiertos por DITE/ETE (innovadores).

10) «Documento de Evaluación Europeo» [DEE]: Es el documento que recoge el esquema de evaluación armonizado para las familias de productos innovadores y sirve de base para la preparación de los documentos de Evaluación Técnica Europea (ETE). Incluye como mínimo una descripción general del producto, la lista de características esenciales que sean pertinentes a efectos del uso previsto, los métodos y criterios para evaluar las prestaciones del producto, y los principios para el control de producción en fábrica que han de aplicarse. Aplica a productos y usos que no están o no están totalmente cubiertos por una especificación técnica armonizada previa -DEE o Guía DITE utilizada como DEE- y está regulado bajo el Reglamento EU 305/2011 reemplazando las antiguas Guías DITE.

E:

11) «Especificación técnica armonizada»: Término que hace referencia tanto a los Documentos de Evaluación Europea (DEE) como a las Normas Armonizadas (hN), que son los dos documentos técnicos de evaluación para los productos de construcción. En el caso de que un producto no esté o no esté totalmente cubierto por ninguno de ellos, a tal fin se emite el documento de Evaluación Técnica Europea (ETE).

12) «Evaluación Técnica Europea» [ETE]: Procedimiento de evaluación de los productos de la construcción según las directrices establecidas por el Reglamento 305/2011 en el ámbito de las Organismos de Evaluación Técnica de la EOTA. Es una evaluación documentada de las prestaciones de un producto de construcción en cuanto a sus características esenciales, con arreglo a su correspondiente Documento de Evaluación Europeo (DEE).

G:

13) «Guía Europea para la Evaluación Técnica» [Guía DITE]: Es un documento establecido por la EOTA bajo la CPD 89/106/CEE y ahora reemplazado por el DEE. Las antiguas Guías DITE indican el procedimiento de evaluación de las prestaciones para una familia de productos de construcción. Contienen una relación de los documentos interpretativos pertinentes, los Requisitos Esenciales que debe cumplir el producto, métodos de ensayo, análisis y evaluación de dichos ensayos, y los procedimientos de inspección y conformidad. Se usaba para la emisión del correspondiente DITE (que también podía ser emitido según CUAP). En la actualidad con carácter temporal la EOTA acepta el empleo de Guías DITE utilizadas como DEE, para la emisión de las ETE.

I:

14) «Informe Técnico» [TR]: En el ámbito de la EOTA, se refiere a documentos adoptados por el Consejo Técnico de la EOTA para definir detalles de los productos de construcción en determinados aspectos, expresando el común acuerdo de los OETs sobre conocimiento y experiencia en el uso de dichos productos en un momento determinado. Son documentos de referencia complementarios a los ETAG, DEE y ETE y sirven de apoyo para la elaboración de los mismos; estos informes pueden ser corregidos y actualizados.

N:

15) «Norma armonizada» [NA]: Es una especificación técnica que ha sido aprobada por un Organismo Europeo de Normalización y elaborada bajo mandato de la Comisión Europea de acuerdo con lo establecido en la Directiva 83/189/CEE. Para los productos de construcción, el uso de las normas armonizadas es de carácter obligatorio. En el caso de productos no cubiertos o no totalmente cubiertos por una norma armonizada, se elaborará el correspondiente DEE.

O:

16) «Organismo notificado» [ON]: En el marco de la Comisión Europea y el mercado CE, representa aquel organismo acreditado por un Estado Miembro con la competencia y la responsabilidad para efectuar la certificación de la conformidad de los productos que se vayan a distribuir en el mercado, de acuerdo con las normas de procedimiento y de gestión establecidas. Esta certificación suele incorporar un control completo de todos los procesos del producto, desde su diseño, producción y seguimiento.

17) «Organismo de Evaluación Técnica Europea» [OET]: Es aquel organismo designado por un Estado Miembro para el ejercicio de la **evaluación de la conformidad de productos innovadores o sistemas no cubiertos por normativa armonizada** y con autorización para la emisión de los documentos de idoneidad técnica europea (DITE/ETAs). La organización que agrupa a todos estos organismos es la EOTA.

P:

18) «Prestación No Declarada» [PND]: Es una opción contemplada en la DPC y RPC que considera que cuando la falta de justificación de los niveles establecidos para una determinada exigencia no signifique la falta de idoneidad del producto, sino un nivel mínimo exigido de prestación; se permite a los fabricantes la opción de no declarar dicha exigencia en la norma armonizada o en el DITE/ETE.

19) «Procedimiento de Evaluación Consensuado o de Común Acuerdo» [CUAP Common Understanding of Assessment Procedure]: Era un procedimiento de evaluación contemplado por la DPC por el cual se permitía establecer los criterios y procedimiento de evaluación para cada caso entre los organismos miembros. El CUAP tenía igual consideración que las normas armonizadas y las guías ETAG. En la actualidad, el RPC lo ha eliminado y el procedimiento queda englobado por los Documentos de Evaluación Europea.

R:

20) «Reglamento de Productos de la Construcción» [RPC]: Reglamento 305/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo, que con su entrada en vigor el 1 de julio de 2013 reemplazó la anterior Directiva de Productos de la Construcción, Directiva 89/106/EEC. Es de obligado cumplimiento en todos los Estados Miembros de la UE y establece, por un lado la exigencia de que las obras de construcción se proyecten y ejecuten de forma que no comprometan la seguridad ni dañen el medio ambiente; y por otro lado la influencia directa del reglamento sobre los requisitos de los productos de construcción de cara a facilitar el comercio en la Unión Europea.

21) Requisitos Esenciales de las obras: Son las características que deben satisfacer las edificaciones y obras de ingeniería y que deberán cumplirse durante un período de vida económicamente razonable. La Directiva del Consejo 89/106/EEC conocida como CPD, establecía 6 requisitos esenciales: (1) Resistencia mecánica y estabilidad; (2) Seguridad en caso de incendio; (3) Higiene, salud y medio ambiente; (4) Seguridad de utilización; (5) Protección contra el ruido; (6) Ahorro de energía y aislamiento térmico.

22) «Requisitos Básico de las obras» [«Basic Works Requirement» BWR]: son todos aquellos requisitos de las obras de construcción que constituyen la base para la preparación de los mandatos de normalización y las especificaciones técnicas armonizadas. En base a ellos se establecen las características esenciales de los productos de construcción y que figuran en las especificaciones técnicas armonizadas. Sustituyen a los antiguos requisitos esenciales, a partir de la entrada en vigor del Reglamento UE 305/2011. Son siete: (1) Resistencia mecánica y estabilidad; (2) Seguridad en caso de incendio; (3) Higiene, salud y medio ambiente; (4) Seguridad y accesibilidad de utilización; (5) Protección contra el ruido; (6) Ahorro de energía y aislamiento térmico; y (7) Utilización sostenible de los recursos naturales.

4.2. BIBLIOGRAFÍA

AENOR. (1994) *“UNE EN 515:1994. Aluminio y aleaciones de aluminio. Productos forjados. Designación de los estados de tratamiento”*. Ed. AENOR.

AENOR. (1995) *“UNE EN 573-2: 1995. Aluminio y aleaciones de aluminio. Composición química y forma de productos de forja. Parte 2: sistema de designación simbólica”*. Ed. AENOR.

AENOR. (2000) *“UNE 41957:2000. Anclajes para revestimientos de fachadas de edificios. Parte 1: Subsistemas para revestimientos ligeros”*.

AENOR. (2008) *“UNE EN 1396:2008. Aluminio y aleaciones de aluminio. Chapa y banda recubierta en continuo para aplicaciones generales. Especificaciones”*. Ed. AENOR.

AENOR. (2005) *“UNE EN 573-1: 2005. Aluminio y aleaciones de aluminio. Composición química y forma de productos de forja. Parte 1: Sistema de designación numérica”*. Ed. AENOR.

AENOR. (2008) *“UNE EN 1396:2008. Aluminio y aleaciones de aluminio. Chapa y banda recubierta en continuo para aplicaciones generales. Especificaciones”*. Ed. AENOR.

AENOR. (2009) *“UNE EN 573-3:2009. Aluminio y aleaciones de aluminio. Composición química y forma de los productos de forja. Parte 3: Composición química y forma de los productos”*. Ed. AENOR.

AENOR (2010) *“EN ISO 11925-2:2010. Reaction to fire tests - Ignitability of products subjected to direct impingement of flame - Part 2: Single-flame source test (ISO 11925-2:2010)”*. Ed. AENOR.

AENOR (2010) *“UNE-EN 13501-1:2007+A1:2010. Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Parte 1: Clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de reacción al fuego”*. Ed. AENOR.

AENOR (2010) *“UNE EN 1991-1-4:2007 + UNE EN 1991-1-4/AC: 2010 + UNE EN 1991-1-4/A1: 2010. Eurocódigo 1. Acciones en estructuras. Parte 1-4. Acciones generales. La acción del viento”*. Ed. AENOR.

AENOR (2010) *“EN 13501-1:2007+A1:2010: Fire classification of construction products and building elements. Part 1: Classification using data from reaction to fire tests”*. Ed. AENOR.

AENOR (2012) *“EN 13823:2012. Reaction to fire tests for building products - Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item”*. Ed. AENOR.

Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, y el Ministerio de Meteorología de Portugal. *“Atlas Climático Ibérico. TEMPERATURA DEL AIRE Y PRECIPITACIÓN (1971-2000)”*. ISBN: 978-84-7837-079-5.

ALCAN COMPOSITES. (2009) *“ALUCOBOND®: 40 years of excellence. From a Pioneer to the synonym”*. Ed. Alcan Composites. Alcan-Singen GmbH. ISBN 978-3-00-027914-0.

ICC (2007) *“Acceptance criteria for metal composite Materials. AC.25”*. Evaluation Service INC. USA, 2007. www.icc-es.org.

Amat, Tomás y Morales, M. (2012) *“Revisión y estudio comparativo de la acción del viento sobre las estructuras empleando Eurocódigo y Código Técnico de la Edificación”*. Informes de la Construcción Vol. 64, 527. Ed. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. ISSN: 0020-0883.

Anderson, J. M y Gill, J. R. (1988) *“Rainscreen Cladding: A Guide to Design Principles and Practice”*. Ed.: CIRIA and Butterworths, Londres (Reino Unido), ISBN: 9780408030939.

Architectural Aluminium Manufacturers’ Association (AAMA) (1971) *“Aluminium Curtain Walls – The Rain Screen Principle and Pressure Equalization Wall Design”*. Ed. Architectural Aluminium Manufacturers’ Association (AAMA), New York (EEUU).

ASEFAVE. Asociación Española de Fabricantes de Fachadas Ligeras y Ventanas S.L. (2015) *“Manual de Producto. Fachadas Ligeras”*. 2ª ed. Ed. Tecnopress Ediciones. ISBN-978-84-939023-1-5.

ASTM D 1781-98 1998 (2012). *“Standard Test Method for Climbing Drum Peel for Adhesives”*. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012, www.astm.org.

ASTM C 481-99 (2011). *“Standard Test Method for Laboratory Aging of Sandwich Constructions”*. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011, www.astm.org.

ASTM D 903-98 (2010) *“Standard Test Method for Peel or Stripping Strength of Adhesive Bonds”*. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010, www.astm.org.

ASTM D 1876-08. (2015) e1. *“Standard Test Method for Peel Resistance of Adhesive (T peel test)”*. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, www.astm.org.

AVIS TECHNIQUE 2/94-373. (1995) *“Bardage rapporté. Reynobond Système”*. Ed. CSTB.

AVIS TECHNIQUE 2/94-388. (1995) *“Bardage rapporté. Alucobond Système Riveté”*. Ed. CSTB.

AVIS TECHNIQUE 2/94-389. (1995) *“Bardage rapporté. Alucobond Système Cassettes”*. Ed. CSTB.

AVIS TECHNIQUE 2/95-413. (1999) *“Karrat”*. Ed. CSTB.

Baillet C. y Delfosse L. (1990) *“The combustion of polyolefins filled with metallic hydroxides and antimony trioxide”*. Polymer Degradation and Stability; 30:89–99.

Barnard, Lucy. (2015) *“The Torch blaze reignites concerns over cladding used for Dubai towers”*. THE NATIONAL. Emiratos Árabes Unidos.
<www.thenational.ae/business/property/the-torch-blaze-reignites-concerns-over-cladding-used-for-dubai-towers>

Bellayer, Séverine Patricia., Tavard, E., Duquesne, S., Piechaczyk, A. and Bourbigot, S. (2011) *“Natural mineral fire retardant fillers for polyethylene. FIRE AND MATERIALS. Fire Mater”*. 35:183–192. Published online 5 November 2010 in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com). DOI: 10.1002/fam.1048.

Blachère, Gerard. (1967) *“Saber Construir”*. 1ª ed. Española. Editores técnicos asociadls SA. Depósito legal: B-35417-1966.

Blázquez, Antonio. (2005) *“Innovación en construcción: Teoría, situación, perspectivas y otras consideraciones”*. Informes de la Construcción. Vol. 57, n.º 499-500, septiembre-octubre/noviembre-diciembre 2005.

Blázquez, Antonio. (2007) *"Innovación en fachadas. nuevas tendencias y soluciones. Exigencias, Código Técnico. Marcado CE, DITE y DIT. La innovación en las técnicas, los materiales y los sistemas de construcción"*. Curso CEMCO 2007. Volumen IV. Ed. IETcc-CSIC. ISBN: 978-84-691-2408-6.

Blázquez, Antonio. (2013) *"Fachadas ventiladas. Reglamento de productos de Construcción y Código Técnico de la Edificación. DIT y DITE para evaluación de sistemas. Seminario S3. Sistemas constructivos innovadores para fachadas ventiladas evaluados con Documentos de Idoneidad Técnica"*. Cursos avanzados Eduardo Torroja: Evaluación, Intervención y Mantenimiento de Edificios y Estructuras. Ed. IETcc-CSIC. ISBN: 84-7292-406-2.

Blázquez, Antonio. (2014) *"Tesis doctoral. Metodología para la evaluación de productos innovadores de construcción (PREASSESSMENT/PREEVALUACIÓN DIT)"*. Universidad Politécnica de Madrid http://oa.upm.es/35014/1/ANTONIO_BLAZQUEZ_MORALES.pdf.

Brannigan, M. (Prof Emeritus) Vincent J.D. Department of Fire Protection Engineering. University of Maryland) (2008). *"The regulation of technological innovation: The special problem of fire safety standards"*. Ponencia presentada en la jornada: Fire and Building Safety in the Single European Market: Does CE Compliance Ensure Fire Safety?. Royal Society of Edinburgh, 12 de noviembre de 2008 (www.fireseat.org).

Brookes, Alan J. (1998) *"Cladding in Buildings"*. 3ª edición (1ª edición en 1983). Ed: E & FN SPON. ISBN: 0419 22170-0.

Centro de desarrollo del aluminio S.A. (1968) *"Tratamiento térmico de las aleaciones de aluminio"*. Depósito legal M. 19962-1968.

da Silva, Lucas F.M., Carbas, R.JC., Critchlow, GW., Figueiredo, M.A.V. y Brown, K. (2009) *"Effect of material, geometry, surface treatment and environment on the shear strength of single lap joints"*. International Journal of Adhesion & Adhesives. Vol. 29.

Elghazouli, A.Y., Cashell, K.A., y Izzuddin, B.A. (2009) *"Experimental evaluation of the mechanical properties of steel reinforcement at elevated temperature"*. Fire Safety Journal 44. pag. 909-919. DOI: 10.1016/j.firesaf.2009.05.004.

EOTA. ETAG 034 (April 2012). *"European Technical Approval Guideline (ETAG) n. 034 for the issuing of the European Technical Approval"*.

EOTA. ETAG 002. (1999) *"Assumption of working life of construction products in Guidelines for European Technical Approval, European Technical Approvals and Harmonized Standards"*.

España. Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. *Capítulo II. Definición de las variables meteorológicas. Apdo. F. Manual de uso de términos meteorológicos. (pág.31-33).* Ed. Enero 2015. Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado. Depósito Legal: M-32801-2014.

España. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. AEMET. (2013). *Plan nacional de predicción y vigilancia de fenómenos meteorológicos adversos meteocalerta.* Versión 5. Fecha 9-7-2013.

España. Ministerio de Industria (1973) *"Norma Tecnológica de la Edificación. Revestimiento de paramentos. Chapados. (NTE-RPC)"*.

European Comission. (2004) *"GUIDANCE PAPER F (concerning the Construction Products Directive - 89/106/EEC). DURABILITY AND THE CONSTRUCTION PRODUCTS DIRECTIVE"*.

European Comission. (1999) *"GUIDANCE PAPER G (concerning the Construction Products Directive - 89/106/EEC): The european classification system for the reaction to fire performance of construction products"* (originally issued following consultation of the Standing Committee on Construction meeting on 09th December 1999. Updated following consultation of SCC May 03. European Commission. Enterprise directorate general.

Fernández, Joaquín. (2004) Catedrático de C. Arquitectónicas. U. La Coruña. *"Conferencia sobre fachadas transventiladas con aplacados de piedra natural"*. Curso COAM sobre fachadas.

Fisher, Lawrence W., P.E. (2005) *"Selection of Engineering Materials and Adhesives"*. Ed. CRC Press. Taylor & Francis Group. ISBN 0-8247-4047-5.

Garden, G. K. y Dalglish, W. A. (1968) *"Influence of Wind Pressures on Joint Performance, Technical Paper 264"*. National Research Council of Canada, Ottawa.

Gayá, M. (2013) *"Los tornados en España: Características e impacto. Fenómenos meteorológicos adversos en España"*. Ed. A. MADRID VICENTE. Madrid. ISBN: 978-84-96709-88-1 Imprime: Service Point.

Gulmine, J.V., Janissek, P.R. , Heise, H.M. y Akcelrud, L. (2002) *"Polyethylene characterization by FTIR"* Polymer Testing 21 557–563.

Hewlet, P.C. y Blaisdale. (2005) *"Durability Assessment; Emerging Methodology"*. Conferencia impartida en el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.

Hand, H.M. et al. (1992) *"Effects of environmental exposure on adhesively bonded joints"*. Construction and Building Materials Vol 6. N° 4.

Kerr, Dale. (1985) *"Annotated Bibliography of Rain Screen Principle"*. Ed. National Research Council Canada, Ottawa.

Krüger, Gunter y Schneider, Roland. (1999) *"An elastic adhesion system for structural bonding of façade panels"*. Otto-Graf-Journal Vol.10, http://www.mpa.uni-stuttgart.de/publikationen/otto_graf_journal/ogj_1999/index.en.html

Lahoz, E. (2008) **DIT 405R/08.** *Sistemas de revestimiento de fachadas ventiladas mediante bandejas o placas procedentes de paneles compuestos de aluminio*. Ed. Instituto de Ciencias de Construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC).

Lahoz, E. (2012) **DIT 553A/12.** *Sistemas de revestimiento de fachadas ventiladas mediante bandejas o placas procedentes de paneles compuestos de aluminio*. Ed. Instituto de Ciencias de Construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC).

Maciá, Maria Eugenia (2006) *"Seminario 2. El CTE y la seguridad en caso de incendio. Ponencia sobre la clasificación de los materiales y los productos de construcción. R.D. 312/2005"*. Instituto de Ciencias de Construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC).

Marosfoi, BB., Garas, S., Bodzay, B., Zubonyai, F. y Marosi, G. (2008) *"Flame retardancy study on magnesium hydroxide associated with clays of different morphology in polypropylene matrix"*. Polymers for Advanced Technologies. 19:693–700.7.

Martín, Jose Miguel (2000). *"Conceptos básicos de Adhesión y de uniones adhesivas"*. Ed. Universidad de Alicante. ISBN: 978-84-7908-558-2.

Merlet, Jean Daniel (2005) *"Durability assessment"*. Presentación para el Seminario de la UEATc: "Technical workshop/seminar on construction product durability". Instituto de

Ciencias de Construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC. Madrid, octubre de 2005).

Messerschmidt, Birgitte. (2008) *"The capabilities and limitations of the single burning item (SBI) test"*. Ponencia presentada en la jornada: Fire and Building Safety in the Single European Market: Does CE Compliance Ensure Fire Safety? Royal Society of Edinburgh, 12 de noviembre de 2008 (www.fireseat.org).

Monjo, Juan. (2005) *"Durability versus vulnerability"*. Presentación para el Seminario de la UEATc: "Technical workshop/seminar on construction product durability". Instituto de Ciencias de Construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC).

Mouritz, A.P. y Gibson, A.G. (2006) *"Fire properties of polymer composites materials"*. Cap.8. Ed. Springer ISBN: 978-1-4020-5356-6.

Papachristos, Dimitris. (2007) *EXALCO BOND On line CATALOGUE*.

Pascale, F., Tosoni, S., Zicovich-Wilson, C., Ugliengo, P., Orlando, R., y Dovesi, R. (2004) *"Vibrational spectrum of brucite, Mg(OH)₂: a periodic ab initio quantum mechanical calculation including OH anharmonicity"*. Chemical Physics Letters, Volume 396, Issues 4–6, 1 Pages 308–315).

Pindado, Franchini & Meseguer. (2007) *"Aerodinámica civil y energía eólica, Anexo B: Cargas en cubiertas debidas a torbellinos cónicos"*. Ed. IDR-UPM.

Pocius, Alphonsus V. (1997) *"Adhesion and adhesive technology. An introduction"*. Ed: New York. Hnaser. ISBN: 978-3-446-42748-8.

Raduta, Ana y Stefancu, Catalin. (2009) *"Millenium Business Center: Fire case study"*. BUSINESS MAGAZIN n. 240 (26/2009). Rumanía, 2009. Ed:14.07.2009 (pág. 18 y 19).

Ranzi, E., Dente, M., Faravelli, T., Bozzano, G., Fabini, S., Nava, R., Cozanni, V. y Tognoli, L. (1997) *"Kinetic modeling of polyethylene and polypropylene thermal degradation"*. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 40-41. pág. 305-319.

Reglamento (UE) 305/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de Marzo de 2011. 4.4.2011. Diario Oficial de la Unión Europea L88/5.

Renacco, E., Kaloustian, J., Arfi, C., Pauli, A. M. y Pastor, J. (1994) *"Etude ATD-ATG du polyethylene ignifuge par l'hydroxyde de magnesium. 1994. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry"*. Volume 41, Number 4, 881-888, DOI: 10.1007/BF02547167.

Romania. Ministerul Dezvoltarii Regionale si Administratiei Publice. Consiliul Tehnic Permanent Pentru Constructii. (2013) AGREMENTUL TECHNIC NR.003-02/616-2013.

Rothon RN, Hornsby PR. (1996) *"Flame retardant effects of magnesium hydroxide. Polymer Degradation and Stability"*. Cap.54: pág. 383 – 385.

Shannon, Raymon W. (1985) *"Adhesive bonding of aluminium alloys"*. Ed. Edward W. Thrall & Raymond W. Shanon. ISBN 0-8247-7405-1.

Schumpeter, Joseph A. (1975) *"Capitalism, Socialism, and Democracy"*. (Harper Colophon Ed. 1975) (1ª ed. 1942 Harper&Brothers, 2nd 1947, 3rd 1950). ISBN: 0-06-133008-6.

Takamura y Koezuka. (1965) *"Infrared spectroscopy in clay science"*. Ed. Paul A. Schroeder.

Tomás, A., Morales, M. (2012). "Revisión y estudio comparativo de la acción del viento sobre las estructuras empleando Eurocódigo y Código Técnico de la Edificación. Informes de la Construcción, 64. (527, 381-390). ISSN:0020-0883.

Young, Warren C. y Budynas, Richard G. (2001) "Roark´s Formulas for Stress and strain. Chapter 11. Flat plates" pág. 508 y 522. Ed. McGraw Hill. 7th ISBN: 0-07-0725242-X.

Vielba, Carmen. (2001). "Tesis doctoral. La arenisca de Villamayor en revestimientos de fachada". Univesidad Politécnica de Madrid.

White, Nathan (CSIRO Highett, VIC, Australia) y Delichatsios, Michael (FireSERT, University of Ulster Jordanstown, Northern Ireland). (2014) "Fire Hazards of Exterior Wall Assemblies Containing Combustible Components. Final Report" Ed. Fire Protection Research Foundation.

Wilkin, Hugues. (2001) "Aluminium Architecture". Ed. Birkhäuser. Alemania. ISBN 3-7643-6412-2.

http://ec.europa.eu/enterprise/policies/single-market-goods/cemarking/about-ce-marking/index_es.htm.

http://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/vigilancia_clima/resumenes_climat/ccaa/galicia/avance_climat_gal_feb_2014.pdf

<http://www.lamoncloa.gob.es/espana/eh15/medioambiente/Documents/Fenómenos%20meteorológicos.pdf>

http://ec.europa.eu/enterprise/policies/single-market-goods/cemarking/about-ce-marking/index_es.htm.

http://www.aemet.es/es/conocermas/estudios/detalles/Estudio_de_la_tormenta_tropical_Delta

http://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/vigilancia_clima/resumenes_climat/ccaa/galicia/avance_climat_gal_feb_2014.pdf

PARTE 5

PARTE 5: ANEJOS

5.1. CONTRIBUCIONES AL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO

- 5.1.1. Capítulo “Preliminar assessment of Durability for Aluminium Composite Panels”, asociado a panel aceptado en el Congreso internacional COINVEDI II (2012), e incluido en el libro “ Construction and Building Research (2014)”. Pág. 453-461.

Springer. Ed.por Carmen Llinares-Millán,Igor Fernandez-Plazaola,Francisco Hidalgo-Delgado,María Montserrat Martínez-Valenzuela,Fracisco Javier Medina-Ramon,Inmaculada Oliver-Faubel,Isabel Rodriguez-Abad,Andrea Salandin,Rafael Sanchez-Grandia,Isabel Tort-Ausina (Valencia).
ISBN 978-94-007-7789-7.

- 5.1.2 Artículo publicado en revista JCR: “Pre-evaluación DIT de la resistencia frente a la succión del viento de kits de revestimiento de fachada ventilada con bandejas procedentes de paneles composite de aluminio”.
Informes de la Construcción. Vol.68.542 e.143. Abril-Junio 2016
ISSN-L:0020-0883.

- 5.1.1. Capítulo “Preliminar assessment of Durability for Aluminium Composite Panels”, asociado a panel aceptado en el Congreso internacional COINVEDI II (2012), e incluido en el libro “ Construction and Building Research (2014)”. Pág. 453-461.**

Preliminar Assessment of Durability for Aluminium Composite Panels

E. Lahoz and F. Hernández de Olivares

Abstract Aluminium composite panels (ACP) are thin and lightweight sandwich panels composed usually by two alloyed aluminium sheets bonded to a non insulating core made of low density polyethylene, with or without added fire retardant substances (currently named as type FR or PE respectively). Cladding kits based on ACP are considered as repairable or replaceable with some more efforts. It is assumed that its intended working life will reach at least 25 years. Experimental studios on ACP degradation are based on the decay of delamination resistance by peeling test before and after artificial ageing, but there is a gap of correlation between artificial ageing procedure and real experience, which does not allow to confirm if durability is similar to the expected working life. Comparison of delamination resistance by peeling tests after laboratory ageing and real exposure has been carried out in order to confirm that durability of at least 25 years can be reached, provided that decay of initial delamination resistance of panel does not reach 25 % when exposed to heat or moisture ageing in laboratory conditions.

Keywords Aluminium composite panels • Durability • Delamination resistance • Peeling test

1 Introduction

Even now, both aluminium composite panels (hereafter ACP) and cladding kits based on ACP (e.g. cassette shown in Fig. 1) are considered as innovative products in Europe. ACP are thin and lightweight sandwich panels composed usually by two alloyed aluminium sheets bonded by a film adhesive to a non insulating core made of low density polyethylene (hereafter LDPE) plus with or without added fire retardant substances, named currently as type FR or PE respectively (Fig. 2).

Until now, in some Member States, only innovative products favourably assessed through the national Approval procedure are accepted by the market. For

E. Lahoz (✉)
IETcc, Madrid, Spain
e-mail: elahoz@ietcc.csic.es

F. Hernández de Olivares
UPM, Madrid, Spain

Fig. 1 Flat ACP pattern for cassette

example, in France it was in 1995 when first national Approvals (Avis Technique 2/94-388 [1] and 2/94-389 [2]) were issued by Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (hereafter CSTB) for respectively cladding kits based on riveted boards and on suspended cassettes made from ACP ALUCOBOND, delivered then by Société ALUSSUISSE). In Spain, Instituto de Ciencias de Construcción Eduardo Torroja (hereafter IETcc) issued DIT 345 [3] and 346 [4] for these same ACP in 2000. In 2003, IETcc issued DIT 405 [5] for similar cladding kits based on ACP LARSON (first ACP manufactured in Spain by ALUCOIL S.L.)

In all of those documents, delamination resistance was determined through peeling test according to ASTM D 1781 as a factory production control and not as a durability parameter. In fact, as minimum manufacturers declares an acceptance value of 52 N.mm/mm. And for example in relation to durability, Avis Technique concluded without testing that due to the intrinsic durability of the components and its compatibility, it can be expected a 30 years durability can be reasonably expected. According to recently approved European Technical Approval Guideline (hereafter ETAG) n. 034 [6] for cladding kits, an expected working life 25 years should be considered for cladding kits as they are expected to be easily reparable or replaceable with some efforts. Nevertheless, there is a gap of correlation between artificial ageing procedure and real experience, which does not allow to confirm if durability is similar to the expected working life. This paper focuses on save this gap for ACP type PE.

Fig. 2 Example of ACP composition

2 State of Art

First experience from manufacture was carried out for ALUCOBOND in 1992 [7]. Then, it was determined the decay of delamination resistance by peeling test according to standard ASTM D 1781-76 [8] before and after exposition to Cycle B of Standard ASTM C 481 [9]. This ageing consists on six repetitions of the following steps:

- 1. Total immersion in water (1 h. 50 ± 3 °C)
- 2. Exposure to dry air (3 h. 70 ± 3 °C)
- 3. Sprayed hot water (3 h at 70 ± 3 °C)
- 4. Exposure to dry air for (18 h at 70 ± 3 °C)

And following results were obtained on specimens made of ACP ALUCOBOND type PE Figure 4 and figure 5,

- Peeling strength (initial state): 163,6 N.mm/mm
- Peeling strength (front sheet) after Cycle B: 154,1 N.mm/mm

There was a decay of approximately 6%, but no correspondence is expressed in this Report of Test between Cycle B ageing and a determined period of time. Comparison

to minimum declared valued (52 N.mm/mm) considered valid for “as deliver state” does not clarify which is the limit between acceptable and unacceptable durability.

Delamination resistance obtained by peeling test was researched by some authors like John A. Williams and James J. Kauzlarich [10], which pointed out that maintaining a constant angle when applying the peeling force (like the procedure described at ASTM D 1781) was the critical variable for a reliable determination of this resistance, but also announced that temperature (and perhaps also humidity) were important variables for many tape/adhesive combinations.

Heat and moisture can be the main ageing agents causing the decay of bonding performance of a determined adhesive. This is one of the conclusions pointed out by Lucas F.M. da Silva et al [11], who researched on the influence of several factors on the tensile strength of some adhesives all of them different than, before and after the exposition of single lap joints at 50 °C and 80% RH along 1 and 4 weeks. Moisture influence alone was also studied more than twenty years ago by H.M. Hand et al. [12]. They pointed out that bonding strength of some adhesives (e.g. those based on a hydrophilic matrix) may become seriously affected when exposed to humidity.

3 Methodology

3.1 General

It is based on ISO 15686-2:2012 [13], and has been divided into three parts (Fig. 3):

- Initial, comprising the hypothesis (step 1): Durability of ACP as part of external cladding kit is at least 25 years.
- Principal, composed by a definition of theoretical items (steps 2–5) plus experimental tasks defined below, based on artificial and real exposures (steps 6–9). As objectives, it is proposed to research the degradations of delamination resistance under appropriate ageing exposures.
- Final, comprising a proposed estimation of durability expressed in years (step 10).

3.2 Experimental

3.2.1 Tests Program

According to steps 6–7 (Fig. 3), it was compared in first place existing data from ALUCOBOND samples (size 305 × 76 × 4 mm) aged in real conditions (façade “A”). Then, there were carried out new tests on samples of ACP LARSON, supplied by ALUCOIL, exposed to ageing procedures in laboratory (based on Draft 06 of EOTA TR [14]), and on samples exposed to available real ageing conditions

Fig. 3 Scheme of methodology

(façade “B”). For identification, samples were named as “PE-1” (if they came from ACP ALUCOBOND, or as “PE-2” (if they came from ACP LARSON). Indicator variable depends on manufacturer control procedures (Tables 1 and 2).

4 Results

Following tables show results from laboratory and real exposures.

Table 1 Ageing program

Agent	Mechanism (Procedure)	Indicator (units)	Laboratory ageing (Sample)	Real ageing (Sample)
Heat and/or Moisture	Decay of delamination resistance (<i>ASTM D 1781</i>)	Torque peel (<i>N.mm/mm</i>) Load (<i>N</i>) Load (<i>N</i>)	Cycle B ASTM C 481 (<i>PE-1</i>) See §. 2 36 days (~2500 h/3) 80 °C (<i>PE-2</i>) Water immersion 20 °C 21 d (<i>PE-2</i>)	Façade A (<i>PE-1</i>) Façade B (<i>PE-2</i>) Façade B (<i>PE-2</i>)

Table 2 Real ageing conditions

Façade	Location	Built (year)	ACP	Colour	Or	Temperature		Precipitation (P. days)
						ΔT_{av}	$T_{max\ av}$	
A	Balsicas (Murcia)	2003	PE-1	Black	West	9.5 °C ^a	22 °C ^a	5.5 ^a
B	Miranda de Ebro (Burgos)	2006	PE-2	Silver	Northwest	11.5 °C ^b	16 °C ^b	8.8 ^b

ΔT_{av} = Month average (maximum—minimum) temperature difference

$T_{max\ av}$ = Month average maximum temperature

P. days = Average number of days per month in which precipitation occurs

^a Available data from Murcia Airport meteorological station.50 years period: 1962–2012 [15]

^b Available data from Burgos Airport meteorological station.50 years period: 1962–2012 [16]

4.1 Comparison Between Laboratory and Real Ageing Exposures for ACP “PE-1” (Table 3)

Although range of initial values for specific samples exposed to real ageing in façade A is unknown, it seems that a more severe decay of delamination resistance is obtained after a real exposure of 8.33 years rather than according to Cycle B of ASTM C 481.

4.2 Comparison Between Laboratory and Real Ageing Exposures for ACP “PE-2” (Table 4)

PE-2 manufacturer’s declared range for initial values raises from 550 to 850 N. Therefore, real exposure value of 751.2 N can not be interpreted as an increase of delamination resistance due to exposure to heat. On the other hand, procedure for laboratory ageing by exposure to heat (80 °C) is foreseen to last 2,500 h. according to Draft 06 EOTA TR in order to demonstrate a 25 years durability. Due to time limitations, a reduced exposure of 35 days (840 h) approximately the 1/3 of 2,500 h, was carried out for this preliminary assessment.

Table 3 Decay of delamination resistance by peeling test of ACP “PE-1”

Laboratory exposure: Cycle B ASTM C 481									
Real exposure (8.33 years on façade A)									
Initial av.value		Aged av.value		Decay		Initial av.value		Aged av.value	
Torque peel (N.mm/mm)	Breakage	Torque peel (N.mm/mm)	Breakage	Δ Peeling (%)	Variation breakage	Torque peel (N.mm/mm)	Type of breakage	Torque peel (N.mm/mm)	Type of breakage
163.6	Cohesive, inside adhesive	154.1	Cohesive inside adhe- sive	5.80	No	Unknown		113.1 (ext. sheet-core) 139.8 (rear adhesive sheet-core)	Cohesive, inside adhesive Unknown

Table 4 Decay of delamination resistance by peeling test external sheet-core of ACP “PE-2”

Laboratory exposure: 35 d. at 80°C									
Real exposure (6 years on façade B)									
Initial av.value		Aged av.value		Decay		Initial av.value		Aged av.value	
Load (N)	Breakage	Load (N)	Breakage	Δ Peeling (%)	Variation breakage	Load (N)	Type of breakage	Load (N)	Type of breakage
648.3	Cohesive, inside adhesive	591.5	Cohesive inside adhesive	8.75	No	Unknown		751.2	Cohesive, inside adhe- sive Unknown
<i>Laboratory ex: Water immersion 21 d 20°C</i>									
Initial av.value		Aged av.value		Decay		Initial av.value		Aged av.value	
Load (N)	Breakage	Load (N)	Breakage	Δ Peeling (%)	Variation breakage	Load (N)	Type of breakage	Load (N)	Type of breakage
648.3	Cohesive, inside adhesive	654.3	Cohesive, inside adhesive	-0.75	No				

Fig. 4 Specimen during peeling test

Fig. 5 Specimens after peeling test

5 Conclusions

Following conclusions are presented:

1. Real exposure results after 8.33 years (Table 3) are more severe than laboratory aged results based on heat and moisture exposure according to Cycle B of ASTM C-481. Therefore this particular ageing procedure is not reliable for demonstrate that durability of ACP is at least 25 years when they are foreseen to be used as part of external claddings.

2. Exposure to heat, and in particular orientation and colour of cladding will bring a decay of delamination resistance. On the other hand, moisture, will not influence on the decay of delamination resistance provided that ACP panels, like PE-1 and PE-2, are composed by non porous cores and by non hydrophilic adhesive films.
3. Preliminary decay of delamination resistance after 35 days of heat exposure in laboratory conditions, confirms reliability of methodology and requirement (25 % after 2,500 h) proposed by Draft 06 EOTA TR for an estimated durability of 25 years of ACP.

References

1. AVIS TECHNIQUE 2/94-388. Bardage rapporté. Alucobond Système Riveté © CSTB, 1995. www.cstb.fr.
2. AVIS TECHNIQUE 2/94-389. Bardage rapporté. Alucobond Système Cassettes © CSTB, 1995. www.cstb.fr.
3. Documento de Idoneidad Técnica DIT 345: Sistema de revestimiento de fachadas ventiladas mediante bandejas colgadas procedentes de paneles ALUCOBOND.
4. Documento de Idoneidad Técnica DIT 346: Sistema de revestimiento de fachadas ventiladas mediante placas remachadas procedentes de paneles ALUCOBOND.
5. Documento de Idoneidad Técnica DIT 405: Sistema de revestimiento de fachadas ventiladas mediante bandejas colgadas procedentes de paneles LARSON.
6. EOTA, A. 2012. European Technical Approval Guideline (ETAG) n. 034 for the issuing of the European Technical Approval
7. United States Testing Company Inc. Report of Test 186144-3 for ALUCOBOND Tech.
8. ASTM D 1781-98. (2004). Standard test method for climbing drum peel for adhesives
9. ASTM C 481-99. (2011). Standard test method for laboratory aging of Sandwich Constructions
10. Williams, John A., & Kauzlarich, James J. (2005). The influence of peel angle on the mechanics of peeling flexible adherends with arbitrary load-extension characteristics. *Tribology International*, 38, 951-958.
11. Da Silva, Lucas F. M., Carbas, R. J. C., Critchlow, G. W., Figueiredo, M. A. V., & Brown, K. (2009). Effect of material, geometry, surface treatment and environment on the shear strength of single lap joints. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 29(6), 621-632.
12. Hand, H.M., Arah, C.O. McNamara, D.K. Mecklenburg, M.F. (1992). Effects of environmental exposure on adhesively bonded joints. *Construction and Building Materials*, 6(4), 227-234.
13. Standard ISO 15686-2:2012. Buildings and constructed assets—Service life planning—Part 2: Service life prediction procedures.
14. Draft 06 of EOTA Technical Report: Assessment procedure for durability of thin metallic composite panels. European Organization for Technical Approvals (EOTA).
15. [http://www.aemet.es/servidor de datos/series climatológicas/valores mensuales/estación/7031.csv](http://www.aemet.es/servidor%20de%20datos/series%20climatol%C3%B3gicas/valores%20mensuales/estaci%C3%B3n/7031.csv).
16. [http://www.aemet.es/servidor de datos/series climatológicas/valores mensuales/estación/2331.csv](http://www.aemet.es/servidor%20de%20datos/series%20climatol%C3%B3gicas/valores%20mensuales/estaci%C3%B3n/2331.csv).

- 5.1.2 Artículo publicado en revista JCR: “Pre-evaluación DIT de la resistencia frente a la succión del viento de kits de revestimiento de fachada ventilada con bandejas procedentes de paneles composite de aluminio”.
Informes de la Construcción. Vol.68.542 e143 Abril-Junio 2016.**

Pre-evaluación DIT de la resistencia frente a la succión del viento de kits de revestimiento de fachada ventilada con bandejas de paneles composite de aluminio

Pre-assessment of the wind-suction resistance of ventilated façades cladding kits based on cassettes made of aluminium composite panel

E. Lahoz Ruiz ^(*), T. Amat Rueda ^(*), F. Hernández de Olivares ^(**)

RESUMEN

La pre-evaluación DIT de sistemas constructivos innovadores facilitará la posterior emisión de un DIT mediante una evaluación preliminar pero fiable de aquellas prestaciones críticas relativas a su idoneidad de empleo. Para los kits de revestimiento de fachada ventilada con bandejas horizontales procedentes de PCA rigidizadas por su trasdós, una de éstas es la resistencia frente al viento. Pero no hay un método específico. Se analizó su seguridad desde los ámbitos del aseguramiento frente al riesgo meteorológico y de la normativa. Se estableció como hipótesis que resistirían sin roturas ni deformaciones permanentes significativas, valores de succión de viento de hasta 96 km/h. Se ensayaron diferentes bandejas en una maqueta a escala real. Se concluye que estos kits serán seguros si resisten un valor de 2,4 kPa sin rotura, y se limitan las deformaciones acumuladas instantáneas y residuales a valores máximos respectivos de $L/30$ y $L/300$, siendo L la distancia entre apoyos.

Palabras clave: Succión; kits de fachadas ventiladas; bandejas; paneles composite de aluminio.

ABSTRACT

The pre-assessment DIT of innovative building kits will facilitate the posterior issuing of a Technical Agrément throughout a preliminary but reliable assessment of fitness for use based on their critical performances. For cladding kits based on horizontal stiffened cassettes made of ACP, one of them is the resistance to wind loads. But there is no specific method available yet. It has been analysed its safety in the field of assurance against meteorological risks and regulations. It has been established as hypothesis, that kits would resist winds of speed up to 96 km/h with no breakage neither significant permanent deflections. Different cassettes were tested on a real-scale rig built up with different cassettes. Results lead to conclude that these kits will be safe against wind suction if they resist 2,4 kPa without breakages, and accumulated instantaneous and permanent deflections are restricted respectively to values up to $L/30$ and $L/300$, where L is the span between supports.

Keywords: Suction; ventilated cladding kits; cassettes; aluminium composite panels.

^(*) Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC), Madrid (España).

^(**) Escuela Técnica Superior de Arquitectura – Universidad Politécnica de Madrid (España).

Persona de contacto/Corresponding author: elahoz@ietcc.csic.es (E. Lahoz Ruiz)

Cómo citar este artículo/Citation: Lahoz Ruiz, E., Amat Rueda, T., Hernández de Olivares, F. (2015). Pre-evaluación DIT de la resistencia frente a la succión del viento de kits de revestimiento de fachada ventilada con bandejas de paneles composite de aluminio. *Informes de la Construcción*, 68(542): e143, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.15.070>.

Licencia / License: Salvo indicación contraria, todos los contenidos de la edición electrónica de **Informes de la Construcción** se distribuyen bajo una licencia de uso y distribución Creative Commons Attribution License (CC BY) Spain 3.0.

Recibido/Received: 19/05/2015
Aceptado/Accepted: 26/02/2015
Publicado on-line/Published on-line: xx/xx/2016

1. INTRODUCCIÓN

Los kits de revestimiento de fachada ventilada a base de bandejas colgadas procedentes de paneles composite de aluminio son sistemas constructivos no normalizados que presentan un uso muy extendido en España. Como sistemas innovadores, pueden ser objeto de Documentos de Idoneidad Técnica, documentos emitidos por el IETcc siempre que su completa evaluación técnica de la idoneidad de empleo para el uso previsto resultara favorable. Como panel composite de aluminio (PCA), puede definirse a un tipo de panel sándwich metálico y delgado, de unas dimensiones estándar habituales de 5000 mm de longitud y 1500 mm de anchura y 4 mm de espesor, compuesto de dos láminas de aluminio aleado de 0,5 mm de espesor adheridas a un núcleo no aislante de 3 mm de espesor de polietileno de baja densidad, (panel tipo «PE») o bien de compuestos minerales añadidos a una matriz de polietileno de baja densidad (panel tipo «FR»). Estos aplacados se distinguen por su menor rigidez y mayor ligereza (aproximadamente 5,5 kg/m² para un espesor de 4 mm), versatilidad de formas, tamaños y acabados.

Así, pueden convertirse en bandejas mediante, corte, fresado, plegado y fijación de pletinas en sus esquinas. En su pestaña superior horizontal cuentan con un pliegue complementario mientras que en su pliegue inferior horizontal pueden contar con uno opcional (doble pestaña). Los pliegues verticales tienen una profundidad habitual de entre 35 y 50 mm y presentan varias entalladuras (muescas troqueladas) en general con forma de «L». Las entalladuras pueden ir reforzadas con pletinas remachadas que, al encajarse sobre las piezas de cuelgue, permiten colgar la bandeja a la subestructura (véase Figura 1). En este caso, el sistema resultante reviste las fachadas con bandejas de modulación vertical, que pueden presentar rigidizadores horizontales adheridos por su trasdós cuyo estudio no es objeto del presente artículo.

Para revestir las fachadas con bandejas de modulación horizontal, se emplean rigidizadores verticales adheridos por su trasdós (véase Figura 2), capaces de:

- Transmitir las cargas de peso propio y viento y limitar la deformación del aplacado, mediante fijaciones de ocultas mecánico-adhesivas capaces de aportar cierta elasticidad a la unión entre aplacado y subestructura.
- Optimizar el aprovechamiento del tamaño de los paneles, minimizando recortes en la conformación de las bandejas, y conseguir un aspecto estético sin fijaciones vistas.

Estos rigidizadores consisten habitualmente en perfiles angulares fabricados a partir del propio PCA, que además se fijan mediante remachado sobre sus extremos y perpendicularmente, a las pestañas horizontales de las bandejas.

El objeto del presente artículo es permitir evaluar de manera rápida, preliminar y fiable, si el comportamiento de este tipo de revestimientos frente a la succión del viento es suficientemente seguro. Se estableció como hipótesis que las bandejas, si se dimensionan, instalan y mantienen adecuadamente, pueden resistir sin rotura ni deformaciones residuales significativas la succión causada por vientos que la jurisprudencia no aprecia como supuestos de fuerza mayor, es decir aquellos cuya velocidad media no sea superior a 96 km/h.

2. ESTADO DEL ARTE

Una nueva línea de investigación, denominada pre-evaluación DIT (1), busca favorecer la innovación en el sector de la industria de productos de construcción, mediante una evaluación preliminar y fiable de su idoneidad de empleo, centrándose en sus prestaciones críticas. Para este tipo de kits, dos casos de desprendimientos coincidentes con el paso de vendavales indican que la resistencia frente a la succión del viento es precisamente, una de estas prestaciones críticas (2).

El comportamiento de una bandeja de panel composite frente a la succión del viento se puede descomponer en la suma de dos comportamientos a flexión, el de su cara vista más el de sus pestañas perimétricas. La cara vista se modela como una placa plana apoyada en todo su perímetro, ya que el fresado y posterior plegado de las pestañas del panel permitiría el giro relativo de la cara vista de la bandeja respecto de todas las pestañas (3). Para dimensionar esta placa plana frente al viento, se ha de considerar su comportamiento elástico frente a esfuerzos de flexión. Por otra parte, tanto las pestañas verticales como los rigidizadores verticales adheridos se modelan como vigas continuas o bien de un solo vano. Esto depende de su número de entalladuras, que se modelan como apoyos fijos, permitiendo el giro relativo de la viga. Estas premisas, de acuerdo con los DIT específicos emitidos hasta la fecha por el IETcc requieren de las siguientes condiciones:

- Limitando la resistencia admisible de tracción de las chapas, esto es, minorando con un coeficiente de seguridad de 1,75 el límite elástico a tracción de la aleación de aluminio considerada (4).
- Limitando la deformación instantánea, en el centro de la bandejas a $L/30$, siendo L, la distancia máx. horizontal entre pestañas verticales y/o rigidizadores adheridos (5).

Conviene recordar que en una fachada ventilada con junta abierta sometida a presión del viento, las cargas se reparten sobre montantes y travesaños de forma que todos los elementos trabajan en colaboración; mientras que, sometida a succión, corresponde inicial y principalmente a las fijaciones del aplacado a la subestructura, contrarrestar la tracción que ejercerá el viento. En el tipo de kits estudiado, debido a su menor rigidez, resulta además fundamental limitar la deformación del aplacado.

Por otro lado, es sabido que el aire es un fluido que, al interrumpir su movimiento por encontrar un obstáculo como por ejemplo una fachada de un edificio, intercambia la energía cinética en presión. En realidad, debido a la distorsión del flujo que se genera alrededor de un edificio, se producen presiones o succiones que dependen de factores tales como la velocidad del viento, el ángulo de ataque, o la geometría del obstáculo. En el caso de edificios de forma paralelepípedica, en los cambios de planos se producen remolinos que pueden generar valores locales de succión sustancialmente mayores a los de la presión recibida por la fachada situada a barlovento. En consecuencia, la evaluación de la resistencia de un kit de revestimiento de fachada ventilada frente a la acción del viento suele restringirse al menos inicialmente, al estudio de su comportamiento frente a la succión. Así, ya en la Norma UNE 41.957-1. 2000 (6), se considera, en base a la Norma alemana DIN 1055 sección 4, el efecto local de succión en las zonas de esquinas de los planos de fachada paralelos a la dirección del viento. En concreto, se indica que

Figura 1. Bandeja de modulación vertical con entalladuras reforzadas con pletinas remachadas.

Figura 2. Ejemplo de bandeja de modulación horizontal con rigidizadores adheridos por su trasdós, con y sin entalladuras reforzadas con pletinas remachadas.

el valor de la succión del viento en las esquinas y borde de coronación de las fachadas de un edificio, y a lo largo de una franja de 2 m de longitud puede ser considerado el orden del doble del valor de la presión sobre la fachada situada a barlovento, (véase Figura 3).

3. METODOLOGÍA

A partir de dos casos de desprendimiento de aplacado causados por la acción del viento, se ha estudiado su peligrosidad en los ámbitos de la meteorología, protección civil, y aseguramiento. Se ha revisado la normativa de cálculo aplicable en España. A continuación se han definido las muestras de

estudio y se ha calculado la deformación y tensión máxima admisible. Posteriormente se realizaron ensayos de resistencia a la succión del viento.

3.1. Estudio de antecedentes

Se investigó en primer lugar la existencia de antecedentes de desprendimientos, como punto de partida de la investigación. Se encontraron los siguientes:

- 28-29 de noviembre de 2005: Caída de bandejas de modulación horizontal y de algunos montantes, en fachadas de la Torre II de Santa Cruz, edificio residencial de 120 m de

Figura 3. Acción del viento sobre las fachadas de un edificio.

altura sito en C/ Los Llanos Seis, 3. 38003 Santa Cruz de Tenerife, al paso de la tormenta Delta (7).

- 4-6 de febrero de 2014: Desprendimiento de bandejas de modulación horizontal de fachadas Oeste de la sede para la Xunta de Galicia, edificio de 45 m de altura sito en la Av. Fernández Ladreda, 43. 36001 Pontevedra al paso del ciclón extra tropical Qumaira (8).

Las principales zonas afectadas resultaron ser las esquinas. Esta circunstancia corroboró las indicaciones descritas en el Estado del Arte que suponían a la necesidad de aumentar cuantitativamente la resistencia frente al viento de los elementos de aplacado de las esquinas, por ejemplo reduciendo distancias entre perfiles verticales y/o aumentando la densidad de fijaciones y por supuesto, en la elección adecuada del anclaje del elemento de fijación al soporte.

3.2. Análisis de la peligrosidad del viento

Según el Manual de la Agencia Estatal de Meteorología, en adelante AEMET, (9) la velocidad del viento se expresaba en función de valores medios (entendidos como promedio de períodos de diez minutos), o bien referenciando a su racha, es decir, la velocidad instantánea y máxima, registrada en el día, expresada en km/h y acompañada de la hora de aparición, que supone una desviación transitoria respecto a su valor medio. Así, los vientos se clasifican por AEMET como:

- *Calma*: Velocidad media menor o igual a 5 km/h.
- *Flojos*: Velocidad media entre 6 km/h y 20 km/h.
- *Moderados*: Velocidad media entre 21 km/h y 40 km/h.
- *Fuertes*: Velocidad media entre 41 km/h y 70 km/h.
- *Muy fuertes*: Velocidad media entre 71 km/h y 120 km/h, donde 96 km/h sería el valor central (equidistante) entre estos valores extremos.
- *Huracanados*: Velocidad media mayor que 120 km/h.

En consecuencia, para no crear confusión, el Manual de AEMET sólo emplea el término *racha de viento* cuando se superen los 70 km/h y entonces se clasifican como:

- *Rachas muy fuertes*: Cuando superen o hayan superado los 70 km/h.
- *Rachas huracanadas*: Cuando superen los 120 km/h.

En el *Plan Nacional de predicción y vigilancia de fenómenos meteorológicos adversos* (10), en adelante Plan Nacional, las rachas estructuran un rango creciente de niveles de alerta

(amarillo, naranja y rojo) y riesgos indicados a continuación, cuantificados mediante unos «valores umbral» de velocidad de racha en km/h, para cada región de España:

- Nivel amarillo: No existe riesgo meteorológico para la población en general aunque sí para alguna actividad concreta (fenómenos meteorológicos habituales pero potencialmente peligrosos) o localización de alta vulnerabilidad, como una gran conurbación.
- Nivel naranja: Existe un riesgo meteorológico importante (fenómenos meteorológicos no habituales y con cierto grado de peligro para las actividades usuales).
- Nivel rojo: El riesgo meteorológico es extremo (fenómenos meteorológicos no habituales, de intensidad excepcional y con un nivel de riesgo para la población muy alto).

Así por ejemplo para los casos referidos se obtendrían los siguientes valores:

- Tenerife (Norte de Tenerife). Nivel amarillo: ≥ 70 . Nivel naranja: ≥ 90 . Nivel rojo: ≥ 130
- Pontevedra (Rías Baixas): Nivel amarillo: ≥ 80 . Nivel naranja: ≥ 100 . Nivel rojo: ≥ 140

En el ámbito del aseguramiento de bienes y personas, el Real Decreto 300/2004 (11), después actualizado por el Real Decreto 1386/2011 (12) es donde se establece el *Reglamento del seguro de riesgos extraordinarios*. Aquí se regulan las circunstancias donde sería susceptible la intervención del Consorcio de Compensación de Seguros. En este R.D. se define como «acontecimientos extraordinarios», entre otros, a la tempestad ciclónica atípica, que se entiende un tiempo atmosférico extremadamente adverso y riguroso producido, entre otros fenómenos por:

- Ciclones violentos de carácter tropical, identificados por la concurrencia y simultaneidad de vientos con velocidad superior a 96 km/h promediados sobre intervalos de 10 minutos. Se reseña la coincidencia con el valor central (96 km/h) del rango de velocidades (71 a 120 km/h) establecida para la categoría de viento *muy fuerte* según el Manual de AEMET.
- Vientos extraordinarios, definidos como aquellos que presenten rachas que superen los 120 km por hora, entendiéndose por racha el mayor valor de la velocidad del viento, sostenida durante un intervalo de tres segundos. Se reseña que este valor es el establecido para la categoría *rachas de viento huracanadas* según el Manual de AEMET.

3.3. Estudio de la acción del viento en la Normativa: Eurocódigo 1 y Código Técnico (CTE)

Aunque con ciertas divergencias (13), el Documento Básico de Seguridad Estructural. Acciones en la edificación (en adelante DB SE-AE), de la parte II del Código Técnico de la Edificación, describía los mismos procedimientos y fórmulas para cuantificar la carga de viento que Eurocódigo 1 sobre las acciones del viento (14). Ahora bien, en el DB SE-AE no se considera la influencia de los efectos dinámicos, y la estimación de las acciones se determina mediante el cálculo de la presión estática del viento como $q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$, donde:

- q_b : Presión dinámica, que es función de la zona eólica (A, B y C), y es el parámetro que considera el valor de la velocidad básica del aire. Curiosamente, el valor de 96 km/h referenciado en el Real Decreto 300/2004 es inferior al valor máximo indicado en el Anejo D del Código Técnico DB.SE.AE para España (104 km/h en zona C).
- c_e : Coeficiente de exposición (en función del grado de aspereza del entorno (de I a V) y la altura del punto considerado).
- c_p : Coeficiente de eólico o de presión/succión, que es función entre otras variables de la fachada expuesta (así por ejemplo, la franja «A» sería la más desfavorable)

Así, en determinados casos algunos autores sugirieron para considerar los efectos dinámicos, realizar un estudio *ad hoc* mediante ensayos en túneles de viento sobre maqueta a escala del edificio en cuestión. El motivo, según Pindado, Francini y Meseguer (15), es que «la presión dinámica de un flujo turbulento sería mayor que la presión dinámica asociada a la velocidad media del aire». En particular, estos autores afirmaban que determinados fenómenos dinámicos, producidos al incidir el viento sobre zonas determinadas de un edificio, podían generar importantes efectos de succión local. Uno de estos fenómenos era la aceleración de la corriente, que puede ser provocada por un encajonamiento del flujo de aire, como cuando dos volúmenes, se encuentran separados pero próximos entre sí.

3.4. Análisis del procedimiento de ensayo de resistencia a la succión del viento

En el apartado 5.4.1. de la Guía de la EOTA nº 034 para la concesión del DITE a los sistemas de fachada ventilada emitida en 2012, se describe un procedimiento de ensayo para determinar su resistencia frente a la succión del viento. No obstante, aunque los kits a base de bandejas colgadas con rigidizadores adheridos procedentes de PCA no entraron en su ámbito de aplicación en el momento de su redacción, se considera que puede ser de aplicación este apartado. Este ensayo consiste en someter una maqueta del sistema de revestimiento, en la configuración más desfavorable posible y a escala real, incluyendo la subestructura, frente a la acción simulada de la succión del viento. Es un ensayo dinámico, no estático. Es decir, en él, las cargas se aplican uniformemente repartidas sobre la cara exterior del sistema de manera pulsatoria y creciente, es decir, se aplica de 0 hasta el valor considerado a una velocidad de 0,2 kPa/s como máximo. Luego se descarga con idéntica velocidad y se mide la deformación residual o permanente tras un minuto de estabilización, en los puntos considerados. Las cargas se aplican en los siguientes escalones:

- Precarga de dos escalones de 300 Pascales con descarga intermedia.
- Carga de 500 Pascales (0,5 kPa), descarga a cero y carga de 1000 Pascales (1,0 kPa).
- Y a partir de entonces, cargas crecientes en escalones de 200 Pa en 200 Pa, hasta que ocurra alguna o algunas de las siguientes situaciones:
 - Se registre una deformación diferida (permanente) acumulada significativa del aplacado (3 mm según las evaluaciones técnicas europeas emitidas por el IETcc), que suponga irrelevante la continuación del ensayo.
 - Suceda la rotura del elemento de aplacado, y/o el fallo de fijaciones, y/o bien el desprendimiento de la subestructura.

En cuanto al rango de escalones de succión, en relación con los posibles fallos que se consideran en la Guía DITE 034, se precisa que no se produjeron ni rotura de elementos de aplacado, ni fallos de fijación, ni desprendimientos de componentes de la subestructura, limitando la deformación diferida (permanente) significativa a un máximo de 3 mm, valor considerado visualmente apreciable.

Las dimensiones de las muestras de ensayo, no quedan definidas en la Guía DITE 034, simplemente se indica que al menos se ensaye aquella o aquellas configuraciones que sean más desfavorable. El equipamiento se compone de un bastidor metálico sobre el que se fijan las ménsulas del sistema. Una vez fijados los montantes a las distancias especificadas, se colocan las piezas de aplacado del tamaño considerado con juntas abiertas horizontales y verticales, simulando la configuración real de la obra. A continuación se ha de enfrentar a un cajón abierto de 2400 mm × 2000 mm de dimensiones interiores de paneles de fibras de madera y media densidad, de modo que perimétricamente se ajuste al bastidor y selle para evitar el paso del aire.

3.5. Experimentación

En el contexto de una evaluación rápida, preliminar y fiable de la idoneidad de empleo, se ha de optimizar la fase experimental. Es imprescindible considerar un reducido número de ensayos sobre configuraciones de muestras del sistema que por un lado, se adapten de forma óptima a las dimensiones del cajón de ensayo, sean suficientemente representativas de la puesta en obra y además, según indica la Guía ETAG 034, sean lo más desfavorables posibles. Para este fin, se utilizó una única maqueta de ensayo (véase Figura 4) cuyas características principales eran las siguientes:

- **Composición de subestructura:**
 - Ménsulas: 3 unidades por montante, de menor profundidad posible, (en total 9) fijadas a la perfilera del bastidor metálico mediante tornillos pasantes, arandela y tuerca.
 - Montantes: 3 unidades de 2375 mm de longitud, distanciados entre sí 910 mm.
 - Piezas de cuelgue: 2 unidades para otras tantas entalladuras por pestaña o rigidizador vertical, fijadas al montante con las fijaciones previstas (p.ej. tornillos).
- **Composición del revestimiento:** Bandejas horizontales procedentes de PCA de 4 mm de espesor, rigidizadas verticalmente por su trasdós, compuestas por núcleos tipo «PE» o «FR» y por láminas de aleación de aluminio del

Observaciones (dimensiones en mm)

- ① Banco de ensayos compuesto por bastidor y cajón de cierre
- ② Ménsula (menor profundidad y canto; max. vano voladizo = 250 mm; máx vano entre ménsulas: 938 mm) (9 uds) fijada a bastido
- ③ Montante (longitud=2375 mm) (3 uds) fijado a ménsula
- ④ Pieza de cuelgue ajustable en altura (24 uds) fijada a montante
- ⑤ Bandeja de cierre (LxH cara vista=1820 x 305 mm) sin sobrepestaña hor. sup. procedente de panel composite de aluminio PCA
- ⑥ Bandeja (LxH cara vista=1820 x 665 mm) pest.lateral 1 vano prof. 44.5 mm, anch. entalladura no ref. 15 mm, procedente de PC/ tipo PE de 4mm de espesor (1 ud)
- ⑦ Bandeja (LxH cara vista=1820 x 665 mm) pest.lateral 1 vano prof. 44.5 mm, anch. entalladura no ref. 15 mm, procedente de PC/ tipo FR de 4mm de espesor (1 ud)
- ⑧ Bandeja (LxH cara vista=1820 x 665 mm) pest.lateral 1 vano prof. 40 mm, anch. entalladura reforz. 10 mm, procedente de PCA tipo FR de 4mm de espesor (1 ud)
- d Medidor de deformación

Figura 4. Esquema de composición de maqueta para ensayo de succión con tres bandejas.

tipo 5005. La profundidad de sus pestañas verticales era de 44 mm, o bien de 40 mm, y la anchura de lengüeta de las entalladuras: 15 mm, o bien de 10,5 mm, en este caso con entalladuras reforzadas a base de pletinas remachadas. Estos rigidizadores no presentaban más de un vano, por lo que no podían modelarse como vigas continua.

En la definición de las maquetas para ensayo se consideraron las dimensiones interiores del cajón, 2000 mm de longitud × 2400 mm de alto, y la estructura del bastidor-soporte, para permitir la ubicación de medidores de deformación LVDT, así como para el ensayo conjunto de tres bandejas de modulaciones horizontal con rigidizadores adheridos. Tal y como se indica en la Tabla 2 y en la Figura 4, los medidores de deformación LVDT se instalaron en los puntos donde a priori se podrían obtener las deformaciones más desfavorables.

Por otra parte, para la posterior discusión de los resultados de ensayo se ha correlacionado tal y como indica en la Tabla 1, los casos de partida considerados, los valores de velocidades del viento para la clase *viento muy fuerte* establecida en el Manual de AEMET, el límite del equipo de ensayo, y los parámetros del marco normativo (presión dinámica q_b , coeficiente de exposición c_e (edificio de altura ≥ 30 m y grado I), coeficiente eólico c_p , (franja A de fachada del edificio) con el escalón de succión del procedimiento de ensayo establecido en la Guía ETAG 034.

3.6. Cálculos

3.6.1. Cálculo del espesor equivalente

Para predimensionar las bandejas se ha considerado que la cara vista de la bandeja es una placa plana sólida de un espesor «equivalente» al del PCA, cuyas chapas serían de idéntica aleación que las láminas de PCA, caracterizadas por los siguientes datos:

- Tensión máxima admisible de la lámina de aluminio, considerada como el límite elástico del aluminio, minorado con un coeficiente de seguridad, declarado por el fabricante (1,75), lo que supone $90 \text{ MPa}/1,75 = 51 \text{ MPa}$.

- Módulo de Young (E) del material de la lámina (aluminio) = 70.000 MPa.

Para calcular el espesor «equivalente» ha sido necesario determinar en primer lugar la rigidez a flexión de una placa sólida equivalente a la rigidez del panel composite.

Para su determinación se partió de igualar la rigidez a flexión de PCA con la rigidez a flexión de la placa sólida y después se procedió a despejar la variable espesor. Se consideró como punto de partida que el comportamiento a flexión de un PCA es como el de un panel sándwich, pero modificado a causa de su delgado espesor. El comportamiento mecánico de un panel sándwich frente a esfuerzos de flexión es hoy bien conocido gracias a Howard G. Allen (16) y Plantema (17). Es frecuente encontrarlos citados en la bibliografía específica. Por ejemplo Zenkert (18), resume el cálculo de la rigidez a flexión D de un panel sándwich de acuerdo con la ecuación siguiente [1]:

$$D = \int E \cdot z^2 \, dz = (E_f \cdot t_f^3 / 6) + (E_f \cdot t_f \cdot d^2 / 2) + (E_c t_c^3 / 12) = 2D_f + D_0 + D_c \quad [1]$$

donde, según la Figura 5:

- D_f : Rigidez a flexión de la lámina respecto de su línea neutra individual:
 $D_f = E_f \cdot I_f = E_f \cdot (b \cdot t_f^3 / 12)$
- D_0 : Rigidez a flexión de la lámina respecto del eje centroidal del panel:
 $D_0 = E_f \cdot I_{fc} = E_f \cdot [2 \cdot (b \cdot t_f) \cdot (t/2 - t_f/2)^2]$
- D_c : Rigidez del núcleo: Al ser el Módulo de Young a tracción de las chapas de aluminio (70.000 MPa) muy superior al del núcleo de polietileno (500 MPa, es decir 0,7 %), este término se desprecia.

E introduciendo estos parámetros en la ecuación [1] se obtiene la ecuación [2]

$$D = 2D_f + D_0 + D_c = E_f \cdot [2 \cdot (b \cdot t_f^3 / 12) + (2 \cdot (b \cdot t_f) \cdot (t/2 - t_f/2)^2)] \quad [2]$$

Tabla 1. Cálculos de presión estática.

Caso	Velocidad básica del viento (v)	presión dinámica $q_b = 0,5 \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot v^2$ ($\rho_{\text{aire}} = 1,25 \text{ kg/m}^3$)	coeficiente de exposición c_e	coeficiente eólico c_p	Presión estática $q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$	Escalón de succión (§. 5.4.1. ETAG 034)
Torre S ^a Cruz (zona C)	29 m/s = 104 km/h	0,52 kPa	3,7	-1,4	-2,69 kPa	2,80 kPa
Sede de Xunta (zona B)	27 m/s = 97 km/h	0,45 kPa	3,7	-1,4	-2,33 kPa	2,40 kPa
Viento muy fuerte. AEMET (valor mínimo)	19,7 m/s = 71 km/h	0,24 kPa	3,7	-1,4	-1,24 kPa	1,40 kPa
Viento muy fuerte. AEMET (valor central)	26,6 m/s = 96 km/h	0,44 kPa	3,7	-1,4	-2,27 kPa	2,40 kPa
Viento muy fuerte. AEMET (valor máximo)	33,3 m/s = 120 km/h	0,69 kPa	3,7	-1,4	-3,57 kPa	3,60 kPa
Límite teórico del equipo de ensayo (4 kPa)	35 m/s = 126 km/h	0,76 kPa	3,7	-1,4	-3,93 kPa	4,00 kPa

Figura 5. Deformaciones teórica y experimentales (instantánea acumulada) en centro de paño.

Las propiedades de esta placa «sólida equivalente» pueden calcularse considerando el Teorema de Steiner, igualando rigideces y expresando dicha igualdad en función de t y teq , siendo t el espesor del PCA y teq el espesor de la placa sólida equivalente y E_f el módulo de Young del aluminio, resulta:

$$E_f \left[(b \cdot t^3 / 12) + (b \cdot t^3 / 12) + (2 \cdot b \cdot t \cdot (t/2 - t_f/2)^2) \right] = E_f \cdot [(b \cdot teq^3) / 12] \quad [3]$$

Despejando teq , y considerando que $t_f = 0,5$ mm, y $t = 4$ mm, se obtiene: $teq = [12 \cdot (t^2 - t) / 4 + 0,0813]^{1/3} = [12 (16 - 4/4) + 0,0813]^{1/3} = 3,33$ mm

3.6.2. Cálculo de cargas para alcanzar tensiones y deformaciones máximas admisibles

El caso de la bandeja tipo prevista para el ensayo de succión se modela considerando su cara vista como dos placas planas rectangulares de dimensiones $a = 910$ mm, $b = 665$ mm y $teq = 3,33$ mm, apoyada en tres de sus cuatro lados perimetrales, y empotrada en un lado corto b , por la presencia del rigidizador central distanciado 910 mm de las pestañas verticales. Se obtendrían la tensión máxima y la flecha máxima en el centro de la placa de acuerdo con las ecuaciones [4] y [5], tomadas de Roark (19), considerando la carga como uniformemente repartida. Siendo la proporción $a/b = 1,37$, donde a es el lado mayor y b el lado menor, se obtienen los valores de los factores de forma $\alpha = 0,067$ y $\beta = 0,66$, interpolando respectivamente de los valores para $a/b = 1$ ($\alpha = 0,030$ y $\beta = 0,50$) y para $a/b = 1,5$ ($\alpha = 0,071$ y $\beta = 0,0067$).

Tensión máxima (en el centro de la placa):

$$\sigma_{adm} = (\beta \cdot q \cdot b^2 / teq^2) \leq \sigma_{adm} = 51 \text{ MPa} \quad [4]$$

Flecha máxima (en el centro de la placa):

$$\gamma = (\alpha \cdot q \cdot b^4 / E teq^3) \leq \gamma_{adm} = L/30 \text{ (mm)} \quad [5]$$

Donde:

q es la presión estática negativa (succión)

β y α son factores de forma, que dependen de a y b .

Siendo conocidas las dimensiones de la placa a y b , y su espesor equivalente $teq = 3,3$ mm se calcula el valor de succión en kPa « q » capaz de provocar un esfuerzo de tensión máxima

admisibles de $\sigma_{adm} = 51$ MPa, despejando « q » de la ecuación [4] obtenemos:

$q = [(\sigma_{adm} \cdot teq^2) / (\beta \cdot b^2)]$; resulta introduciendo datos = 1,93 kPa ($\approx 2,0$ kPa) que sería el escalón de succión de ensayo en el que se alcanza la tensión máx. admisible a tracción de láminas de aluminio.

Y si se calcula, despejando de la ecuación [5], obtenemos el valor de succión para el que se alcanzaría la deformación máxima admisible $L/30 = 30,33$ mm, siendo $L = 910$ mm.

$q = [(\alpha \cdot E \cdot teq^3) / (\beta \cdot b^2)]$; resulta introduciendo datos = 3,98 kPa ($\approx 4,0$ kPa), que sería el valor de succión que alcanza la deformación máx. admisible en el centro de las bandejas.

4. RESULTADOS

En la Tabla 2 se muestran en las primeras columnas, los valores teóricos calculados de acuerdo con las indicaciones del apartado anterior (tensión de tracción de las chapas de aluminio, deformación en centro del paño de las bandejas) obtenidos para cada escalón de succión. A continuación se presentan, los valores de deformaciones o flechas acumuladas, instantáneas y diferidas, registrados por los medidores de deformación en las ubicaciones indicadas en la Figura 2.

Así, y para cada una de las bandejas ensayadas, los mayores valores de deformación registrados se corresponden con donde la flexión del elemento de aplacado debía ser mayor (centros de paños de bandejas rigidizadas). Después, los valores de deformación obtenidos en centros de borde horizontal inferior, y finalmente en los mínimos son aquellos registros en centros de bordes verticales.

La deformación obtenida experimentalmente es acumulada; es decir, es la resultante de sumar la deformación del aplacado, la de sus piezas de cuelgue incluyendo la de su protector de goma de 1,5 mm de espesor, y la deformación de la subestructura. Por ello, es mayor que la calculada por medios analíticos, tal y como muestra la Figura 6. Por otra parte se presentan sombreados en gris aquellos escalones de succión de viento más significativos de acuerdo con el trabajo de campo, el análisis de la peligrosidad del viento, el estudio normativo y los cálculos de cargas.

Tabla 2. Valores de cálculo y experimentales registrados en el ensayo de succión.

Carga de succión (kPa)	σ Tensión tracción en láminas de aluminio (MPa)	γ Flecha teórica centro de paño instantánea (mm)	Bandeja 6 (PE)		Bandeja 7 (FR)			Bandeja 8 (FR)		
			Flecha máx. acumulada en d_1 ó d_3 [centro paño] instantánea (diferida)	Flecha d_7 acumulada instantánea (diferida)	Flecha máx. acumulada en d_2 ó d_4 [centro paño] instantánea (diferida)	Flecha d_9 acumulada instantánea (diferida)	Flecha d_8 acumulada instantánea (diferida)	Flecha máx. d_3 ó d_6 [centro paño] instantánea (diferida)	Flecha d_{11} acumulada instantánea (diferida)	Flecha d_{10} acumulada instantánea (diferida)
0,3	7,9	1,52	4,14	2,67	4,13	2,4	1,49	3,78	3,14	1,76
			(0,18)	(0,14)	(0,13)	(0,05)	(0,03)	(0,04)	(0,05)	(0,02)
0,5	13,18	2,53	5,50	4,57	5,45	4,46	2,55	5,36	4,03	3,14
			(0,24)	(0,19)	(0,16)	(0,07)	(0,05)	(0,14)	(0,15)	(0,02)
1,0	26,31	5,07	6,90	5,55	6,83	5,48	3,12	6,62	4,84	3,9
			(0,38)	(0,33)	(0,26)	(0,19)	(0,13)	(0,18)	(0,22)	(0,04)
1,2	31,62	6,08	7,95	6,67	7,84	6,57	3,71	7,87	5,70	4,75
			(0,51)	(0,44)	(0,32)	(0,24)	(0,21)	(0,33)	(0,31)	(0,19)
1,4	36,89	7,10	9,12	7,71	9,08	7,59	4,30	9,07	6,63	5,43
			(0,66)	(0,59)	(0,46)	(0,46)	(0,35)	(0,51)	(0,44)	(0,35)
1,6	42,16	8,11	10,44	8,72	10,57	8,75	5,02	10,23	7,41	6,32
			(0,91)	(0,74)	(0,92)	(0,64)	(0,54)	(0,64)	(0,59)	(0,59)
1,8	47,43	9,12	11,61	9,72	11,89	9,75	5,60	11,29	8,35	7,10
			(1,18)	(0,92)	(1,29)	(0,98)	(0,48)	(0,87)	(0,75)	(0,72)
2,0	52,7	10,14	13,16	11,03	13,65	11,18	6,51	12,36	9,20	7,97
			(1,56)	(1,25)	(1,83)	(1,09)	(1,06)	(1,03)	(0,92)	(0,94)
2,2	57,97	11,15	14,47	12,58	15,02	12,29	7,41	13,42	8,63	7,99
			(2,05)	(1,77)	(2,36)	(1,13)	(1,41)	(0,72)	(0,98)	(1,19)
2,4	63,25	12,17	15,77	14,29	16,27	13,95	8,26	14,46	10,97	9,52
			(2,35)	(2,08)	(2,54)	(1,41)	(1,64)	(1,54)	(1,43)	(1,41)
2,6	68,51	13,18	17,56	16,02	17,91	15,42	9,05	15,61	12,46	10,70
			(2,75)	(2,90)	(2,92)	(2,03)	(2,02)	(2,02)	(1,91)	(2,13)
2,8	73,78	14,19	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	16,64	13,46	11,49
								(2,25)	(2,35)	(2,46)
3,0	79,05	15,21	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	17,58	14,91	12,36
								(2,62)	(2,91)	(2,90)
3,2	84,32	16,22	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	18,55	16,31	13,16
								(2,88)	(3,71)	(3,26)
3,4	89,59	17,23	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	19,59	18,11	13,99
								(3,18)	(4,95)	(3,71)
3,6		94,86	Finalización del test por alcanzarse máxima potencia del dispositivo de ensayo.							

El acrónimo «N.R.» significa «no registrado», es decir que no se midieron deformaciones por la retirada de medidores de deformación LVDT. Tras superar los valores de succión 2,0 kPa (el que suponía alcanzar la tensión máxima admisible a tracción de las láminas de aluminio) y 2,4 kPa (el considerado como límite para no considerar fuerza mayor) se procedió por precaución a retirar los medidores de deformaciones de las bandejas 6 y 7, manteniéndose en la bandeja 8.

En relación con los posibles fallos que se consideran en la Guía DITE 034 se precisa que, no se produjeron ni rotura de elementos de aplacado, ni fallos de fijación, ni desprendimientos de componentes de la subestructura pero sí se sobre-

pasó la deformación permanente significativa de 3 mm para un valor de succión de 3,2 kPa en la bandeja 8. Finalmente, se reseña que el ensayo no pudo llegar hasta el límite teórico del equipo (4 kPa) y se detuvo en el escalón de succión de 3,6 kPa, debido a que se alcanzó su máxima potencia.

5. CONCLUSIONES

En el ámbito de la evaluación técnica preliminar sobre la idoneidad de empleo de estos sistemas, la resistencia frente a la succión del viento es un parámetro crítico y debe ser una de las características a determinar en primer lugar para evaluar su contribución a la seguridad de utilización del edificio.

Figura 6. Deformaciones teórica y experimentales (instantánea acumulada) en centro de paño.

No se apreciaron diferencias significativas en el comportamiento de las bandejas en función de su material del núcleo ni de las configuraciones propuestas para las entalladuras (es decir aquellas de 40 mm de profundidad y 10,5 de lengüeta con refuerzo a base de pletina remachada frente a aquellas de 45 mm de profundidad y 15 mm de lengüeta sin refuerzo). Cualquier otra configuración diferente a la ensayada debe ser objeto de un estudio específico previo al ensayo de resistencia a la succión del viento.

Como valor umbral para una evaluación técnica favorable, se estima que en España, siempre que hayan sido adecuadamente diseñados, instalados y mantenidos, estos sistemas deben resistir una succión de viento de al menos 2,4 kPa sin que se produzcan los fallos de rotura descritos en la Guía DITE 034, esto es, ni rotura de elementos de aplacado, ni fallos de fijación, ni desprendimientos de componentes de la subestructura.

Asimismo, para una evaluación técnica favorable deben limitarse las deformaciones permanentes y residuales, del aplacado y no sólo en el centro de la cara vista de la bandeja. También se tendrá en cuenta el centro de la pestaña horizontal inferior.

En este último caso, puede alcanzarse valores de deformación residual superiores a los del centro de la cara vista si las lengüetas de las entalladuras inferiores de la bandeja se deformaran más, es decir, se abrieran más, que las de las entalladuras superiores. Esto supondría un cambio de modelo mecánico de comportamiento de la cara vista. Así para una bandeja sin rigidizadores adheridos, en vez de una placa apoyada en su perímetro, habría que considerar el modelo de placa apoyada en tres lados y uno, el horizontal inferior, como libre o en voladizo.

El criterio establecido en el Estado del Arte de limitar la deformación instantánea a $L/30$, siendo L la distancia entre pestañas verticales o entre pestaña y rigidizador vertical adherido se cumple sobradamente si las láminas de aluminio presentan límites elásticos $R_{p0,2}$ por encima del valor mínimo establecido en la correspondiente norma.

El criterio establecido en el Estado del Arte de limitar la deformación residual o permanente y significativa a un máximo de 3 mm, por su apreciación visual, debe sustituirse por otro criterio definido, al igual que para las deformaciones instantáneas, en función de la distancia L indicada anteriormente. Para una estimación preliminar puede considerarse un valor de $L/300$.

Como futuras líneas de investigación se propone la incorporación del cálculo por el método de elementos finitos a la evaluación técnica preliminar de la resistencia frente a la succión de este tipo de sistemas, partiendo de un proceso previo de comparación entre simulaciones por ordenador y resultados experimentales de laboratorio, en particular de los efectos de las rachas de viento.

REFERENCIAS

- (1) Blázquez Morales, Antonio (2014). Tesis doctoral: «Metodología para la evaluación de productos innovadores de construcción (Preassessment/Preevaluación Dit)». Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- (2) Blachère, Gerard (1978). «Saber construir». Editores Técnicos asociados. ISBN:84-7146-032-7.
- (3) Manual de Producto. Fachadas Ligeras. ASEFAVE. Asociación Española de Fabricantes de Fachadas Ligeras y Ventanas S.L. Ed. Tecnopress Ediciones. ISBN-10: 8493902314.
- (4) Documento de Idoneidad Técnica DIT 405R/08. Sistemas de revestimiento de fachadas ventiladas mediante bandejas o placas procedentes de paneles compuestos de aluminio. Ed 2008. Instituto de Ciencias de Construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC). Autor: Lahoz, E.
- (5) Documento de Idoneidad Técnica DIT 553A/12. Sistemas de revestimiento de fachadas ventiladas mediante bandejas o placas procedentes de paneles compuestos de aluminio. Ed.2012. Instituto de Ciencias de Construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC). Autor: Lahoz, E.
- (6) AENOR.2000. UNE 41957:2000 Anclajes para revestimientos de fachadas de edificios. Parte 1: Subsistemas para revestimientos ligero. Asociación Española de Normalización (AENOR).
- (7) Francisco Martín León et al. AEMET. Estudio de la tormenta tropical Delta. http://www.aemet.es/es/conocermas/estudios/detalles/Estudio_de_la_tormenta_tropical_Delta.
- (8) AEMET. http://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/vigilancia_clima/resumenes_climat/ccaa/galicia/avance_climat_gal_feb_2014.pdf.
- (9) Capítulo II. Definición de las variables meteorológicas. Apdo. F. *Manual de uso de términos meteorológicos*. (31-33). Ed. Enero 2015. Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado. Depósito Legal: M-32801-2014.
- (10) Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. AEMET. Plan nacional de predicción y vigilancia de fenómenos meteorológicos adversos meteoalerta. Ed. Versión: 5 Fecha: 9-7-2013. <http://www.lamoncloa.gob.es/espana/eh15/medioambiente/Documents/Fenomenos%20meteorologicos.pdf>.

- (11) Ministerio de Economía. Real Decreto 300/2004, de 20 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento del seguro de riesgos extraordinarios. *Boletín Oficial del Estado*, 47.
- (12) Ministerio de Economía y Hacienda. Real Decreto 1386/2011, de 14 de octubre, por el que se modifica el Reglamento del seguro de riesgos extraordinarios. *Boletín Oficial del Estado*, 259.
- (13) Tomás, A., Morales, M. (julio-septiembre 2012). Revisión y estudio comparativo de la acción del viento sobre las estructuras empleando Eurocódigo y Código Técnico de la Edificación. *Informes de la Construcción*, 64:(527, 381-390). ISSN: 0020-0883
- (14) AENOR (2007-2010) *UNE EN 1991-1-4:2007 + UNE EN 1991-1-4/AC: 2010 + UNE EN 1991-1-4/A1: 2010. Eurocódigo 1. Acciones en estructuras. Parte 1-4. Acciones generales. La acción del viento*. Asociación Española de Normalización (AENOR).
- (15) Aerodinámica civil y energía eólica, Anexo B: Cargas en cubiertas debidas a torbellinos cónicos. Pindado, Franchini & Meseguer. IDR-UPM (2007).
- (16) Allen, H.G. *Analysis and design of structural sandwich panels*. Pergamon Press Oxford, 1969.
- (17) Plantema, F.J. (1966). *Sandwich Construction*, John Winley & Sons.
- (18) Zenkert, D. *An introduction to Sandwich Construction*. Engineering Materials Advisory Services LTD. ISBN 094781778.
- (19) Young, W. C., Budynas, R. G. (2002). Chapter 11. Flat Plates. *Roark's Formulas for Stress and Strain*, pp. 508 y 522. 7th ed. McGraw-Hill: ISBN: 0-07-072542-X.

* * *

PARTE 5.2 CONTRIBUCIONES A LA EVALUACIÓN DE LA INNOVACIÓN

- 5.2.1. EOTA Technical Report : Assessment procedure for durability of thin metallic composite panels. TR 38. Ed. August 2012. European Organization for Technical Approvals: El Informe Técnico TR 038 es un documento adoptado por el Consejo Técnico de la EOTA para definir detalles la evaluación de la durabilidad, expresando el común acuerdo de los Organismos encargados de la evaluación sobre el conocimiento y experiencia en el uso de dichos productos. Son documentos de referencia complementarios a las ETAG, DEE y ETE y sirven de apoyo para la elaboración de los mismos.
- 5.2.2. DIT 353-R (2008): Sistema de revestimiento de fachadas Mecanofas Karrat S-7®: Es un Documento de Idoneidad Técnica en el que se evaluó favorablemente la idoneidad de empleo del sistema de revestimiento Mecanofas Karrat S-7 resultante de un proceso industrial en el que se incorpora a las placas ranurados por su trasdós de piedra natural (granito y mármol) o gres porcelánico un perfil de aluminio adherido, que se utiliza para la sustentación de éste a una subestructura de aluminio.
- 5.2.3. DIT 405-R (2008): Sistema de revestimiento de fachadas ventiladas mediante bandejas procedentes de paneles LARSON® PE, FR y Metals FR: Es un Documento de Idoneidad Técnica en el que se evaluó favorablemente la idoneidad de empleo del sistema de revestimiento de fachadas ventiladas a base de elementos conformados con bandejas con y sin perfiles adheridos, a partir de paneles LARSON® PE, FR y Metals FR, paneles composite de aluminio, acero inoxidable, cobre y zinc.
- 5.2.4 DIT 553A/12 (2012): Sistema de revestimiento de fachadas ventiladas mediante bandejas o placas procedentes de paneles compuestos de aluminio stacbond y stacbond FR. Anula y sustituye al Documento DIT 553 (2010): Es un Documento de Idoneidad Técnica en el que se evaluó favorablemente la idoneidad de empleo del sistema de revestimiento de fachadas ventiladas a base de elementos conformados con placas y bandejas con y sin perfiles adheridos a partir de paneles composite de aluminio stacbond y stacbond FR.

- 5.2.1. EOTA Technical Report : Assessment procedure for durability of thin metallic composite panels. TR 38. Ed. August 2012. European Organization for Technical Approvals: El Informe Técnico TR 038 es un documento adoptado por el Consejo Técnico de la EOTA para definir detalles la evaluación de la durabilidad, expresando el común acuerdo de los Organismos encargados de la evaluación sobre el conocimiento y experiencia en el uso de dichos productos. Son documentos de referencia complementarios a las ETAG, DEE y ETE y sirven de apoyo para la elaboración de los mismos.**

TECHNICAL REPORT

**Assessment procedure
for durability of thin
metallic composite panels**

TR 38
Edition August 2012

FOREWORD

1 SCOPE

2 ACRONYMS AND SYMBOLS

3 PRINCIPLES

4 DECAY OF CHARACTERISTICS

- 4.1 Delamination resistance by peeling test
- 4.2 Flexural resistance by FPB test
- 4.3 Flexural stiffness by FPB test
- 4.4 Resistance of routed and returned edge to flexural - pulsating loads
- 4.5 Resistance of slot and its fixing device to pull out - pulsating loads
- 4.6 Corrosion protection
- 4.7 Retention of colour and gloss of coil coated aluminium sheets

5 COMMON AGEING EXPOSURES

- 5.1 Hygrothermal cycles
- 5.2 Immersion 6 h. in boiling water at 90° C
- 5.3 Immersion 500 h. in water at 20° C
- 5.4 Freeze-thaw cycles
- 5.5 Long term exposure to heat (2500 h. at hot dry air 80° C)

ANNEX I EXAMPLE OF SAMPLING

ANNEX II TERMINOLOGY

ANNEX III SYNOPSIS

ANNEX IV GENERAL TEST RESULTS STATISTICAL INTERPRETATION

ANNEX V REFERENCE DOCUMENTS

FOREWORD

EOTA Technical Reports (hereafter TR) are developed as supporting reference documents to European Technical Approval Guidelines (hereafter ETAG) and can also be applicable to Common Understanding of Assessment Procedures (hereafter CUAP), EOTA Comprehension Documents or European Technical Approvals (hereafter ETA), as far as reference is made therein.

TR goes into detail in some aspects and expresses the common understanding of existing knowledge and experience of the EOTA Bodies at a particular point in time. Where knowledge and experience is developing, especially through approval work, TR can be amended and supplemented. When this happens, the effect of the changes upon the ETAG will be laid down in the relevant comprehension documents, unless the ETAG is revised.

This TR has been prepared by IETcc and endorsed by EOTA.

1 SCOPE

This EOTA Technical Report n. 038 edition August 2012 is used as substituting Document of the chapters related to durability assessment of thin metallic composite panels (hereafter TMCP) contained in an ETAG. This TR specifies the provisions, tests methods and requirements for assessing the durability of these panels in order to determine the effect of adequate exposures on various characteristics by specific and/or comparative testing.

Thin metallic composite panels covered by this TR are those able to be machined or joined (e.g. screwed, drilled, routed, bent, etcetera), with total thickness between 3 and 8 mm, composed by:

- Faced skins made of:
 - Aluminium alloy sheets according to EN 485-2:2008 and EN 485-4:1993 ⁽¹⁾, surface treated (coil coated according to EN 1396:2007 ⁽²⁾, anodized according to EN ISO 7599:2010 ⁽³⁾) or not, with nominal thickness of external/internal sheet ≥ 0.5 mm [$\pm 8\%$].
 - Stainless steel sheets according to EN 10088-1:2005 and EN 10088-2:2005 ⁽⁴⁾ with nominal symmetric thicknesses of sheet from 0.20 up to 0.40 mm [$\pm 5\%$].
- Core made mainly of low density polyethylene and/or made of mineral compounds, fulfilling its previously characterized fingerprint (e.g. by TGA, infrared analysis) at initial type testing.
- Adhesive layer for bonding faced skins and core through a continuous industrial process.

The assessment of durability of other fully / partially bonded cladding kits / panels is not covered by this TR.

2 ACRONYMS AND SYMBOLS

Table 1

Acronym or symbol	Concept, characteristic or procedure	Units	Remarks
CK	Cladding kit	--	--
ETA	European Technical Approval	--	--
ETAG	European Technical Approval Guideline	--	--
FPB	Four points bending test	--	--
LDPE	Low density polyethylene	--	--
NPD	No performance determined	--	--
PVDF	Polyvinylidene Fluoride	--	--
RB	Riveted boards	--	--
SC	Suspended cassettes	--	--
TGA	Thermogravimetric analysis	--	--
TMCP	Thin metallic composite panels	--	--
TPB	Three points bending test	--	--
TR	EOTA Technical Report	--	--
UV	Ultraviolet radiation (type A or B)	--	--
d_m	Deflection in the middle of span	mm	--
$d_{80\text{ ME}}$	Deflection at 80° C mean value	mm	FPB 1 h. at 80° C
$d_{20\text{ ME}}$	Deflection at 20° C mean value	mm	FPB 1 h. at 20° C
ΔE_{AGED}	Colour difference aged value	ΔE	EN 13523-3
ΔE_{INI}	Colour difference initial value	ΔE	
$F_{\text{AGED } u,5}$	Load characteristic aged value	N	Annex IV of this TR
$F_{\text{INI } u,5}$	Load characteristic initial value	N	
Gloss _{AGED}	Specular gloss aged value	%	EN 13523-2
Gloss _{INI}	Specular gloss initial value	%	
RH	Relative Humidity	%	--
T_{AGED}	Torque peel average* aged value	N.mm/mm	ASTM D 1781-98
T_{INI}	Torque peel average* initial value	N.mm /mm	

* Remark: The term “average”, instead of “mean”, has been maintained as it is described at ASTM D 1781-98

3 PRINCIPLES

3.1 Working life category

The evaluation of durability has been considered mainly as decay of performance characteristics after ageing exposures ⁽⁵⁾. According to EOTA Guidance Document 002 ⁽⁶⁾ the panel and/or kit based on these panels can be considered as “repairable or replaceable with some more efforts”. For this reason the provisions, test and assessment methods described or referred to in this TR, have been written based upon the **assumed intended working life of at least 25 years** provided that panel and/or kit are subjected to appropriate use and maintenance. These provisions, tests and assessment methods are based upon the current state of art and available experience.

3.2 General stipulations for sampling

Sampling for tests shall be representative enough of panel and/or kit foreseen to be delivered to the market. For this purpose, the manufacturer shall carry out and adequate factory production control including registration of obtained data. For each test, the set of specimens shall be sampled from the same batch at least 24 h after its manufacture. For panels which are produced in more than one thickness, the tests shall be conducted as minimum on samples of maximum and minimum thickness. For initial state, specimens shall be conditioned before tests for 24 hours under laboratory conditions, considered in this TR as a temperature of 23 (± 2) °C and RH of 50 (± 5) % in accordance with ISO 554 ⁽⁷⁾. An example of sampling is specified in Annex I.

3.3 Durability reference framework

The general assessment of fitness for use in relation to Essential Requirements has been drafted at the corresponding ETAG.

Table 2

Durability aspect	Characteristic (C) (expression)	Exposure (E)	TR paragraph	Acceptance	Allowed NPD
Thermal	Decay of delamination resistance (Torque peel average value T)	Hygrothermal cycles test	(C): § 4.1 (E): § 5.1	<ul style="list-style-type: none"> No cracks or breakage of metallic sheet and $T_{AGED} > 0,75 T_{INI}$ and All individual aged values shall be within $\pm 15\%$ of T_{AGED} 	NO
	Decay of flexural resistance * (Maximum load characteristic value $F_{u,5}$)		(C): § 4.2 (E): § 5.1	<ul style="list-style-type: none"> No cracks, breakage or delamination and $F_{AGED u,5} > 0,75 F_{INI u,5}$ 	NO
Water	Decay of delamination resistance (Torque peel average value T)	Immersion 6 h. in boiling water at 90° C	(C): § 4.1 (E): § 5.2	<ul style="list-style-type: none"> No cracks or breakage of metallic sheet and $T_{AGED} > 0,75 T_{INI}$ and All individual aged values shall be within $\pm 15\%$ of T_{AGED} 	NO
	Decay of flexural resistance * (Maximum load characteristic value $F_{u,5}$)		(C): § 4.2 (E): § 5.2	<ul style="list-style-type: none"> No cracks, breakage or delamination and $F_{AGED u,5} > 0,75 F_{INI u,5}$ 	NO
	Decay of delamination resistance (Torque peel average value T)	Immersion in water 500 h. at 20° C	(C): § 4.1 (E): § 5.3	<ul style="list-style-type: none"> No cracks or breakage of metallic sheet and $T_{AGED} > 0,75 T_{INI}$ and All individual aged values shall be within $\pm 15\%$ of T_{AGED} 	NO
	Decay of flexural resistance * (Maximum load characteristic value $F_{u,5}$)		(C): § 4.2 (E): § 5.3	<ul style="list-style-type: none"> No cracks, breakage or delamination and $F_{AGED u,5} > 0,75 F_{INI u,5}$ 	NO
Frost	Decay of delamination resistance (Torque peel average value T)	Freeze-thaw cycles	(C): § 4.1 (E): § 5.4	<ul style="list-style-type: none"> No cracks or breakage of metallic sheet and $T_{AGED} > 0,75 T_{INI}$ and All individual aged values shall be within $\pm 15\%$ of T_{AGED} 	NO
	Decay of flexural resistance * (Maximum load characteristic value $F_{u,5}$)		(C): § 4.2 (E): § 5.4	<ul style="list-style-type: none"> No cracks, breakage or delamination and $F_{AGED u,5} > 0,75 F_{INI u,5}$ 	NO
Heat	Decay of delamination resistance (Torque peel average value T)	Long term exposure to heat (2.500 h. at hot dry air 80° C)	(C): § 4.1 (E): § 5.5	<ul style="list-style-type: none"> No cracks or breakage of metallic sheet and $T_{AGED} > 0,75 T_{INI}$ and All individual aged values shall be within $\pm 15\%$ of T_{AGED} 	NO
	Decay of flexural resistance * (Maximum load characteristic value $F_{u,5}$)		(C): § 4.2 (E): § 5.5	<ul style="list-style-type: none"> No cracks, breakage or delamination and $F_{AGED u,5} > 0,75 F_{INI u,5}$ 	NO
	Decay of flexural stiffness (Maximum increment of deflection mean value d_{ME})	Short term exposure 1 h. +80° C	(C): § 4.3 (E): § 4.3	<ul style="list-style-type: none"> No cracks, breakage or delamination and $d_{80 ME} \leq 1,25 d_{20 ME}$ 	NO
Fatigue (only SC)	Decay of resistance of routed and returned edge (Maximum load characteristic value $F_{u,5}$)	TPB test Flexural pulsating loads	(C): § 4.4 (E): § 4.4	<ul style="list-style-type: none"> No cracks, breakage or delamination and $F_{AGED u,5} > 0,75 F_{INI u,5}$ 	NO
	Decay of resistance of slot and its fixing device (Maximum load characteristic value $F_{u,5}$)	Pull out pulsating loads	(C): § 4.5 (E): § 4.5	<ul style="list-style-type: none"> No cracks, breakage or delamination and $F_{AGED u,5} > 0,75 F_{INI u,5}$ 	NO
Corrosion	Infiltration (Length) (coil coated aluminium sheets)	Salt spray (fog) (Accelerated test)	(C): § 4.6.1 (E): § 4.6.1	According to declared index of corrosion resistance from Table C.4 of EN 1396	NO
	Degree of blistering (coil coated aluminium sheets) (Quantity and size of blisters)	Humidity. (Continuous condensation) Accelerated test	(C): § 4.6.2 (E): § 4.6.2	<ul style="list-style-type: none"> No blistering after 500 h. and $\leq B2(S2)$ after 1.000 h (According to Table C.4 of EN 1396) 	NO
Others	Retention of colour (ΔE) and gloss (%) (only coil coated aluminium sheets)	Humidity. (Continuous condensation) Accelerated test	(C): § 4.7 (E): § 4.7	<ul style="list-style-type: none"> $\Delta E_{AGED} \leq 5$ and Gloss $AGED \geq 0,8$ Gloss INI 	YES
		UV-and water condensation			
		Accelerated ageing by heat			

* Remark: Required only for TMCP with core made of post-consumption LDPE, with or without mineral compounds

4 DECAY OF CHARACTERISTICS

4.1 Delamination resistance by peeling test

Peeling tests shall be carried out following procedure described below. Delamination resistance is a fundamental parameter for the assessment of deterioration of panels in comparative terms, and the results are not intended to be used for calculus.

4.1.1 Preparation and conditioning of specimens

Couples of specimens shall be taken from left, central and right side of panels cut in perpendicular sense of lamination ^[a]. For each panel thickness considered a set of 6 specimens per initial state and 6 per each ageing exposure considered shall be prepared. 3 specimens of each set shall be subjected to top metallic sheet - core peeling test and other 3 to bottom metallic sheet – core peeling tests. Specimens shall be length x width = 305 mm x 76 mm. An example of sampling is shown in Annex I.

4.1.2 Testing procedure

4.1.2.1 Delamination resistance by peeling test

Peeling test shall be carried out according to ASTM D 1781-98 ⁽⁸⁾. The test shall be carried out in laboratory conditions at initial state and after the required exposures.

4.1.2.2 Exposures

The following and non consecutive exposures shall be carried out:

- Hygrothermal cycles.
- Immersion for 6 h. in boiling water at 90° C.
- Immersion for 500 h. in water at 20° C.
- Freeze-thaw cycles.
- Long term exposure to heat (2.500 h. at hot dry air 80° C).

Following any of these ageing exposures as specified at § 5 of this TR, specimens shall be tested according to the required procedure.

4.1.3 Expression of results

The report shall contain the following data:

- Description of specimens: Batch and date of manufacture, type of panel, thickness of panel, thickness of sheet, location on panel side (left, central or right) and metal sheet – core position (top or bottom).
- Initial individual and average values of torque peel strength, (T_{INI}) expressed in N.m/m.
- Aged individual and average values (T_{AGED}), expressed in N.m/m and whether acceptance criteria are fulfilled. In particular, no cracks or breakage on metallic sheet shall occur during peeling test due to unacceptable tensile strength.
- Description of any signs of degradation after visual inspection on each specimen after exposure and after testing.

[a] If required, at least other 6 specimens from left, central and right side of panels cut in the sense of lamination (perpendicular to panel width) shall be tested at initial conditions in order to verify there is no influence of the lamination manufacturing process.

4.2 Flexural resistance by FPB test

4.2.1 Preparation and conditioning of specimens

A set of 36 specimens samples (length x width: 1000 x 100 [$\pm 0,5$] mm) per panel thickness (6 per initial conditions and 6 per each exposure) shall be prepared.

4.2.2 Testing procedure

4.2.2.1 Flexural resistance by four points bending test

Four points bending (FPB) tests shall be carried out. For this purpose a universal testing device class 0.5, a deflection measurement device type LVDT and four steel cylinders diameter 35 mm helped supported by thin strips in order to avoid damages on metallic sheets shall be used, according to the Figure 1. Specimens shall be placed with its front sheet facing downwards and its rear sheet facing upwards. The test shall be carried out in laboratory conditions.

Figure 1. Scheme of FPB test (dimensions in mm)

Load F shall be applied at uniform speed of 5 mm/min, and deflection d_m has to be measured on the middle of span. Test is stopped when maximum deflection or breakage is reached, and its F value is registered.

4.2.2.2 Exposures

The following and non consecutive exposures shall be carried out:

- Hygrothermal cycles.
- Immersion 6 h. in boiling water at 90° C.
- Immersion 500 h. in water 20° C.
- Freeze-thaw cycles.
- Long term exposure to heat (2.500 h. at hot dry air 80° C).

Following any of these ageing exposures as specified at § 5 of this TR, specimens shall be tested according to the required procedure.

4.2.3 Expression of results

The report shall content the following data:

- Description of specimens: Batch and date of manufacture, type of panel, thickness of panel and thickness of sheets.
- The initial individual, mean and characteristic ($F_{INI u,5}$) values of maximum load F (corresponding to maximum deflection or breakage) expressed in N.
- Aged individual, mean and characteristic ($F_{INI u,5}$) values of maximum load F , (corresponding to maximum deflection or breakage) expressed in N and if acceptance criteria is fulfilled.

- Description of any signs of degradation after visual inspection on each specimen after exposure and testing.

4.3 Flexural stiffness by FPB test

4.3.1 Preparation and conditioning of specimens

As minimum, a set of 12 specimens longitudinally oriented (length x width: 1000 x 100 [± 0,5] mm) per panel thickness shall be prepared (6 specimens per initial conditions and 6 specimens per final temperature).

4.3.2 Exposure/Testing procedure

Four-points bending (FPB) tests shall be carried out. For this purpose two weight units (Ø 100 mm) able to reach maximum admissible load corresponding to permissible stress in cover sheets shall be used, as well as a deflection measurement device suitable to work at 80 (± 2) °C and two steel cylinders diameter 35 mm accompanied by thin strips in order to avoid damage on metallic sheets. The visible panel surface shall be positioned facing downwards.

Figure 2. Scheme of creep resistance test (dimensions in mm)

According to Figure 2, specimens shall be placed in an adequate heat chamber. Weight units able to reach maximum permissible stress in metallic sheet declared by applicant shall be applied when test temperature is reached and deflection d_m shall be measured at initial conditions (20 (± 2) °C) and at 80 (± 2) °C, after 1 hour submitted to these respective expositions.

4.3.3 Expression of results

The report shall content the following data:

- Description of specimens: Batch and date of manufacture, type of panel, thickness of panel and thickness of sheets.
- Individual and mean deflection values (expressed in mm) corresponding to initial conditions after 1 hour at 20 (± 2) °C ($d_{20 ME}$) and after 1 hour at 80 (± 2) °C ($d_{80 ME}$) respectively and whether acceptance criteria as described in Table 2 are fulfilled. In particular, no cracks, delamination or breakage shall occur during test.
- Description of any signs of degradation after visual inspection on each specimen after exposure and after testing.

4.4 Resistance of routed and returned edge to flexural - pulsating loads

4.4.1 Preparation and conditioning of specimens

A set of 12 specimens per panel thickness, (6 per initial conditions and 6 per pulsating loads) with routed and returned edges on its short sides, and dimensions as defined in Figure 3 shall be prepared. Specimens edges shall be riveted to testing rigid profiles (which can be also component of the kit) fixed to testing frame. Dimensions “a” and “b” of the routed and returned edge shall correspond to manufacturer’s declared values.

Figure 3. Scheme of test (dimensions in mm)

4.4.2 Testing procedure

4.4.2.1 Flexural strength by three point bending test (TPB)

Three-points bending tests shall be carried out under normal laboratory conditions. For this purpose a universal testing device class 0.5, a deflection measurement device type LVDT and an adequate clamping device shall be used, according to the Figure 3. Specimens shall be placed with their external side facing upwards.

Load shall be applied under normal laboratory conditions at a speed rate of 5 mm/min on the middle of span, until maximum initial load (F_{INI}) corresponding to maximum deflection or breakage of routed and returned edge occurs.

4.4.2.2 Exposure

Resistance to flexural - pulsating loads shall be tested by TPB under normal laboratory conditions. For this purpose, specimens shall be clamped at the middle of the span by adequate testing device able to transmit pulsating loads. Specimens shall be exposed to 10.000 load cycles at a frequency of 0,02 to 0,06 Hz. The maximum and the minimum pulsating loads (in N) shall be chosen accordingly. The following loads can be considered as appropriate:

- Maximum pulsating load $F_{max} = 50 \% F_{INI u,5}$.
- Minimum pulsating load $F_{min} = 20 \% F_{INI u,5}$.

Where $F_{INI u,5}$ is the characteristic value determined according to Annex IV calculated from individual values obtained according to § 4.4.2.1. During each cycle the load shall vary like a sine curve between F_{max} and F_{min} . The edges shall be examined for cracks during the first loading up to max N and after 1, 10, 100, and 10.000 load cycles.

After the completion of load cycles, the specimen shall be unloaded, the displacement shall be measured and a final TPB test shall be carried out according to § 4.4.2.1 until maximum load (F_{AGED}) corresponding to maximum deflection or breakage of routed and returned edge occurs.

4.4.3 Expression of results

The report shall content the following data:

- Description of specimens: Batch and date of manufacture, type of panel, thickness of panel and thickness of sheets, and dimensions “a” and “b” (see Figure 3).
- Individual, mean and characteristic values ($F_{INI u,5}$), expressed in N, at initial state and after cycles ($F_{AGED u,5}$) and whether acceptance criteria as described in Table 2 are fulfilled. In particular, no cracks, delamination or breakage shall occur during exposure to cycles.
- Load / displacement curves.
- Description of any signs of degradation after visual inspection on each sample after testing.

4.5 Resistance of slot and its fixing device to pull out - pulsating loads

4.5.1 Preparation and conditioning of specimens

A set of 12 specimens per panel thickness, (6 for the initial conditions and 6 for the pulsating loads) and dimensions defined at Figure 4, plus their corresponding fixing devices shall be prepared. Distance “A” and dimension “B” shall correspond to manufacturer’s declared values.

Figure 4. Example of specimen

4.5.2 Testing procedure

Initial resistance of slot (to pull out loads) reinforced or not by riveted profile on its lateral side, shall be tested in normal laboratory conditions, applying a speed rate of 5 mm/min on the specimen’s fixing device until maximum initial load (F_{INI}) expressed in N, corresponding to maximum displacement or breakage is reached.

In case of doubt on dead load or anti-lift up resistances, tests in the vertical direction of the cassette may be performed.

4.5.3 Exposure

Pull out pulsating loads resistance shall be tested under normal laboratory conditions. Specimens shall be exposed to 10.000 load cycles at a frequency of 2 to 6 Hz. The maximum and the minimum pulsating loads (in N) shall be chosen accordingly. The following loads can be considered as appropriate:

- Maximum pulsating load $F_{\max} = 50 \% F_{\text{INI } u,5}$
- Minimum pulsating load $F_{\min} = 20 \% F_{\text{INI } u,5}$

Where $F_{\text{INI } u,5}$ is the characteristic value determined according to Annex IV calculated from individual values obtained according to § 4.5.2. During each cycle the load shall vary like a sine curve between $F_{\max}$ and $F_{\min}$. The displacement shall be measured during the first loading up to $F_{\max}$, and after 1, 10, 100, and 10.000 load cycles. After completion of load cycles, the specimen shall be unloaded, the displacement measured and a final pull out test shall be carried out according to § 4.5.2 until load (F_{AGED}) corresponding to maximum deflection or breakage of slot occurs.

4.5.4 Expression of results

The report shall content the following data:

- Description of specimens: Batch and date of manufacture, type of panel, thickness of panel and thickness of sheets.
- Description of any signs of degradation after visual inspection on each specimen after exposure and/or testing.
- Individual, mean and characteristic values at initial state $F_{\text{INI } u,5}$ and after cycles $F_{\text{AGED } u,5}$ (expressed in N) and whether acceptance criteria as described in Table 2 are fulfilled. In particular, no cracks, delamination or breakage shall occur during exposure to cycles.
- Load/displacement curves.

4.6 Corrosion protection

4.6.1 Resistance to salt spray (fog) according EN 13523-8 ⁽⁹⁾

4.6.1.1 Preparation and conditioning of specimens

Specimens shall be sampled from the same panel and carefully cleaned and prepared according to applicant's instructions. For sampling at least 3 flat specimens (option 1 according to § 7.2 of EN 13523-8 ⁽⁹⁾) per coating type (e.g. PVDF and thickness range) and exposure shall be prepared for test.

4.6.1.2 Testing procedure

- 500 and 1.000 h. exposed to neutral salt fog as described at standard EN 13523-8 ⁽⁹⁾.

4.6.1.3 Expression of results

- Number and description of specimens: For panels, batch, date of manufacture, type and thickness. For sheets, its thickness, alloy, temper, coating type and coating thickness.
- If acceptance criteria for corrosion infiltration as described at Table C.4 of EN 1396 ⁽²⁾ are fulfilled for both exposures (500 and 1.000 h.) according to the declared index of corrosion resistance.

4.6.2 Degree of blistering of coil coated aluminium

4.6.2.1 Preparation and conditioning of specimens

Specimens shall be sampled from the same coil and carefully cleaned and prepared according to applicant's instructions. At least 3 flat specimens (length 150 mm x width 75 mm, where length refers to lamination procedure) per coating type (e.g. PVDF - two layers) shall be prepared.

4.6.2.2 Testing procedure

The resistance to humidity of sheet shall be determined after 500 and 1.000 h exposed to continuous condensation according to EN ISO 6270-1 ⁽¹⁰⁾.

4.6.2.3 Expression of results

- Number and description of specimens: For panels, batch, date of manufacture, types and thicknesses. For sheets, its thickness, alloy, temper, coating product and coating thickness).
- Whether both acceptance criteria as described in Table 2 are fulfilled.

4.7 Retention of colour and gloss of coil coated aluminium sheets

The assessment of these characteristics shall be carried out, except if NPD option is considered, according to the following tests procedures:

- Colour: EN 13523-3:2001 ⁽¹¹⁾ only for solid colours (not for metalized or iridescent coatings).
- Gloss: EN 13523-2:2001 ⁽¹²⁾ measured at an angle of 60° for solid colours, and at angles of 25°, 45° and 75° for metalized or iridescent coatings.

At initial conditions and after all of these independent and non continuous exposures, according to the corresponding standards:

- Humidity (continuous condensation according to EN ISO 6270 – 1) ⁽¹⁰⁾.
- UV and water condensation (according to EN 13523 - 10) ⁽¹³⁾.
- Accelerated ageing by heat (according to EN 13523 – 13) ⁽¹⁴⁾.

4.7.1 Preparation and conditioning of specimens

The quantity and size of specimens shall be sampled from same coil as described below. In any case, their lengths refer to lamination direction.

- Humidity (continuous condensation): See § 4.6.2.1 of this TR.
- UV and water condensation: Three flat specimens (length x width: 150 x 75 mm) shall be sampled from the same coil per coating type (e.g. PVDF - two layers).
- Accelerated ageing by heat: Three flat specimens (length x width: 150 x 75 mm) shall be sampled from the same coil per coating type (e.g. PVDF - two layers).

Conditioning before and after exposure, if required, shall be carried according to the exposure standard.

4.7.2 Exposure and testing procedure

- Humidity (continuous condensation): See § 4.6.2.2 of this TR.
- UV and water condensation: According to EN 13512-10 ⁽¹³⁾ only UV-A or UV-B shall be used, taking into account the following inputs from Annex C of EOTA TR 010 ⁽¹⁵⁾:
 - Climate: Moderate or severe according to Table C.1 and mean annual radiant exposure by global radiation isolines map of Europe.
 - 5 years equivalent radiation dose for an assumed working life of 25 years.
 - UV Irradiance = 55 W/m².
- Accelerated ageing by heat: 72 h. exposed to 90° C.

4.7.3 Expression of results

- Type of lamps, length of exposition, as well as number and description of specimens. For panels, batch, date of manufacture, types and thicknesses. For sheets, its thickness, alloy, temper, coating product and coating thickness).
- Initial values (ΔE_{INI} and Gloss _{INI}) plus aged values (ΔE_{AGED} and Gloss _{AGED}) and if both acceptance criteria for retention of colour and gloss as described in Table 2 are fulfilled.

5 COMMON AGEING EXPOSURES

Specimens shall be conditioned in accordance with ISO 554 ⁽⁷⁾ at 23 (±2) °C and 50 (±5) % RH before the ageing exposure. After exposure, specimens shall be conditioned, if required, and tested immediately as described in the particular procedure.

5.1 Hygrothermal cycles

Considering as initial conditions 23 (±2) °C and 50 (±5) % RH, and increase in temperature and relative humidity shall be applied at a heating rate of 1,5 °C/min in order to start the hygrothermal cycle defined as follows:

- Exposure to temperature and humidity 90° C and 90% RH along 1 h.
- Decrease of temperature to -40° C along 2 ½ h.
- Exposure to temperature -40° C along 1 h.
- Increase of temperature and humidity up to +90° C and 90 % RH along 1 ½ h.

Total: 6 h. / cycle

Eight cycles shall be carried out uninterruptedly.

For panels which are produced in more than one thickness, the tests shall be conducted with samples from panels of both maximum and minimum thickness. The worst result shall apply to panels of all intermediate thicknesses.

Then, it shall be calculated if the decay of mechanical resistance fulfils the respective acceptance criteria (specified at Table 2).

5.1.1 Apparatus

- Climatic chamber with internal dimensions able to contain different sizes of specimens and carry out steps and ranges of temperatures described above.
- Shelves: To support the test specimens and enabling a uniform heating or cooling and moisture exposition with dimensions to fix the test specimens.

5.1.2 Procedure

- Introduce specimens and start cycle tests according to required conditions.
- After the end of the exposure period, specimens shall be removed from the chamber and cooled to ambient temperature ($23 \pm 2^\circ \text{C}$) at a rate of $1,5^\circ \text{C/min}$ before further testing.

5.2 Immersion 6 h. in boiling water at 90°C

In order to determine effects on core and adhesive layer of water vapour diffusion, specimens shall be fully immersed in boiling water ^[b] during 6 hours at 90°C .

5.2.1 Apparatus

- Containers of adequate volume able to storage different specimens.
- Connector: A socketed flat flanged lid used for connecting between flask and condenser.
- Condenser: To condense water vapour driven off by boiling to ensure a constant volume of water.
- Heater: An electric heating blanket providing uniform heating to the flask.
- Timer: A suitable device capable to measure duration.
- Thermometer: A suitable (accuracy $\pm 1^\circ \text{C}$) device capable to measure water's temperature.

5.2.2 Procedure

1. Fill container to 2/3 of its volume using tap water.
2. Heat water to boiling using heating blanket.
3. Add prepared specimens to water, start timer, connect condenser and start condenser.
4. After six hours in boiling water, specimens shall be taken out and cooled to ambient temperature ($23 \pm 2^\circ \text{C}$) before further testing.

5.3 Immersion 500 h. in water at 20°C

In order to determine effects on core and adhesive layer of liquid water, specimens shall be fully immersed along 500 h. at 20°C uninterruptedly.

5.3.1 Apparatus

- Containers of adequate volume able to storage different specimens, capable to avoid water evaporation.
- Thermometer: A suitable (accuracy $\pm 1^\circ \text{C}$) device capable of measuring temperature of water.

5.3.2 Procedure

1. Immerse specimens in tap water.
2. After the exposure period, remove water from sample before further testing.

5.4 Freeze - thaw cycles

50 freeze-thaw cycles shall be carried out.

[b] Although strictly speaking boiling point of water is at 100°C under normal atmospheric pressure, it is maintained this term due to its extended use for testing conditions of 90°C

5.4.1 Apparatus

- Freeze-thaw chamber with internal dimensions able to contain different sizes of specimens and to carry out steps and ranges of temperatures described at 5.4.2.
- Shelves: To support the test sample and enabling a uniform exposition with dimensions to fix the test specimens.

5.4.2 Procedure

Each cycle shall be composed of:

- Full immersion of specimens in tap water bath for 8 h. at initial temperature of $20 (\pm 2) ^\circ\text{C}$.
- Decrease to $-20 (\pm 2) ^\circ\text{C}$ for 2 h. (in conditioned air).
- Exposure to $-20 (\pm 2) ^\circ\text{C}$ (in conditioned air) for 14 h.

In case of interruption, specimens shall always be positioned in water between the cycles. Specified temperatures shall be measured at specimen surface.

For panels which are produced in more than one thickness, the tests shall be conducted with samples from panels of maximum and minimum thickness. The worst result shall apply to panels of all intermediate thicknesses.

Finally it shall be calculated if the decay of mechanical resistance fulfils the respective acceptance criteria specified at Table 2.

5.5 Long term exposure to heat (2.500 h. at hot dry air $80 ^\circ\text{C}$)

Specimens shall be exposed 2.500 h. to dry air at $80 (\pm 2^\circ \text{C})$ uninterruptedly.

5.5.1 Apparatus

- Oven: With forced air circulation and with temperature regulation to a range of 50 to $100 ^\circ\text{C}$ with an accuracy of $\pm 2^\circ \text{C}$. The internal dimensions are such to contain the different sizes of specimens.
- Shelf: To support the test sample and enabling a uniform heating with dimensions to fix the test specimen.

5.5.2 Procedure

1. Bring the oven to the required temperature.
2. Place the test specimen on its supporting frame in the oven.
3. Maintain the required temperature during the specified period of time.
4. After the exposure period remove the sample from the oven, bring it back to ambient temperature ($23 \pm 2^\circ \text{C}$) and maintain it at that temperature for 24 hours before further testing.

ANNEX I EXAMPLE OF SAMPLING

Figure 5: Scheme of sampling

ANNEX II TERMINOLOGY**1 Thin metallic composite panel**

A prefabricated non-load bearing, thin (thickness range from 3 to 8 mm) lightweight self supporting sandwich panel that, by virtue of its composition and shape, will transmit loads to structural supports.

2 Cladding kit based on thin metallic composite panel

A specific kit made of an external cladding based on thin metallic composite panels, mechanically fixed to the wall using a subframe and defined fixing devices which are normally, but not always, delivered together on site. The following types have been considered for this TR:

- RB fixed to frame composed mainly by vertical profiles (Fig. 6, left).
- SC on a frame composed mainly by vertical profiles (Fig. 6, right).

Figure 6: Examples of cladding kits

ANNEX III SYNOPSIS

$$F_{u,5} = F_{\text{mean}} - k_n \cdot S$$

$$\Delta F_{\text{mean}} = F_{\text{mean},c} / F_{\text{mean},n}$$

Where:

$F_{u,5}$ = the characteristic breaking force giving 75 % confidence that 95 % of the test results will be higher than this value.

F_{mean} = the mean breaking force, either under tension or shear.

$F_{\text{mean},n}$ = the mean breaking force, either under tension or shear in the initial state.

$F_{\text{mean},c}$ = the mean breaking force, either under tension or shear after conditioning or ageing.

k_n = the eccentricity of 5 % with 75 % confidence (see Table 3).

S = the standard deviation of series under consideration.

Remark: The variable k_n as a function of the number of test pieces (see EN 1990 Eurocode: Basis of structural design, Table D1, V_x , unknown).

Table 3

Number of pieces	3	4	5	6	7	8	10	20	30	∞
Variable k_n	3,37	2,63	2,33	2,18	2,10	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64

ANNEX V REFERENCE DOCUMENTS

Reference documents referred to at this TR are listed below. The edition of a reference document given in this list is that which has been adopted by EOTA for its specific use. When a new edition becomes available, this supersedes the edition mentioned in the list only when EOTA has verified or reestablished (possibly with appropriate linkage) its compatibility with this EOTA TR.

-
- 1 EN 485-2:2008. Aluminium and aluminium alloys - Sheet, strip and plate - Part 2: Mechanical properties.
EN 485-4:1993. Aluminium and aluminium alloys – Sheet, strip and plate – Part 4: Tolerances on shape and dimensions for cold-rolled products.
 - 2 EN 1396:2007. Aluminium and aluminium alloys. Coil coated sheet and strip for general applications. Specifications.
 - 3 EN ISO 7599:2010. Anodizing of aluminium and its alloys -- General specifications for anodic oxidation coatings on aluminium.
 - 4 EN 10088-1:2005. Stainless steels - Part 1: List of stainless steels.
EN 10088-2:2005. Stainless steels – Part 2: Technical delivery conditions for sheet/plate and strips for general purposes.
 - 5 GUIDANCE PAPER F: DURABILITY AND THE CONSTRUCTION PRODUCTS DIRECTIVE. December 2004.
 - 6 EOTA GUIDANCE DOCUMENT 002. Assumption of working life of construction products in Guidelines for European Technical Approval, European Technical Approvals and Harmonized Standards. Edition December 1999.
 - 7 ISO 554:1976. Standard atmospheres for conditioning and/or testing – Specifications.
 - 8 ASTM D 1781-98 (2004): Standard Test Method for Climbing Drum Peel for Adhesives.
 - 9 EN 13523-8:2008. Coil coated metals - Test methods - Part 8. Resistance to salt spray (fog).
 - 10 EN ISO 6270-1: 2001. Paints and varnishes. Determination of resistance to humidity. Part 1. Continuous condensation.
 - 11 EN ISO 13523-3:2001. Coil coated metals - Test methods - Part 3: Colour differences.
 - 12 EN ISO 13523-2:2001. Coil coated metals - Test methods - Part 2: Specular gloss.
 - 13 EN 13523-10: 2010. Coil coated metals - Test methods - Part 10. Resistance to fluorescent UV light and water condensation.
 - 14 EN 13523-13:2001. Coil coated metals - Test methods - Part 13: Resistance to accelerated ageing by the use of heat.
 - 15 EOTA TR 010. Exposure procedure for artificial weathering. Ed. May 2004.

5.2.2. DIT 353-R (2008): Sistema de revestimiento de fachadas Mecanofas Karrat S-7®:

Es un Documento de Idoneidad Técnica en el que se evaluó favorablemente la idoneidad de empleo del sistema de revestimiento Mecanofas Karrat S-7 resultante de un proceso industrial en el que se incorpora a las placas ranurados por su trasdós de piedra natural (granito y mármol) o gres porcelánico un perfil de aluminio adherido, que se utiliza para la sustentación de éste a una subestructura de aluminio.

C/ Serrano
Galvache 4.
28033 Madrid
España

**MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS NO TRADICIONALES DE CONSTRUCCIÓN
DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA**

353-R
RENOVACIÓN

**Sistema de revestimiento de fachadas
Mecanofas Karrat S-7®**

MECANOGUMBA S.A.

Domicilio social
C/ Facundo Bacardí, 19 - 21
Polígono Industrial Can Magarola
08100 Mollet del Vallés (Barcelona)
España

Tel: +34 93 5707227
mt@mecanotubo.es
www.mecanofas.com

C.D.U. 69.022.325
Bardage
Cladding kit

MUY IMPORTANTE

EL DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA constituye, por definición, una apreciación técnica favorable por parte del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, de la aptitud de empleo en construcción de materiales, sistemas y procedimientos no tradicionales destinados a un uso determinado y específico. No tiene, por sí mismo, ningún efecto administrativo, ni representa autorización de uso, ni garantía.

Antes de utilizar el material, sistema o procedimiento al que se refiere, es preciso el conocimiento íntegro del Documento, por lo que éste deberá ser suministrado, por el titular del mismo, en su totalidad.

La modificación de las características de los productos o el no respetar las condiciones de utilización, así como las observaciones de la Comisión de Expertos, invalida la presente evaluación técnica.

Cualquier reproducción de este Documento debe ser autorizada por el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Este Documento consta de 24 páginas.

DECISIÓN N. 353-R

EL DIRECTOR DEL INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA,

- en virtud del Decreto número 3. 652, de 26 de diciembre de 1. 963, de la Presidencia del Gobierno, por el que se faculta al Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja para extender el DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA de los materiales, sistemas y procedimientos no tradicionales de construcción utilizados en la edificación y obras públicas, y de la Orden nº. 1. 265/1. 998, de 23 de diciembre, del Ministerio de Relaciones con las Cortes y de la Secretaría del Gobierno por la que se regula su concesión,
- considerando el artículo 5.2, apartado 5, del CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACION, en adelante CTE, sobre la conformidad con el CTE de los productos, equipos y sistemas innovadores, que establece que un sistema constructivo es conforme con el CTE si dispone de una evaluación técnica favorable de su idoneidad para el uso previsto,

considerando la solicitud presentada por la sociedad Mecanogumba SA, situada en Mollet del Vallés (Barcelona), para la Renovación de un DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA al sistema de fachadas ventiladas MECANOFAS KARRAT S-7® ampliando su composición con dos tipos más de revestimiento a base de pizarra con denominación petrográfica Lutita, y de paneles procedentes de paneles laminados decorativos de alta presión HPL-EDF y, de su fabricación,

- de acuerdo con los Estatutos de la Union Européenne pour l'Agrément technique dans la construction (UEAtc),
- teniendo en cuenta los informes y resultados de los ensayos presentados por el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, así como las observaciones formuladas por la Comisión de Expertos en sesión celebrada el día 20 de Noviembre de 2. 007,

DECIDE:

Conceder el DOCUMENTO DE IDONEIDAD TECNICA número 353-R al sistema de fachadas ventiladas MECANOFAS KARRAT S-7 ampliando su composición con dos tipos más de revestimiento a base de placas de pizarra con denominación petrográfica Lutita, y de paneles procedentes de paneles laminados decorativos de alta presión HPL-EDF, fabricados y distribuidos por la sociedad Mecanogumba S.A., considerando que:

La evaluación técnica realizada permite concluir que el sistema **es CONFORME con el CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN (CTE), siempre que se respete el contenido completo del presente documento y en particular las siguientes condiciones:**

CONDICIONES GENERALES

El presente DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA avala exclusivamente al sistema constructivo propuesto por el beneficiario, debiendo para cada caso, y de acuerdo con la Normativa vigente, acompañarse del preceptivo proyecto de edificación que, a su vez, deberá llevarse a término mediante la dirección de obra correspondiente. Será el proyecto de edificación el que contemple en cada caso, las acciones que el sistema transmite a la estructura general del edificio, asegurando que éstas son admisibles. El beneficiario, a través de MECANOFAS, S.L. proporcionará la asistencia técnica genérica sobre el sistema (entrega de este DIT), de modo que se permita la suficiente definición para su ejecución, incluyendo toda la información necesaria de cada uno de los componentes. Opcionalmente, el proyecto técnico de la fachada ventilada podrá ser suministrado por MECANOFAS, S.L., donde se justificará el cumplimiento de la normativa en vigor, aportando la correspondiente memoria de cálculo y la documentación gráfica necesaria para definir el proyecto. En general, se tendrán en cuenta, tanto en el proyecto como en la ejecución de la obra, todas las prescripciones contenidas en la normativa vigente; en particular, como recordatorio se cita el CTE.

CAMPO DE APLICACIÓN

El sistema de construcción evaluado en el presente documento es aquel configurado por medio de placas de piedra natural (granito, mármol y pizarra Lutita), gres porcelánico, o bien procedentes de paneles laminados compactos HPL-EDF, que están previstos para el revestimiento de fachadas mediante una **fijación oculta mecánico-adhesiva** a una subestructura o paramento vertical. Estos sistemas no contribuyen a la estabilidad de la edificación.

CONDICIONES DE FABRICACIÓN Y CONTROL

El beneficiario del DIT realizará un control sistemático sobre la producción en fábrica (materias primas, proceso de fabricación y producto acabado) tal y como se detalla en el Informe Técnico. En particular, verificará las características de la fijación del perfil S-7 sobre las placas. Además, asegurará que el resto de los componentes del sistema son conformes con las especificaciones del presente documento.

CONDICIONES DE UTILIZACIÓN Y PUESTA EN OBRA

La utilización y puesta en obra de este Sistema deberá realizarse por el beneficiario o bien, por empresas especializadas reconocidas por éste, bajo control y asistencia de Mecanofas S.L. Dichas empresas asegurarán que la utilización del sistema se efectúa en las condiciones y campos de aplicación cubiertos por el presente Documento y respetando las observaciones formuladas por la Comisión de Expertos. Una copia del listado actualizado de empresas instaladoras reconocidas por Mecanofas, S.L., estará disponible en el IETcc. De acuerdo con lo anterior, el presente documento ampara exclusivamente aquellas obras que hayan sido realizadas por dichas empresas o bien por el mismo beneficiario. Se adoptarán todas las disposiciones necesarias relativas a la estabilidad de las construcciones durante el montaje, a los riesgos de caída de cargas suspendidas, de protección de personas y, en general, se tendrán en cuenta las disposiciones contenidas en los reglamentos vigentes de Seguridad y Salud en el Trabajo, y en particular para cada obra, las especificaciones indicadas en el Plan de Seguridad y Salud.

VALIDEZ

El presente DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA número 353-R es válido durante un período de cinco años a condición de:

- que el fabricante no modifique ninguna de las características del producto indicadas en el presente Documento de Idoneidad Técnica,
- que el fabricante realice un autocontrol sistemático de la producción tal y como se indica en el Informe Técnico,
- que anualmente se realice un seguimiento por parte del Instituto, que constate el cumplimiento de las condiciones anteriores, visitando, si lo considera oportuno, alguna de las realizaciones más recientes.

Con el resultado favorable del seguimiento, el IETcc emitirá anualmente un certificado que deberá acompañar al DIT, para darle validez.

Este Documento deberá, por tanto, renovarse antes del 28 de Diciembre de 2012.

Madrid, 28 de Diciembre de 2007.

EL DIRECTOR DEL INSTITUTO DE CIENCIAS
DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA

D. Juan Monjo Carrió.

INFORME TÉCNICO

1 OBJETO

El sistema patentado Mecanofas Karrat S-7® es un sistema de fijación oculta mecánico-adhesiva para el revestimiento de fachadas ventiladas en obra nueva y rehabilitación de edificación, con diversos materiales de aplacado (fig. 1).

2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema objeto de la presente evaluación, comercializado por el beneficiario del DIT se compone de:

- Placas de revestimiento en piedra natural (mármol, granito, pizarra lutita), gres porcelánico tipo BLA, o bien procedentes de paneles laminados compactos de alta presión tipo HPL-EDF, resultantes de un proceso industrial en el que se incorpora mediante adhesivo al trasdós ranurado de las mismas y a lo largo de su dimensión horizontal, al menos dos perfiles continuos por placa. Dichos perfiles, se denominan "S7", y permiten el cuelgue de cada placa en la subestructura horizontal (fig. 1).
- Subestructura horizontal constituida por perfiles de aluminio patentados y comercializados por el beneficiario. Pueden ser travesaños (reciben las placas de revestimiento) o perfiles auxiliares (permiten la unión entre travesaños). La misión principal de la subestructura es recoger y transmitir las cargas de viento y pesos propios de las placas.

El sistema así constituido ha de fijarse al elemento soporte (muro, subestructura vertical, etc). A fin de facilitar el montaje del conjunto y garantizar la correcta planimetría del revestimiento de la fachada. Opcionalmente pueden comercializarse por el beneficiario los siguientes componentes complementarios:

- Subestructura vertical constituida por dos tipos de perfiles. Dichos conjuntos están constituidos por perfiles comerciales de aluminio, fijaciones y escuadras para el anclaje definidos todos ellos según especificaciones y cálculos complementarios.
- Escuadras y elementos de unión de las subestructuras al elemento o muro soporte (p. ej. anclajes metálicos de expansión, anclajes químicos, de material plástico, etc).

El sistema puede incorporar aislamiento que será definido por el proyecto técnico cumpliendo con las especificaciones correspondientes del CTE.

3 MATERIALES Y COMPONENTES

Se indican a continuación las características declaradas por el beneficiario⁽¹⁾ para cada componente comercializado:

3.1 Placa con perfil S7 adherido

3.1.1 Características de las placas

Características p. natural (UNE EN 1469) ⁽²⁾	Granito	Mármol	Pizarra
Denominación petrográfica y aspecto	Según muestra de ref.		Lutita / gris verdoso
Espesor nominal (mm)	≥ 15	≥ 20	≥ 20
Tolerancias dimensionales (mm)	± 1		
Resistencia a flexión (MPa) ⁽³⁾	≥ 10		
Densidad aparente (g/cm ³)	≤ 2,8		
Absorción de agua (%)	≤ 0,36	≤ 0,20	≤ 0,46
Resistencia heladicidad (Δ R ^a .flexión (%))	20	20	20
Resistencia al choque térmico	Δ masa=0 Δ módulo elástico dinámico 6%		
Reacción al fuego	A1		

Características de gres porcelánico (UNE EN 14411) ⁽⁴⁾	
Tipo	BLA
Espesor nominal (mm)	10
Tolerancias dimensionales (mm)	± 1
Resistencia a flexión (MPa)	≥ 10
Densidad aparente (g/cm ³)	≤ 2,8
Absorción de agua (%)	< 0,5
Tolerancia máxima de espesor (mm)	±2
Reacción al fuego	A1

Placas procedentes de panel laminado compacto de alta presión HPL EDF (UNE EN 438-7) ⁽⁵⁾		
Espesor (mm)	8	
Tolerancias dimensionales (mm)	± 1	
Densidad (g/cm ³)	≤ 2,8	
Resistencia a flexión (MPa)	≥ 80	
Resistencia a la tracción (MPa)	≥ 60	
Resistencia a humedad (MPa)	Δ masa %	≤ 8
	Aspecto : 1 - 5	≥ 4
Estabilidad dimensional a temperatura elevada (%)	L ≤ 0,30 T ≤ 0,60	
Resistencia al impacto (altura caída objeto mm)	7,5	
Coef. dilatación térmica (1/°C)	Longitudinal	1,6·10 ⁻⁵
	Transversal	3,4·10 ⁻⁵
Emisión de formaldehído (clase)	E1	
Resist ^a a la luz ultravioleta	Contraste	≥ 3
	Aspecto	≥ 4
Resist ^a al choque climático	Índice del módulo de flexión	≥ 0,95
Clase de reacción al fuego (clase mínima)	B-s3,d2	

⁽¹⁾ El beneficiario puede suministrar bajo pedido, componentes de características generales y específicas superiores en calidad a las indicadas en las tablas.

⁽²⁾ UNE EN 1469:2005 Piedra natural. Placas para revestimientos murales. Requisitos.

⁽³⁾ Equivalencia 1 MPa = 1 N/mm² aproximadamente igual a 10 kg / cm²

⁽⁴⁾ UNE EN 14411:2007 Baldosas cerámicas. Definiciones, clasificación, características y marcado.

⁽⁵⁾ UNE EN 438-7: 2005. Laminados decorativos de alta presión (HPL). Láminas basadas en resinas termoestables (normalmente denominadas laminados). Parte 7: Laminados compactos y paneles de compuesto HPL para acabados de paredes y techos externos e internos.

3.1.2 Características del adhesivo

Se trata de un adhesivo industrial, tixotrópico en base polímero monocomponente, inodoro y de color blanco que endurece por reacción con la humedad. Las características declaradas por el fabricante del adhesivo, certificado según Norma UNE EN ISO 9001, son las indicadas en la tabla adjunta:

Características generales	
Densidad (g/cm ³)	1,43 - 1,49
Tiempo (en minutos) de formación de piel (23 °C, 50% Hr)	3 - 15
Temperatura de aplicación (°C)	15 a 35
Temperatura de servicio (°C)	-40 a 100
Temperatura de almacenamiento (°C)	10 a 25
Alargamiento a la rotura (%)	150
Resistencia a 100% alargamiento (MPa)	3,2
Estabilidad (en minutos) a temperatura elevada (120°C)	> 60
Dureza Shore A a 23°C y 50% HR	50 - 75
Índice de Fluidéz (23°C, Ø 3.5 mm, 3 bar, 15 seg)	5 - 30

3.1.3 Características del perfil "S7"

Perfil de aluminio con sección transversal en forma de "7", que se presenta en dos opciones (fig. 2): Perfil ref. 305.938 para placas de piedra natural o gres porcelánico, y perfil ref. 307.272 para placas procedentes de paneles HPL-EDF con las características que se definen en las tablas adjuntas:

Características generales	
Aleación (UNE 38300:1983)	EN AW 6063
Templado y maduración (UNE EN 515:1983)	T5 ó T6
Peso específico (g/cm ³)	2.69
Módulo de elasticidad (MPa)	69 000
Tensión máxima admisible (MPa)	106
Resistencia a cortante (MPa)	135
Límite elástico (MPa)	175
Límite de fatiga (MPa)	150
Coefficiente de dilatación térmica (1/°C)	23,4. 10 ⁻⁶

Características específicas	Ref 305.938	Ref 307.272
Peso (kg / m. lineal)	0,26	0,29
Módulo resistente mínimo W_{xx} (cm ³)	0,34	0,48
Módulo resistente mínimo W_{yy} (cm ³)	0,15	0,17
Momento de Inercia I_{xx} (cm ⁴)	0,65	1,02
Momento de Inercia I_{yy} (cm ⁴)	0,11	0,10

3.2 Subestructura horizontal

3.2.1 Travesaños

Se componen de perfiles horizontales principales y de perfiles complementarios para su unión (fig. 3). La configuración tipo está formada por un perfil de aluminio (ref. 305.946) y un perfil complementario de unión (ref. 307.280). La separación entre dichos perfiles horizontales (Z) puede ir desde 200 mm a 980 mm. Opcionalmente el beneficiario puede suministrar un tipo de perfil reforzado (ref. 307.314) y un perfil complementario de unión (ref. 307.330), previstos para permitir un menor número de fijaciones a la subestructura vertical o elemento soporte. Las características se indican en esta tabla:

Características generales		
Aleación (UNE 38300)	EN AW 6063	
Templado y maduración (UNE EN 515)	T5 ó T6	
Peso específico (g/cm ³)	2.69	
Módulo de elasticidad (MPa)	69 000	
Tensión máxima admisible (MPa)	106	
Resistencia a cortante (MPa)	135	
Límite elástico (MPa)	175	
Límite de fatiga (MPa)	150	
Coefficiente de dilatación térmica lineal (1/°C)	23,4. 10 ⁻⁶	
Características específicas (UNE EN 755-2)	Ref 305.946	Ref 307.314
Peso (kg / m. lineal)	0,8	1,6
Módulo resistente mínimo W_{xx} (cm ³)	4,37	9,19
Módulo resistente mínimo W_{yy} (cm ³)	1,32	3,44
Momento de Inercia I_{xx} (cm ⁴)	20,20	46,73
Momento de Inercia I_{yy} (cm ⁴)	1,47	4,88

3.2.2 Fijaciones de subestructura horizontal

Toda la tornillería, a utilizar con el sistema, será de acero inoxidable, calidad mínima exigida X 6 Cr Ni 19-10; AISI-304 (A2) (según Norma EN-10204) (fig 3). La tornillería se suministrará por proveedor certificado

Características generales (Norma DIN 7504)	
Diametro (mm)	5,50
Longitud (mm)	19

3.3 Subestructura vertical

3.3.1 Montantes

Se componen de perfiles verticales principales y de perfiles complementarios para su unión (fig. 4).

La configuración tipo está formada por perfil estándar (tubo hueco de sección cuadrada) de aluminio (ref. 306.142) y un perfil complementario de unión (ref. 307. 348) que, como mínimo, deben de cumplir con las características generales exigidas para los perfiles de la subestructura horizontal.

Opcionalmente el beneficiario puede suministrar un tipo de perfil reforzado (ref. 307.363) a utilizar conjuntamente con el perfil horizontal reforzado (ref. 307.314).

Características específicas	Ref 306.142	Ref 307.363
Peso (kg / m. lineal)	0,85	1,24
Módulo resistente mínimo W_{xx} (cm ³)	3,67	5,10
Módulo resistente mínimo W_{yy} (cm ³)	3,67	5,10
Momento de Inercia I_{xx} (cm ⁴)	7,30	10,20
Momento de Inercia I_{yy} (cm ⁴)	7,30	10,20

3.3.2 Escuadras de fijación

Existen dos tipos de escuadras de fijación:

- **De sustentación**, encargadas de soportar el peso del conjunto y cargas de viento. Se colocan en los elementos estructurales del edificio, normalmente los forjados.
- **De retención**, cuya única función es soportar las cargas horizontales generadas por el viento; se colocan sobre el muro soporte.

Estos elementos (fig. 4) pueden suministrarse en tres materiales distintos:

Escuadras extruidas (aleación de aluminio EN AW 6063) Características generales	
Tratamiento y maduración (UNE EN 515)	T5 ó T6
Peso específico (g/cm ³)	2,69
Espesor mínimo (mm)	2,5
Módulo elástico (MPa)	69 000
Límite elástico (MPa)	175
Tensión máxima admisible (MPa)	106
Límite de fatiga (MPa)	150
Tensión admisible (MPa)	90
Resistencia a cortante (MPa)	135
Escuadras conformadas en chapa plegada de aleación de aluminio EN EW 1050. Características generales	
Tratamiento y maduración	H14
Peso específico (g/cm ³)	2,69
Espesor mínimo (mm)	3
Módulo elástico (MPa)	69 000
Límite elástico (MPa)	105
Tensión admisible (MPa)	42
Límite de fatiga (MPa)	70
Resistencia a cortante (MPa)	70
Escuadras conformadas en chapa galvanizada S 235 de acero al carbono. Características generales	
Espesor mínimo (mm)	3
Peso específico del acero (g/cm ³)	7,85
Módulo elástico (MPa)	210 000
Límite elástico (MPa)	235
Tensión admisible (MPa)	140
Resistencia a cortante (MPa)	135

Se recomienda consultar con el beneficiario la elección de estas escuadras de acuerdo con la configuración del sistema de revestimiento. A título orientativo, se indican las siguientes opciones:

Configuración del sistema de revestimiento	Tipo de escuadra de fijación
Para sistemas tales que: <ul style="list-style-type: none"> • Peso total (kg/m²) de placas+subestructura ≤ 35 • L (altura máx. adm. entre forjados) ≤ 6,40 m • S_{máx} (dist. máx. entre perfiles vert.) ≤ 0,90m • Presión máxima de viento ≤ 210 kg/m² (0,0021 MPa) 	Escuadras de aluminio extruido ⁽⁶⁾
Para sistemas tales que: <ul style="list-style-type: none"> • 35 < Peso total (kg/m², placas+subestructura) ≤ 70 • L (altura máx. adm. entre forjados) ≤ 3,20 m • S_{máx} (dist. máx. entre perfiles vert.) ≤ 0,90 m • Presión máxima de viento ≤ 210 kg/m² (0,0021 MPa) 	
Para exigencias superiores a las anteriores	Escuadras conformadas en chapa galvanizada de acero

⁽⁶⁾ En caso de exigencias específicas en la geometría de la fachada, podrán utilizarse escuadras conformadas en chapa plegada de aluminio

Escuadras Características específicas					
Sustentación	Ref 305. 912	Ref 306. 043	Ref 306. 027	Ref 306. 092	Ref 306. 068
Retención	Ref 305. 920	Ref 306. 035	Ref 306. 019	Ref 306. 084	Ref 306. 050
Longitud del ala (mm)	70	90	110	150	190
Espesor (mm)	2,5	3	2,5	3	3
Peso (kg / m. lineal)	0,8	1,15	1,11	1,66	1,99
Módulo resistente mínimo W _{xx} (cm ³)	3,13	5,96	7,27	15,37	23,79
Módulo resistente mínimo W _{yy} (cm ³)	1,72	2,10	1,80	2,19	2,22
Momento de Inercia I _{xx} (cm ⁴)	15,26	35,71	51,9	142,27	270,15
Momento de Inercia I _{yy} (cm ⁴)	6,67	8,39	7,43	9,34	9,69

En la selección de la escuadra se deberá valorar la adecuación de sus componentes al soporte y a las acciones a que se puede ver sometido, entre las que, debido a la dificultad de inspección y mantenimiento, merecen especial consideración las condiciones ambientales, normales o agresivas según se indica en Norma *UNE 41957-1 Anclajes para revestimientos de fachadas de edificios*. Asimismo, en dichos elementos se tendrá especial atención a las incompatibilidades entre los propios materiales constituyentes del subsistema de anclaje entre sí y con otros elementos del soporte, especialmente las que generen pares galvánicos por contacto entre metales de distinta naturaleza.

3.3.3 Fijaciones de subestructura vertical a escuadras

Toda la tornillería a utilizar será de acero inoxidable, calidad mínima exigida X 6 Cr Ni 19-10; AISI-304 (A2) (según Norma EN-10204). La tornillería se suministrará por un fabricante certificado según normas ISO 9001.

Tipo de tornillería o anclaje	Norma	Diametro (mm)	Longitud (mm)
Tornillo autotaladrante	S/DIN 7504	5,50	19
Tornillo pasador	S/DIN 933	M8	60
Tuerca	S/DIN 934	M8	-
Arandela	S/DIN 9021	M8	-

3.3.4 Fijaciones de escuadras a soporte

El material de la tornillería será de acero inoxidable con igual calidad que la indicada en el apartado 3.3.3. La definición del tipo, posición y número de anclajes para la fijación de la subestructura primaria al muro soporte se realizará en función del material base de apoyo y de los esfuerzos transmitidos al mismo, debiendo quedar reflejada en el proyecto técnico de la fachada ventilada. Para la definición de estos datos, se tendrán en cuenta las recomendaciones del fabricante del anclaje y/o los resultados de pruebas in situ para cada material base de apoyo y además las recomendaciones del beneficiario del DIT indicadas en el apartado 8 del presente Documento.

4 FABRICACIÓN

4.1 Planta de producción

La fijación mediante adhesivo del perfil S7 sobre las placas de revestimiento se realiza en la planta del beneficiario, situada en la c/ Facundo Bacardí 19 - 21, en Mollet del Vallés (Barcelona). Según indicaciones del beneficiario, desde 1999 se han producido 250 000 m².

4.2 Proceso de fabricación

El proceso fabricación se realiza según sea el componente del sistema, a través de las siguientes etapas:

4.2.1 Placas con perfil S7 adherido

Se acondiciona la cadena de producción a la medida de las placas cortadas; se llevan las placas a la cadena donde semiautomáticamente se realizan las siguientes fases: Calibración (para placas de piedra natural), ranurado, limpieza y secado, extensión del adhesivo, incorporación del perfil S7 y embalaje.

4.2.2 Perfiles de aluminio

Se procede a realizar los oportunos cortes con sierra de los perfiles de aluminio a las longitudes según la obra o suministro. Posteriormente se procede a efectuar el taladrado de los perfiles (escuadras, etc.) y después a su embalaje para su envío a obra.

5 CONTROLES

5.1 Control de calidad interno

En planta, se realizan controles de calidad sobre materiales y componentes que configuran sistema, según procedimientos establecidos por el beneficiario. Los controles se centran en cada una de las fases del proceso productivo, partiendo de la materia prima suministrada, quedando registrados sus resultados.

5.1.1 Control de materias primas

- **Placa:** Se verifica y si procede, se acepta y archiva el Certificado de Proveedor donde consta el cumplimiento de las características especificadas para cada material en la tabla del apartado 3.1.1.
- **Adhesivo:** Se verifica y si procede, se acepta y archiva el Certificado de Proveedor donde consta el cumplimiento de las características especificadas en el apartado 3.1.2.

- **Perfiles y escuadras:** Se verifica y si procede, se acepta y archiva el Certificado de Proveedor donde consta el cumplimiento de las características dimensionales y mecánicas especificadas en los apartados 3.1.3, 3.2 y 3.3.

5.1.2 Control del proceso de fabricación

Fase	Característica	Exigencia	Frecuencia
Incisión	Posición de ranuras	Interna	1/ 2500 ml ó semanalmente y cada cambio de suministro
	Dimensiones de ranuras		
Aplicación de adhesivo y perfil sobre ranura	Temperatura	Interna	continua
	Aportación de adhesivo	Interna	1/ 2500 ml ó semanalmente y cada cambio de suministro
	Superficie de contacto entre perfil y placa		
Perfil S7 adherido a placa	Resistencia al arrancamiento por cizallamiento tras 14 días de curado (MPa)	≥ 0,20	1 vez / 100 m ² y cada cambio de placa y/o proveedor
	Resistencia al arrancamiento por tracción 14 días de curado (MPa)	≥ 0,35	1 vez / 100 m ² y cada cambio de placa y/o proveedor

5.1.3 Control del producto acabado

CARACTERISTICA		EXIGENCIA	FRECUENCIA
Placa	Espesor	Pasa / No pasa	1 vez / día
	Dimensiones y tolerancias geométricas		diaria
Posición perfil S7			1/ 2500 ml y según tipo de placa

6 TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

El palé de las placas debe ir identificado, mediante una etiqueta con la referencia de la obra, tipo de material y fecha de fabricación, así como logotipo y número de DIT. El transporte se realizará, mediante palés estables sin apilar y situando en todo momento poliestireno expandido entre las placas para evitar que se produzcan roturas en las placas.

7. PUESTA EN OBRA

7.1 Especificaciones generales

7.1.1 Empresas instaladoras

La instalación del sistema tendrá que realizarse por empresas especializadas reconocidas por el beneficiario del DIT.

7.1.2 Características del soporte y fijaciones

El sistema se puede aplicar sobre paramentos planos y verticales de fábrica u hormigón ⁽⁷⁾ en construcción nueva o en rehabilitación. Se verificará por director de obra, antes del montaje de la fachada que las características del elemento soporte a revestir relativas a resistencia, desplome y planeidad cumplan con las condiciones fijadas en el CTE, así como en las correspondientes normas y disposiciones vigentes.

7.1.3 Cámara ventilada

Debe tenerse en cuenta además de lo indicado en el CTE DB-SI, que la cámara de aire tendrá como mínimo 3 cm de espesor, y estará ventilada por convección natural ascendente detrás del revestimiento, para evitar que el material de revestimiento se deteriore a causa de la condensación o penetración del agua de lluvia.

7.2 Montaje

La secuencia de operaciones de puesta en obra debe ser la siguiente:

- Replanteo
- Colocación de escuadras
- Colocación de aislante térmico, en su caso
- Colocación de subestructura vertical
- Colocación de la subestructura horizontal
- Colocación de placas con perfil S7 adherido

7.2.1 Replanteo

Deberán comprobarse los valores, establecidos en la memoria de cálculo del proyecto técnico, correspondientes a:

- Altura entre forjados.
- Distancias establecidas entre perfiles verticales según la zona de fachada que corresponda (general, esquinas, huecos, cambios en la geometría y/o despiece del aplacado).
- Distancias y forma de colocación establecidas entre escuadras de fijación (retención y/o sustentación).

7.2.2 Colocación de escuadras

Una vez elegidos y verificados los anclajes adecuados para el soporte en cuestión, se procede a presentar las escuadras de sustentación y de retención, sobre los elementos soportes considerados (por ejemplo frentes de forjado para escuadras de sustentación y muros de cerramiento para escuadras de retención) según distancias establecidas en proyecto. Las escuadras de sustentación se colocarán de forma simétrica y a la distancia prevista para permitir el paso del montante vertical. Las escuadras de retención, podrán fijarse de forma aislada pero alterna o bien simétrica, a lo

largo del montante, de modo que siempre se garantice el adecuado comportamiento frente a la carga de arrancamiento. En caso que la colocación de una única escuadra no garantice la carga exigida en este tipo de unión, se deberá incrementar el número de escuadras (opción simétrica).

7.2.3 Colocación de subestructura vertical

Como norma general el sentido de instalación de los perfiles de la subestructura vertical será de arriba a abajo y las longitudes de los perfiles verticales no excederán de 6,5 m. Se fijarán los perfiles verticales a las escuadras de sustentación, según sea la profundidad de la cámara ventilada, taladrando las caras laterales de los perfiles e introduciendo por cada escuadra un tornillo pasador M8 x 60, arandelas y tuerca. Previamente y como ayuda para la fijación durante el montaje, se recomienda instalar un tornillo autotaladrante de 5,5 mm de diámetro x 19 mm de longitud de vástago, clase A2. En cada escuadra de retención se atornillarán tornillos autotaladrantes 5,5 x 19 A2, dos por cada lado del perfil vertical.

La unión entre los perfiles verticales se hará coincidir en todos los casos con una escuadra de sustentación. La separación entre dos perfiles verticales será de 10 a 12 mm para permitir su dilatación. Para su colocación, los perfiles verticales se aplomarán y alinearán en sentido vertical y horizontal, consiguiendo un solo plano entre ellos, con una tolerancia ≤ 1 mm.

7.2.4 Colocación de subestructura horizontal

En cada cruce con perfiles verticales, se montará y atornillará el perfil horizontal al vertical; utilizando dos o tres tornillos autotaladrantes de 5,5 mm de diámetro x 19 mm de longitud de vástago, clase A2.

- Dos tornillos, para placas con esp. de 8 a 12 mm
- Tres tornillos para placas con esp. de 13 a 20 mm

La longitud del perfil horizontal será como máximo de 6 m, montando una pieza de unión horizontal de 300 mm de longitud entre perfiles adyacentes. En las esquinas y rincones, se utilizará una angular 50x50x60x1,7. Dichas piezas se atornillarán a un perfil horizontal mediante tornillos autotaladrantes de 5,5 mm de diámetro x 19 mm de longitud de vástago, clase A2, dejando 10 mm entre ellos para su dilatación.

7.2.5 Colocación de placas con perfil S7 adherido

Las placas con el perfil S7 adherido, y ya mecanizadas⁽⁸⁾ según su ubicación prevista en fachada, y según la dimensión de la junta horizontal prevista en proyecto, se instalarán desde abajo hacia arriba. Las juntas horizontales pueden oscilar entre 4 y 10 mm de espesor. La junta vertical se configurará por separadores plásticos, en dos posibles espesores de entre 4 y 10 mm, (fig. 3).

⁽⁷⁾ En caso de que el soporte sea metálico, deberá consultarse al beneficiario del DIT.

⁽⁸⁾ En el caso de las placas procedentes de paneles laminados compactos HPL EDF, puede ser necesario la colocación de remaches complementarios según sea el tamaño de la placa.

En la primera y última placa de todas las filas horizontales y cada 4 m. aproximadamente, deberá aplicarse puntualmente, el adhesivo en base poliuretano indicado por el beneficiario para evitar el desplazamiento de las placas y la pérdida de la junta horizontal (fig. 9).

8. CRITERIOS DE DISEÑO Y CÁLCULO

Los cálculos deben realizarse considerando las acciones según el Código Técnico de la Edificación, Documento Básico de Seguridad Estructural - Acciones en la Edificación (CTE-DB-S – AE). El beneficiario suministra los gráficos I, IIa y IIb, considerando los siguientes supuestos:

8.1 Acción del viento

El máximo valor admisible de cálculo de presión/succión al que puede estar sometido la subestructura horizontal y/o vertical será de 0,0021 MPa (210 kg/m²). La flecha máxima admisible de los perfiles verticales será de D_{máx} / 300, siendo D_{máx} la máxima distancia admisible entre escuadras de fijación (bien sean de retención o de sustentación).

8.2 Acción del peso propio

El máximo valor admisible de densidad aparente para los materiales de aplacado será de 2,8 g/cm³ con espesores de placa comprendidos entre 8 y 20 mm. El valor total del peso propio del sistema (placas más subestructura vertical y horizontal) para el cálculo será ≤ 70 kg/m². (En gráfica se considera un coeficiente de seguridad de 1,15, lo que supone un valor de carga característica de 60 kg/m²).

8.3 Distancias entre perfiles

La distancia máxima en horizontal (S_{máx}), entre perfiles verticales será de 900 mm. La separación entre los perfiles horizontales puede oscilar entre 200 y 980 mm. **En todas las esquinas o cambios de plano de fachada, y en una franja de 1500 mm de longitud, las distancias máximas admisibles entre perfiles verticales serán S_{máx}/2.**

8.4 Elección de las escuadras de fijación

Para el cálculo se tendrá en cuenta lo especificado en el apdo. 3.3.2 y un coef. de seguridad de 1,67.

8.5 Elección de fijaciones de escuadras a soporte

Como premisa de cálculo para los gráficos de dimensionado del Sistema, se indican a continuación los valores mínimos de cargas de arrancamiento de cada punto de fijación del montante. Además, estas cargas deberán comprobarse mediante pruebas de arrancamiento in situ, debiéndose obtener valores iguales o superiores a los especificados, independientemente de su forma de fijación (mecánica, química, soldadura, etc.).

	Q carga de viento	
	0 ≤ Q (kg/m ²) ≤ 110	110 < Q (kg/m ²) ≤ 210
Cargas (kg) características de extracción por cada punto de sustentación (mínimo 2 anclajes)	1800 (900 por cada unidad de anclaje)	1800 (900 por cada unidad de anclaje)
Cargas (kg) características de extracción por cada punto de retención	250 (número de anclajes a determinar según valor de extracción obtenido)	480 (número de anclajes a determinar según valor de extracción obtenido)

Gráfico II.a
Separaciones perfiles verticales menores/iguales a 749mm.

Gráfico II.b
Separaciones perfiles verticales comprendidas ente 750mm y 900mm.

9. REFERENCIAS DE UTILIZACIÓN

Según indicaciones del beneficiario, la superficie de revestimiento de fachadas ejecutada en España desde 1999 hasta la fecha, es superior a 250000 m².

El fabricante declara como referencias de utilización en España las obras indicadas a continuación. Varias de las obras han sido visitadas por técnicos del IETcc y se ha realizado complementariamente una encuesta a los usuarios, todo ello con resultados satisfactorios.

Año	Tipo de aplacado	Tipo de Obra y dirección	Sup (m ²)
1999	Mármol	Parque Norte de Bomberos. (Barcelona).	650
1999	Granito	I.E.S. Cirvianum. Torelló (Barcelona)	580
1999	Mármol	Torre aneja al Conservatorio de Música. Manresa (Barcelona)	430
2000	Gres porcelánico	Hotel Sant Pau. (Barcelona)	590
2001	Granito	Edificio de viviendas. Sabadell (Barcelona)	290
2001	Gres porcelánico	Facultad de Ciencias Sociales y Humanidades UJI. Campus Riu Sec. Castellón de la Plana (Castellón)	6478
2002	Mármol	Ayuntamiento Montornés del Vallés. Avda Llibertat 2. Montornés del Vallés (Barcelona)	1160
2002	Granito gris SAU	Hospital Jaume I C/ Rosa María Molas s/n. Castellón de la Plana (Castellón)	2635
2003	Granito gris	Edificio Novísimo Plaza de San Miguel. Ayuntamiento de Barcelona (Barcelona)	1078
2004	Gris porcelánico	Residencia geriátrica. c/ Santa María 178-80. Badalona (Barcelona)	150
2005	Gres porcelánico	Edificio de oficinas MECALUX c/ Silici 1. Cornellá (Barcelona)	2000
2006	Gres porcelánico	Centro deportivo. c/ Virgen de Guadalupe s/n. Cáceres	3700
2006	HPL EFG y gres porcelánico	Edificio de viviendas. Avda. de la Diagonal 160-162. Barcelona	2300
2006	Pizarra Lutita	Edificio de viviendas. C/Carreras 12-14. Barcelona	1580
2006	Gres porcelánico	Edificio de oficinas. Pol.Ind. Can Mitjà. Vial de Sant Jordi, s/n. Viladecavalls, (Barcelona)	1500
2006	Gres porcelánico	Edificio de viviendas. Calella de la Costa (Barcelona)	3000
2007	Gres porcelánico	Edificio de oficinas. C/Leonardo de Vinci esq.Hno de Luanger. Isla de la Cartuja-(Sevilla)	1280
2007	Gres porcelánico	Clínica y centro de diagnóstico. c/ Periodista Eduardo Molina Fajardo, s/n. Granada	2142

10. ENSAYOS Y CÁLCULOS

10.1 Ensayos de identificación⁽⁹⁾

10.1.1 Comprobación dimensional de los perfiles

Se realizaron en las instalaciones del fabricante supervisados por IETcc, comprobación dimensional de perfil 7 (refª 305.938) y nuevo perfil horizontal (refª 307.272). Los resultados son conformes con los valores declarados.

10.1.2 Comprobación dimensional de las placas

Se realizaron en las instalaciones del fabricante supervisados por IETcc, comprobación dimensional de placas. Los resultados son conformes con los valores declarados.

10.2 Ensayos de aptitud de empleo y durabilidad

Ensayo realizado conforme a especificaciones indicadas en Expte del IETcc nº 18 831. Los resultados son conformes con los valores declarados por el fabricante para cada material de revestimiento; y similares a los obtenidos en la evaluación para la concesión del DIT, en los casos de placas de granito, mármol y gres porcelánico.

10.2.1 Resistencia inicial al arrancamiento de perfil S7

Muestra			Tracción (MPa)	
Placa (alto x ancho) 600 x 400	Ref. Perfil 7		Ensayo (V. medio)	Exigencia (≥ V.D.F.)
Piedra natural	Granito	305.938	1.94	≥ 0.35 Sin rotura en seno de adhesivo
	Mármol	305.938	2.38	
	Pizarra lutita ⁽¹⁰⁾	305.938	0.52	
Gres porcelánico		305.938	2.03	
HPL -EDF		307.272	1.91	

Muestra			Cizalladura (MPa)	
Placa	Ref. Perfil 7		Ensayo (media)	Exigencia
Piedra natural	Granito	305.938	3.02	≥ 0.20 Sin rotura en seno de adhesivo
	Mármol	305.938	5.26	
	Pizarra lutita	305.938	4.33	
Gres porcelánico		305.938	3.10	
HPL -EDF		307.272	4.84	

⁽⁹⁾ Para la concesión inicial del DIT 353 se realizaron ensayos de identificación sobre placas para verificar la absorción de agua y la resistencia a flexión.

⁽¹⁰⁾ La rotura 100% de la placa de pizarra Lutita producida por delaminación.

10.2.2 Resistencia al arrancamiento de perfil S7 tras exposición a ciclos de hielo - deshielo.

Muestra		Tracción (MPa)	
Placa	Ref. Perfil 7	Ensayo (V. medio)	Exigencia (≥ V.D.F.)
Piedra natural	Granito	305.938	2.13
	Mármol	305.938	2.32
	Pizarra lutita	305.938	0.50
Gres porcelánico		305.938	2.04
HPL -EDF		307.272	1.94
Muestra		Cizalladura (MPa)	
Placa	Ref. Perfil 7	Ensayo (V.medio)	Exigencia
Piedra natural	Granito	305.938	4.42
	Mármol	305.938	4.93
	Pizarra lutita	305.938	4.11
Gres porcelánico		305.938	3.84
HPL -EDF		307.272	2.21

10.2.3 Resistencia al arrancamiento de perfil S7 tras ciclos de saturación y secado.

Muestra		Tracción (MPa)	
Placa	Ref. Perfil 7	Ensayo (V. medio)	Exigencia (≥ V.D.F.)
Piedra natural	Granito	305.938	0.70
	Mármol	305.938	0.70
	Pizarra Lutita	305.938	0.52
Gres porcelánico		305.938	0.72
HPL -EDF		307.272	2.19
Muestra		Cizalladura (MPa)	
Placa	Ref. Perfil 7	Ensayo (media)	Exigencia
Piedra natural	Granito	305.938	3.43
	Mármol	305.938	3.43
	Pizarra lutita	305.938	4.14
Gres porcelánico		305.938	3.11
HPL -EDF		307.272	4.07

10.2.4 Resistencia al arrancamiento de perfil S7 tras exposición a 80° C

Muestra		Tracción (MPa)	
Placa	Ref. Perfil 7	Ensayo (V. medio)	Exigencia (≥ V.D.F.)
Piedra natural	Granito	305.938	0.70
	Mármol	305.938	0.70
	Pizarra lutita	305.938	1.27
Gres porcelánico		305.938	0.74
HPL -EDF		307.272	0.80
Muestra		Cizalladura (MPa)	
Placa	Ref. Perfil 7	Ensayo (media)	Exigencia
Piedra natural	Granito	305.938	4.41
	Mármol	305.938	3.75
	Pizarra lutita	305.938	3.94
Gres porcelánico		305.938	2.95
HPL -EDF		307.272	4.02

10.2.5 Resistencia al choque de cuerpo duro

Ensayo sobre probetas configuradas según se indicada en Expediente IETcc 18831⁽¹¹⁾.

Muestra (600 x 400 x esp)	Energía impacto (J)	Masa (kg)	Resultado
P. natural (granito, esp. 15 mm)	10	1	Rotura de placa sin caída o
Gres porcelánico (espesor 10 mm)			Rotura con desprendimiento
HPL-EDF (espesor 8 mm)			Sin fisuras ni desperfectos apreciables
P. natural (granito, esp. 15 mm)	3	0.5	Sin fisuras ni desperfectos apreciables
Gres porcelánico (espesor 10 mm)			Rotura con desprendimiento
HPL-EDF (espesor 8 mm)			Sin fisuras ni desperfectos apreciables
P. natural (granito, esp. 15 mm)	1	0.5	Sin fisuras ni desperfectos apreciables
Gres porcelánico (espesor 10 mm)			
HPL-EDF (espesor 8 mm)			

10.2.6 Resistencia al choque de cuerpo blando

Ensayo sobre probetas configuradas según se indicada en Expediente IETcc 18831⁽¹¹⁾.

Muestra: (60x40xe)	Energía impacto (J)	Masa (kg)	Resultado
P. natural (granito, esp. 15 mm)	10	3	Sin fisuras ni desperfectos apreciables
Gres porcelánico (espesor 10 mm)			
HPL-EDF (espesor 8 mm)			
P. natural (granito, esp. 15 mm)	60	3	Rotura de placa sin caída
Gres porcelánico (espesor 10 mm)			Rotura de placa sin caída
HPL-EDF (espesor 8 mm)			Sin fisuras ni desperfectos apreciables
P. natural (granito, esp. 15 mm)	300	50	Rotura con desprendimiento
Gres porcelánico (espesor 10 mm)			Rotura con desprendimiento
HPL-EDF (espesor 8 mm)			Sin fisuras ni desperfectos apreciables

Para las configuraciones ensayadas el sistema presenta las siguientes Categorías de uso:

- HPL-EDF : Categoría I
- P. Natural (granito esp.15 mm): Categoría III
- Gres porcelánico (esp.10 mm): Categoría IV

⁽¹¹⁾ Procedimiento de ensayo según "Draft n 12" Guideline for European Technical Approval of Kits for external wall claddings. Part 1: Ventilated cladding elements and associated fixing devices" (edición de enero de 2006) apartados 5.4.4.2 "Resistance to hard body impact y 5.4.4.1. "Resistance to soft body impact".

10.2.7 Resistencia al choque térmico

Ensayo realizado conforme a las especificaciones establecidas en borrador de la Guía EOTA “*Draft Guideline for European Technical Approval of Kits for external wall claddings. Part 1: Ventilated cladding elements and associated fixing devices*” (edición de enero de 2006) apartado 5.4.7 “*Hygrothermal behaviour*”.

Durante la exposición a los ciclos especificados, no se observaron caídas del material, deslaminaciones, fisuraciones ni ningún otro desperfecto visible.

10.2.8 Resistencia inicial a succión de viento

Ensayos y cálculos realizados conforme a procedimientos internos del IETcc sobre placas de 600 mm de alto x 400 mm de anchura, sobre subestructura estándar horizontal de perfiles (ref: 305.946) subestructura vertical de perfilera estándar (ref: 306.142), tal y como se indica en el Expte de Ensayos nº 18831.

Los resultados del ensayo son conformes con las hipótesis de cálculo aportadas por el fabricante.

10.2.9 Resistencia a succión del viento tras exposición a cargas cíclicas (fatiga)

Ensayos y cálculos realizados conforme a procedimientos internos del IETcc sobre placas de 600 mm de alto x 400 mm de anchura, sobre subestructura estándar horizontal de perfiles (ref: 305.946) subestructura vertical de perfilera estándar (ref: 306.142), tal y como se indica en el Expte de Ensayos nº 18831.

Los resultados del ensayo son conformes con las hipótesis de cálculo aportadas por el fabricante

10.2.10 Resistencia a flexión de subestructura

Ensayos realizados conforme a procedimientos internos del IETcc sobre perfiles de subestructura estándar vertical (ref: 306.142), tal y como se indica en el Expte de Ensayos nº 18831.

Los resultados del ensayo son conformes con las hipótesis de cálculo aportadas por el fabricante.

11. EVALUACIÓN DE LA APTITUD DE EMPLEO

11.1 Cumplimiento de la reglamentación nacional

11.1.1 Seguridad estructural

El Sistema Mecanofas Karrat S7 de revestimiento de fachadas ventiladas no contribuye a la estabilidad de

la edificación. El cerramiento posterior, soporte del revestimiento de paneles, debe cumplir con la normativa correspondiente a los requisitos esenciales de seguridad estructural que le sean propios, debiendo considerarse las acciones y solicitaciones que correspondan a la incorporación de la fachada ventilada.

11.1.2 Seguridad en caso de incendio

La solución completa de cerramiento debe ser conforme con el Código Técnico de la Edificación CTE-DB-SI, relativo a Seguridad frente a Incendios, en lo que se refiere a la estabilidad al fuego, así como en la reacción al fuego de los materiales que lo integran.

De acuerdo con el R.D. 312/2005 las superficies metálicas y la placas de piedra natural, y gres porcelánico sin malla de refuerzo, se consideran como euroclase A1 sin necesidad de ensayo. El material HPL-EDF se considerará como válido si presenta una euroclasificación como mínimo de B-s3,d2, acreditada mediante ensayo. En caso de utilizarse gres porcelánico con malla posterior de refuerzo, debe realizarse un ensayo complementario para conocer su euroclase de reacción al fuego. Los materiales arriba citados cumplen con el requisito exigido en CTE-DB-SI relativo a propagación exterior (SI 2, punto 1.4), para los materiales de revestimiento exterior de fachada y de las superficies interiores de las cámaras ventiladas de fachada.

11.1.3 Seguridad de utilización

Los resultados de los ensayos de aptitud de empleo del Sistema superan las exigencias establecidas en las normas, guías y CTE relativos a seguridad de utilización. Con respecto a la resistencia a impacto, en el CTE no contempla la clasificación en categorías I, II, III y IV establecida en el borrador de la Guía EOTA referido⁽¹²⁾. Las categorías obtenidas en los ensayos son válidas exclusivamente a las configuraciones de las muestras ensayadas. La evaluación realizada permite concluir que el Sistema Mecanofas Karrat puede alcanzar iguales o superiores categoría de uso que las obtenidas en los ensayos. (p.ej., mediante aplacados de mayor espesor, reforzados mediante mallas, etc.) y/o bien con menores distancias entre los perfiles de la subestructura horizontal, soluciones que en cualquier caso precisarán de una evaluación complementaria.

⁽¹²⁾ Las categorías establecidas en Draft ETAG Cladding Kit son

I: Zona de fachada a nivel de planta baja que es fácilmente accesible al público, y puede ser sometida a impactos de cuerpo duro pero sin estar expuesta a uso vandálico o anormalmente agresivo.

II: Zona de fachada expuesta a impactos directos causados por golpes u objetos lanzados pero en zonas públicas donde la altura del sistema limitará el tamaño del impacto, o bien en zonas de tránsito restringido situadas a cotas inferiores.

III: Zona de fachada donde son improbables los daños causados por caídas de personas, o bien por impactos de objetos.

IV: Zona de fachada a nivel de planta baja donde son improbables los daños causados por caídas de personas, o bien por impactos de objetos.

11.1.4 *Salubridad*

El muro soporte del sistema de fachada ventilada debe garantizar el grado de impermeabilidad mínimo exigido para el edificio al que se incorpore, según se describe en el Código Técnico de la Edificación CTE-DB-HS, relativo a Salubridad con objeto de satisfacer el requisito básico de protección frente a la humedad (HS 1). A partir de la definición del Sistema que figura en el Informe Técnico, en función del grado de impermeabilidad exigido, se podrá incrementar la ventilación de la cámara de aire según se describe en el CTE-DB-HS (HS-1, punto 2.3).

Deberá prestarse especial atención, en el diseño de las fachadas, a la incorporación de las ventanas y de los elementos de iluminación, así como la correcta solución de los puntos singulares, fijaciones exteriores, etc. para lograr una adecuada impermeabilización de dichos puntos, evitando la acumulación y la filtración de agua.

La comprobación de la limitación de humedades de condensación superficiales e intersticiales debe realizarse según lo establecido en la sección HE-1 (Limitación de la demanda energética) del CTE-DB-HE (HE-1, punto 3.2.3).

Los componentes del sistema, según declara el beneficiario, no contienen ni liberan sustancias peligrosas de acuerdo a la legislación nacional y europea.

11.1.5 *Ahorro energético*

El sistema no incluye el material aislante. La solución constructiva completa de cerramiento debe satisfacer las exigencias del Código Técnico de la Edificación CTE-DB-HE, relativo a Ahorro Energético.

A efectos de cálculo de la transmitancia térmica, según se describe en el Apéndice E del CTE-DB-HE, la cámara de aire tendrá consideración de “cámara de aire muy ventilada”, y la resistencia térmica total del cerramiento se obtendrá despreciando la resistencia térmica de la cámara de aire y de las demás capas entre la cámara de aire y el ambiente exterior, e incluyendo una resistencia superficial exterior correspondiente al aire en calma, igual a la resistencia superficial interior del mismo elemento (HE-1, Apéndice E).

11.1.6 *Protección frente al ruido*

La solución completa de cerramiento, y fundamentalmente el elemento soporte más el aislamiento, debe ser conforme con las exigencias indicadas en el CTE, en lo que respecta a la protección contra el ruido.

11.2 **Utilización del producto. Puesta en obra y limitaciones de uso**

11.2.1 *Puesta en obra*

Previamente a la instalación del Sistema, se deberá verificar el tipo y estado del soporte para la definición del tipo y número de anclajes. Si procede, e deberá tener en cuenta, en la ejecución de puntos singulares como antepechos, dinteles, jambas, petos, etc., la estanquidad previa a la instalación del Sistema, así como la correcta evacuación de aguas evitando su acumulación.

11.2.2 *Limitaciones de uso*

Los aspectos relativos al cálculo, aportados por el fabricante y recogidos en el punto 8 del presente documento, se refieren a una separación máxima entre montantes verticales de 90 cm y al campo de aplicación del Documento Básico de Seguridad Estructural relativo a Acciones en la Edificación del Código Técnico de la Edificación (CTE-DB-SE-AE).

Para aquellos casos que se salgan del campo de aplicación de dicho Documento Básico, o cuando se prevean acciones de viento superiores a las consideradas en el CTE-DB-SE-AE, será preciso realizar un estudio específico para determinar las acciones de viento.

11.3 **Mantenimiento y condiciones de servicio**

De acuerdo con la evaluación realizada, se considera que el Sistema tiene un comportamiento satisfactorio conforme a las exigencias relativas a durabilidad; siempre que la fachada, instalada conforme a lo descrito en el presente documento, esté sometida a un adecuado uso y mantenimiento, conforme a lo establecido en el CTE.

El sistema Mecanofas Karrat permite la sustitución individual de placas dañadas sin afectar al resto de la fachada. En función de la situación del edificio puede ser necesario un simple mantenimiento, consistente en la limpieza de las placas con chorro de agua ligeramente enjabonada.

Considerando que el proceso de fabricación y puesta en obra está suficientemente contrastado por la práctica y los resultados de los ensayos, se estima favorablemente, en este DIT, la idoneidad de empleo del Sistema propuesto por el fabricante.

LOS PONENTES

Antonio Blázquez Morales
Arquitecto

Eduardo Lahoz Ruiz
Arquitecto

12. OBSERVACIONES DE LA COMISIÓN DE EXPERTOS

Las principales observaciones formuladas por la Comisión de Expertos ⁽¹³⁾ en la reunión celebrada el día 20 de Noviembre de 2007, fueron las siguientes:

1. Deberá comprobarse que todos los elementos metálicos que se incorporen al sistema no originen problemas de corrosión.
2. Dado que los perfiles no son continuos, se deberá extremar la nivelación en cada tramo.
3. Deberá considerarse el procedimiento a seguir para permitir la limpieza del revestimiento. Si se adopta un sistema de góndolas, deberán preverse carriles u otros métodos para evitar daños al revestimiento.
4. Se deberá tener en cuenta que las placas de colores oscuros son más sensibles a la radiación solar, por lo se recomienda valorar con cuidado la elección del color para aquellos paramentos situados en zonas de altas temperaturas.
5. Se recuerda que los sistemas de revestimiento de fachadas ventiladas no garantizan con su hoja exterior de revestimiento la estanquidad del cerramiento. En todo caso se recomienda remitirse a las especificaciones del CTE DB HS-1 en lo relativo a la protección frente a la humedad.
6. Para condiciones excepcionales de alta exposición a cloruros, se recomienda utilizar las fijaciones de acero inoxidable AISI 316.
7. Se recomienda asegurar en el montaje que la subestructura vertical pueda permitir adecuadamente tanto las dilataciones térmicas previstas como las posibles flechas del elemento soporte estructural.

⁽¹³⁾ La Comisión de Expertos estuvo integrada por asistentes de los siguientes organismos y entidades:

- Consejo Superior de los Colegios Oficiales de Arquitectos de España.
- FCC Construcción S.A.
- Ferrovial Agromán S.A.
- Laboratorio de Ingenieros del Ejército.
- Instituto de Ciencias de Construcción Eduardo Torroja (IETcc).
- Instituto de materiales y Construcciones (INTEMAC).
- QUALIBÉRICA S.A.
- SOCOTEC IBERIA S.A.
- Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

FIG. 1. ESQUEMA GENERAL Y DETALLE DEL MONTAJE DEL SISTEMA

FIG. 2. PERFILES S-7

FIG.3. COMPONENTES DE LA SUBESTRUCTURA HORIZONTAL

FIG. 4. COMPONENTES DE LA SUBESTRUCTURA VERTICAL

306.043	S-7 ESCUADRA S-90	UND	
306.035	S-7 ESCUADRA R-90	UND	
306.027	S-7 ESCUADRA S-110	UND	
306.019	S-7 ESCUADRA R-110	UND	
306.092	S-7 ESCUADRA S-150	UND	
306.084	S-7 ESCUADRA R-150	UND	
306.068	S-7 ESCUADRA S-190	UND	
306.050	S-7 ESCUADRA R-190	UND

FIG. 5. DESPIECE DEL SISTEMA.

FIG. 6. DETALLE TIPO DE FACHADA. SECCIÓN VERTICAL

FIG. 7. DETALLE DE ESQUINA. PLANTA

FIG. 8. DETALLE DE RINCÓN. PLANTA

- ① Soporte
- ② Perfil de unión entre montantes (suministro opcional)
- ③ Montante longitud ≤ 6500 mm (suministro opcional)
- ④ Escuadra de sustentación (suministro opcional)
- ⑤ Travesaño longitud ≤ 6000 mm
- ⑥ Perfil de unión entre travesaños, de longitud 300 mm
- ⑦ Escuadra de retención (suministro opcional)
- ⑧ Tornillo autotaladrante 5.5 x 19 mm acero inox. A2

- ⑨ Placa con perfiles S7 adheridos por trasdós
- ⑩ Juntas horizontal y vertical (4 a 10 mm)
- ⑪ Angular para unión en esquina atornillado a travesaños
- ⑫ Aislamiento térmico (si procede)
- ⑬ Pasador M.8 x 60, arandela y tuerca acero inox. A2
- ⑭ Placa de esquina con tratamiento de cantos
- ⑮ Anclaje a soporte (según proyecto)
- ⑯ Placa de rincón

FIG. 9. DETALLES DE MONTAJE DE APLACADO

FIG. 10. DETALLES DE MONTAJE DE SUBESTRUCTURA

FIG. 11. DETALLE DE ARRANQUE Y CORONACIÓN DE FACHADA

- ① Travesaño longitud ≤ 6000 mm
- ② Placa de arranque con perfiles S7 adherido por trasdós
- ③ Placa de coronación con perfiles S7 adherido por trasdós
- ④ Placa de ventana con perfiles S7 adherido por trasdós
- ⑤ Sellado continuo
- ⑥ Fijación de remate de chapa (según proyecto)
- ⑦ Banda impermeabilizante (según proyecto)
- ⑧ Remate de chapa (según proyecto)
- ⑨ Perfilería (tubo, angular) auxiliar (según proyecto)
- ⑩ Fijación de perfilería auxiliar a soporte (según proyecto)
- ⑪ Carpintería y acristalamiento (según proyecto)
- ⑫ Aislamiento térmico (según proyecto)
- ⑬ Remate de chapa vista (dintel, jamba o vierteaguas)
- ⑭ Placa de esquina con tratamiento de cantos
- ⑮ Perfilería auxiliar de dintel (según proyecto)
- ⑯ Placa de dintel con perfiles S7 adheridos por trasdós
- ⑰ Placa de jamba con perfiles S7 adheridos por trasdós
- ⑱ Placa de vierteaguas adherida a perfil
- ⑲ Perfilería auxiliar de vierteaguas (según proyecto)
- ⑳ Perfil de esquina para unión de travesaños
- ㉑ Sellado de silicona neutra
- ㉒ Cordón continuo de espuma de polietileno
- ㉓ Tubo hueco de aluminio
- ㉔ Angular de aluminio
- ㉕ Escuadra de sustentación / retención (según proyecto)
- ㉖ Anclaje a soporte (según proyecto)

FIG.12. VENTANA A HACES EXTERIORES

- ① Travesaño longitud ≤ 6000 mm
- ② Placa de arranque con perfiles S7 adherido por trasdós
- ③ Placa de coronación con perfiles S7 adherido por trasdós
- ④ Placa de ventana con perfiles S7 adherido por trasdós
- ⑤ Sellado continuo
- ⑥ Fijación de remate de chapa (según proyecto)
- ⑦ Banda impermeabilizante (según proyecto)
- ⑧ Remate de chapa (según proyecto)
- ⑨ Perfilería (tubo, angular) auxiliar (según proyecto)
- ⑩ Fijación de perfilería auxiliar a soporte (según proyecto)
- ⑪ Carpintería y acristalamiento (según proyecto)
- ⑫ Aislamiento térmico (según proyecto)
- ⑬ Remate de chapa vista (dintel, jamba o vierteaguas)
- ⑭ Placa de esquina con tratamiento de cantos
- ⑮ Perfilería auxiliar de dintel (según proyecto)
- ⑯ Placa de dintel con perfiles S7 adheridos por trasdós
- ⑰ Placa de jamba con perfiles S7 adheridos por trasdós
- ⑱ Placa de vierteaguas adherida a perfil
- ⑲ Perfilería auxiliar de vierteaguas (según proyecto)
- ⑳ Perfil de esquina para unión de travesaños
- ㉑ Sellado de silicona neutra
- ㉒ Cordón continuo de espuma de polietileno
- ㉓ Tubo hueco de aluminio
- ㉔ Angular de aluminio
- ㉕ Escuadra de sustentación / retención (según proyecto)
- ㉖ Anclaje a soporte (según proyecto)

FIG. 13. VENTANA A HACES INTERMEDIOS

- ① Travesaño longitud ≤ 6000 mm
- ② Placa de arranque con perfiles S7 adherido por trasdós
- ③ Placa de coronación con perfiles S7 adherido por trasdós
- ④ Placa de ventana con perfiles S7 adherido por trasdós
- ⑤ Sellado continuo
- ⑥ Fijación de remate de chapa (según proyecto)
- ⑦ Banda impermeabilizante (según proyecto)
- ⑧ Remate de chapa (según proyecto)
- ⑨ Perfilera (tubo, angular) auxiliar (según proyecto)
- ⑩ Fijación de perfilera auxiliar a soporte (según proyecto)
- ⑪ Carpintería y acristalamiento (según proyecto)
- ⑫ Aislamiento térmico (según proyecto)
- ⑬ Remate de chapa vista (dintel, jamba o vierteaguas)
- ⑭ Placa de esquina con tratamiento de cantos
- ⑮ Perfilera auxiliar de dintel (según proyecto)
- ⑯ Placa de dintel con perfiles S7 adheridos por trasdós
- ⑰ Placa de jamba con perfiles S7 adheridos por trasdós
- ⑱ Placa de vierteaguas adherida a perfil
- ⑲ Perfilera auxiliar de vierteaguas (según proyecto)
- ⑳ Perfil de esquina para unión de travesaños
- ㉑ Sellado de silicona neutra
- ㉒ Cordón continuo de espuma de polietileno
- ㉓ Tubo hueco de aluminio
- ㉔ Angular de aluminio
- ㉕ Escuadra de sustentación / retención (según proyecto)
- ㉖ Anclaje a soporte (según proyecto)

FIG. 14. VENTANA A HACES INTERIORES

Foto 1. Viviendas en Manresa, Barcelona. Gres porcelánico

Foto 5. Hotel en Barcelona. Gres porcelánico

Foto 2. Facultad en Castellón. Gres porcelánico

Foto 6. Hotel en Málaga. Gres porcelánico

Foto 3. Viviendas en Barcelona. Pizarra y Lútila

Foto 7. Viviendas en Almería. Piedra natural

Foto 4. Viviendas en Barcelona. Gres porcelánico y HPL-EDF.

Foto 8. Viviendas en Calella, Barcelona. Gres porcelánico

Documento de Idoneidad Técnica

- 5.2.3. DIT 405-R (2008): Sistema de revestimiento de fachadas ventiladas mediante bandejas procedentes de paneles LARSON® PE, FR y Metals FR:** Es un Documento de Idoneidad Técnica en el que se evaluó favorablemente la idoneidad de empleo del sistema de revestimiento de fachadas ventiladas a base de elementos conformados con bandejas con y sin perfiles adheridos, a partir de paneles LARSON® PE, FR y Metals FR, paneles composite de aluminio, acero inoxidable, cobre y zinc.

**MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS NO TRADICIONALES DE CONSTRUCCIÓN
DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA**

405R/08

C/ Serrano
Galvache 4.
28033 MADRID
España

**Sistema de revestimiento de fachadas
ventiladas mediante bandejas procedentes de
paneles LARSON® PE, FR y Metals FR**

RENOVACIÓN

Beneficiario: ALUCOIL, SA
Planta de fabricación: C/ Ircio, parcelas R72-R77. P.I. Bayas
09200 MIRANDA DE EBRO (Burgos) España
Tel: +34 947 333320 www.alucoil.es
Fax: +34 947 324913 alucoil@alucoil.es

CDU: 69.022.325
Bardage
Cladding kit

MUY IMPORTANTE

El DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA constituye, por definición, una apreciación técnica favorable por parte del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, de la aptitud de empleo en construcción de materiales, sistemas y procedimientos no tradicionales destinados a un uso determinado y específico. No tiene, por sí mismo, ningún efecto administrativo, ni representa autorización de uso, ni garantía.

Antes de utilizar el material, sistema o procedimiento al que se refiere, es preciso el conocimiento íntegro del Documento, por lo que éste deberá ser suministrado, por el titular del mismo, en su totalidad.

La modificación de las características de los productos o el no respetar las condiciones de utilización, así como las observaciones de la Comisión de Expertos, invalida la presente evaluación técnica.

Cualquier reproducción de este Documento debe ser autorizada por el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Este Documento consta de 23 páginas.

DECISIÓN NÚM. 405R/08

EL DIRECTOR DEL INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA,

- en virtud del Decreto número 3.652, de 26 de diciembre de 1963, de la Presidencia del Gobierno, por el que se faculta al Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja para extender el DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA de los materiales, sistemas y procedimientos no tradicionales de construcción utilizados en la edificación y obras públicas, y de la Orden nº. 1.265/1998, de 23 de diciembre, del Ministerio de Relaciones con las Cortes y de la Secretaría del Gobierno por la que se regula su concesión,

considerando el artículo 5.2, apartado 5, del Código Técnico de la Edificación (en adelante CTE) sobre conformidad con el CTE de los productos, equipos y sistemas innovadores, que establece que un sistema constructivo es conforme con el CTE si dispone de una evaluación técnica favorable de su idoneidad para el uso previsto,

- considerando la solicitud presentada por la sociedad ALUCOIL SA, situada en Miranda de Ebro (Burgos), para la Renovación del DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA DIT 405 al sistema de revestimiento de fachadas ventiladas mediante bandejas procedentes de paneles LARSON® PE (anteriormente denominados LARSON® PCA), ampliando el sistema por un lado con los paneles denominados paneles LARSON® FR y los paneles LARSON® METALS FR y por otro, de su fabricación,
- de acuerdo con los Estatutos de la Union Européenne pour l'Agrément technique dans la construction (UEAtc),
- teniendo en cuenta los informes y resultados de los ensayos presentados al Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, así como las observaciones formuladas por la Comisión de Expertos en sesión celebrada el día 5 de noviembre de 2008,

DECIDE:

Conceder el DOCUMENTO DE IDONEIDAD TECNICA número 405R/08 al **sistema de revestimiento de fachadas mediante bandejas procedentes de paneles LARSON® PE, LARSON® FR y LARSON® METALS FR**, fabricado y distribuido por la sociedad **ALUCOIL SA**, considerando que:

La evaluación técnica realizada permite concluir que el sistema **es CONFORME CON EL CTE, siempre que se respete el contenido completo del presente documento y en particular las siguientes condiciones:**

CONDICIONES GENERALES

El presente Documento de Idoneidad Técnica avala exclusivamente al sistema constructivo propuesto por el beneficiario, debiendo para cada caso, y de acuerdo con la Normativa vigente, acompañarse del preceptivo proyecto de edificación que, a su vez, deberá llevarse a término mediante la dirección de obra correspondiente. Será el proyecto de edificación el que contemple en cada caso, las acciones que el sistema transmite a la estructura general del edificio, asegurando que éstas son admisibles. El beneficiario, para cada aplicación, proporcionará asistencia técnica sobre el sistema y sus componentes de modo que permita la completa definición y ejecución del revestimiento de la fachada. En particular, suministrará la memoria técnica de cálculo acorde al proyecto para su consideración por parte de la Dirección Facultativa en la redacción del proyecto específico de fachada. En general, se tendrán en cuenta, tanto en el proyecto como en la ejecución de la obra, todas las prescripciones contenidas en las normativas vigentes; en particular como recordatorio se cita el Código Técnico de la edificación (CTE).

CONDICIONES DE FABRICACIÓN Y CONTROL

El beneficiario del DIT realizará un control sistemático sobre la producción en fábrica (materias primas, proceso de fabricación y producto acabado) tal y como se detalla en el informe técnico. En particular, verificará las características de identificación de los paneles (LARSON® PE, LARSON® FR y LARSON® METALS FR). La configuración de las bandejas se realizará en taller por empresas especializadas, reconocidas por el beneficiario, y bajo asistencia técnica de ALUCOIL SA; dichas empresas asegurarán que la manipulación de los paneles y configuración de las bandejas son conformes con el presente Documento.

CAMPO DE APLICACIÓN

El sistema de construcción evaluado en el presente documento está previsto para el revestimiento de fachadas ventiladas. Se configura por medio de bandejas procedentes de paneles LARSON® PE, LARSON® FR y LARSON® METALS FR. Este sistema no contribuye a la estabilidad de la edificación.

CONDICIONES DE UTILIZACIÓN Y PUESTA EN OBRA

La utilización y puesta en obra de este sistema deberá realizarse por empresas especializadas reconocidas por el beneficiario, y bajo asistencia técnica de ALUCOIL SA; dichas empresas asegurarán que la utilización del sistema se efectúa en las condiciones y campos de aplicación cubiertos por el presente documento y respetando las observaciones formuladas por la Comisión de Expertos. Una copia del listado actualizado de empresas instaladoras reconocidas por ALUCOIL SA, estará disponible en el IETcc. Por tanto quedarán amparadas las condiciones de ejecución de aquellas obras donde se respete lo especificado en el presente Documento y hayan sido además certificadas por el instalador. Se adoptarán todas las disposiciones necesarias relativas a la estabilidad de las construcciones durante el montaje, a los riesgos de caída de cargas suspendidas, de protección de personas y, en general, se tendrán en cuenta las disposiciones contenidas en los reglamentos vigentes de Seguridad y Salud en el Trabajo.

VALIDEZ

El presente Documento de Idoneidad Técnica número 405R/08 es válido durante un período de cinco años a condición de:

- que el fabricante no modifique ninguna de las características del sistema indicadas en el presente Documento de Idoneidad Técnica,
- que el fabricante realice un autocontrol sistemático de la producción tal y como se indica en el Informe Técnico,
- que el autocontrol del fabricante esté sometido a supervisión por un organismo independiente de control, reconocido por el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, al que se remitirá el resultado de las supervisiones,
- que anualmente se realice un seguimiento por parte del Instituto, que constate el cumplimiento de las condiciones anteriores, visitando, si lo considera oportuno, alguna de las realizaciones más recientes.

Con el resultado favorable del seguimiento, el IETcc emitirá anualmente un certificado que deberá acompañar al DIT, para darle validez.

Este Documento deberá, por tanto, renovarse antes del 30 de diciembre de 2013.

Madrid, 30 de diciembre de 2008.

EL DIRECTOR DEL INSTITUTO DE CIENCIAS DE
LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA

D. Carlos Miravittles Torras.

INFORME TÉCNICO

1. OBJETO

El sistema objeto de la presente evaluación es una unidad de obra cuyo uso previsto es el revestimiento de fachadas ventiladas en edificación. Está configurada principalmente por bandejas conformadas a partir de paneles compuestos denominados comercialmente (LARSON® PE, LARSON® FR y LARSON® METALS FR) colgadas sobre una subestructura de perfilería de aluminio que a su vez se sustenta sobre paramentos soportes, planos y verticales, de fábrica de ladrillo u hormigón, en obra nueva o rehabilitación (véase información gráfica). La subestructura metálica deberá ir adecuadamente anclada a la estructura del edificio, o bien, a la hoja portante del muro a revestir. No forman parte del sistema y por tanto no han sido evaluados, los anclajes de la subestructura al soporte, ni tampoco el aislamiento térmico.

2. COMPONENTES

2.1 Bandejas

Son unidades autoportantes de geometría generalmente paralelepípedica, que se presentan en obra con el acabado decorativo especificado. Se conforman en taller o fábrica a partir de los paneles mencionados y de otros elementos accesorios (pletinas, remaches y opcionalmente refuerzos). La bandeja se obtiene mediante cortes fresados y troquelados tales que, plegados a 90° sobre el panel, definen cuatro pestañas unidas entre sí por medio de los accesorios anteriormente indicados (véase información gráfica). Pueden ser suministradas por el beneficiario del sistema, o bien por talleres especializados reconocidos por el beneficiario, que seguirán las especificaciones de montaje, establecidas por éste.

Los pliegues perimetrales (pestañas) rigidizan las bandejas posibilitando con su forma incrementos de inercia de las mismas. En su pestaña superior horizontal cuentan con un pliegue complementario, mientras que en su pestaña inferior horizontal pueden contar con un pliegue complementario opcional. En sus pestañas laterales presentan al menos dos entalladuras que, al encajarse sobre las piezas de cuelgue, permitirán colgar la bandeja a la subestructura. Las distancias máximas son respectivamente 500 mm entre entalladuras y de 108 mm respecto de las esquinas de la bandeja. Sobre estas entalladuras (inferiores, superiores y centrales) se fijan mediante remaches, sendos perfiles de refuerzo que además permiten la conformación de las esquinas de las bandejas. Opcionalmente, pueden utilizarse pletinas remachadas para conformar las esquinas.

Se distinguen dos tipos, según el diseño de fachada:

- Bandejas estándar: Destinadas a resolver la parte general del revestimiento, pudiéndose colocar con su orientación longitudinal en posición vertical u horizontal según sea la modulación definida en proyecto.
- Bandejas especiales: Destinadas a resolver encuentros como esquinas y rincones (mediante formas rectas, curvas o achaflanadas) así como arranques y coronaciones de fachada. En el caso de bandejas de gran tamaño deberá preverse la colocación de perfiles y fijaciones complementarias. En ningún caso, se conformarán las esquinas por medio de encuentros a tope entre bandejas.

Ambos tipos pueden estar reforzadas mediante:

- Aumento de profundidad de pestaña de plegado.
- Doble plegado de la pestaña en forma de U o Z.
- Incorporación al trasdós de la bandeja de perfiles de aluminio (extruido, o chapa plegada) o bien conformados a partir de los paneles LARSON®, adheridos mediante un cordón continuo de adhesivo y fijados mecánicamente mediante remaches o tornillos.

El aspecto decorativo de los paneles el resultado de pretratamientos de sus superficies en el caso de las láminas de aluminio, o bien del propio acabado en zinc, cobre o acero inoxidable, que posteriormente será destinada a cara vista del cerramiento.

2.2 Subestructura

La subestructura es el medio de conexión del revestimiento ligero con el elemento soporte o estructural de la edificación, permitiendo la existencia una cámara ventilada. Opcionalmente este componente puede ser suministrado por el beneficiario. Se compone de los siguientes elementos:

2.2.1 Montantes

Están constituidos por dos tipos de aluminio, según sean las fijaciones y ménsulas para su anclaje:

- Perfil ref. LC-H1: Montante en forma de Ω que resuelve la unión con las ménsulas por medio de pasadores.
- Perfil ref. LC2: Montante, que resuelve la unión con las ménsulas por medio de tornillos.

2.2.2 Pieza para cuelgue de bandeja

Perfil ref. LC3 que permite la regulación en altura del cuelgue de las bandejas, fijándose al montante mediante remaches o tornillos.

2.2.3 Ménsulas

Son los elementos de unión de la subestructura vertical al elemento o muro soporte. Pueden estar constituidas por los siguientes perfiles:

- Perfiles ref. LC-H2, con sección en U, 3 mm de espesor y profundidades de 50, 70, 90, 110, 130 y 150 mm de espesor, previstos para el anclaje del montante LC-H1.
- Perfiles ref LC1, con sección en L, 3 mm de espesor y profundidades 70, 85, 100, 115, 135, y 155 mm previstos para el anclaje del montante LC2. Opcionalmente, pueden utilizarse también para la fijación del montante LC-H1 al soporte.

3. MATERIALES

3.1 Bandejas

3.1.1 Paneles LARSON®

Paneles sándwich que resultan de un proceso industrial en línea consistente en adherir de forma continua en ambos lados de un núcleo no aislante, dos láminas metálicas con el acabado considerado. En función de su composición y reacción al fuego se distinguen los siguientes tipos:

- Con chapas lacada de aluminio aleado ⁽¹⁾:
 - LARSON® PE: Panel no ignífugo con núcleo de polietileno de baja densidad y doble cobertura de láminas lacadas de aluminio.
 - LARSON® FR: Panel ignífugo con núcleo de polietileno de baja densidad y cargas minerales.
- Con chapas de cobre, zinc o acero inoxidable (Gama de paneles denominada LARSON® METALS FR⁽²⁾): Son paneles ignífugos con núcleo a base de polietileno y cargas minerales y doble cobertura metálica con las siguientes opciones y denominaciones comerciales:
 - a. Cobre⁽³⁾ LARSON® COBRE FR
 - b. Cinc ⁽⁴⁾: prepatinado (exterior) y natural (interior) LARSON® ZINC FR
 - c. Acero inoxidable⁽⁵⁾: LARSON® INOX FR.

⁽¹⁾ Será conforme con las siguientes Normas:

-UNE EN 573-3: Aluminio y aleaciones de aluminio. Composición química y forma de productos de forja.
 - UNE EN 485-2: Aluminio y aleaciones de aluminio. Chapas, bandas y planchas. Parte 2. Características mecánicas.
 - UNE EN 1396: Aluminio y aleaciones de aluminio. Chapa y banda recubierta en continuo para aplicaciones generales. Especificaciones.

⁽²⁾ Bajo pedido, pueden fabricarse paneles Larson Metals PE

⁽³⁾ Será conforme con la Norma UNE EN 1172: Cobre y aleaciones de cobre. Chapas y bandas para edificación.

⁽⁴⁾ Será conforme con la Norma UNE EN 1179: Cinc y aleaciones de cinc. Cinc primario y la Norma UNE EN 988: Cinc y aleaciones de cinc. Especificaciones para productos laminados planos para la construcción.

3.1.1.1. Características del panel

Características de panel estándar	LARSON		LARSON METALS FR		
	PE	FR	Cobre	Zinc	Inox
Reacción al fuego (euroclase) (chapa de aluminio lacado)	F	B, s1- d0	B, s1- d0		
Anchuras nominales (mm).[tolerancias]	1 500 [-0, +2,0]		1 000 [-0, +2,0]		
Longitud nominal (mm) [tolerancias]	5 000 [-0, +4,0]				
Falta de escuadrado (Diferencia entre diagonales mm)	± 3,0				
Espesor nominal (mm) [tolerancias]	4,0 [-0,+0.2]				
Peso/superficie (kg/m ²) [tolerancia %]	5.5 ±10%	7.65 ±10%	10.42 ±10%	12.20 ±10%	8.61 ±10%
Rigidez a flexión EI (kN.cm ² /m) (valores teóricos)	1846	2150	2130	2686	2891
Resistencia a la deslaminación por pelado. Momento torsor (Nmm/mm)	≥ 52				
Coefficiente de dilatación térmica lineal del núcleo (transv) (mm/m.K)	67,8 x10 ⁻⁶	2,4 x 10 ⁻⁶			

3.1.1.2 Componentes del panel

a. Chapas metálicas conformes con las características indicadas en la tabla adjunta:

Características	Aluminio	Cobre	Zinc	Inox
Aleación	5005 H22	SF Cu	Zn 99,99	AISI 316
Espesor de chapa (mm) [exterior/interior]	0,50	0,30	0,50	0,25 0,20
Módulo Elasticidad E (MPa)	70 000	120 000	82 000	200 000
Resistencia a la rotura por tracción R _m (MPa)	≥ 125	≥ 240	≥ 150	≥ 750
Límite elástico R _{p 0,2} (MPa)	80	180	132	730
Alargamiento A ₅₀ (%)	≥ 7	≥ 8	≥35	≥15
Tensión admisible σ (MPa)	51	102	57	125
Coefficiente de dilatación térmica lineal (mm/m K ⁻¹)	23.10 ⁻⁶	17,1.10 ⁻⁶	26.10 ⁻⁶	12.10 ⁻⁶

⁽⁵⁾ Será conforme con la Norma UNE EN 10088-2: Aceros inoxidables. Parte 2: Condiciones técnicas de suministro para chapas y bandas de acero resistentes a la corrosión para usos generales.

Las caras externas de las chapas de aluminio expuestas a la intemperie, estarán revestidas⁽⁶⁾ por un sistema de recubrimiento orgánico (bicapa o tricapa) aplicado en continuo a base de pvdf, (fluoruro de polivinideno) con los valores declarados siguientes:

Característica	Bicapa	Tricapa
Espesor de pintura (μ)	25	37
Brillo 60 ° (Gloss unit)	30	
Dureza lápiz	HB	
Flexibilidad	1T	
Resistencia MEK	100	
Resistencia a niebla salina	Clase 3	
Resistencia a humedad	Sin cambios	
QUV B (500 h)	$\Delta E \leq 1$ Reducción de brillo <10%	

Las caras externas de las chapas no expuestas, están revestidas de un recubrimiento sólido (pintura). Las caras internas de las chapas en contacto con el núcleo, están revestidas de un barniz epoxi o de una imprimación para facilitar la adherencia al núcleo.

b. Núcleo

	Características de núcleo		
	Composición	Densidad	Color
LARSON® PE	Polietileno de baja densidad	900±10 % kg/m ³	negro
LARSON® FR	Polietileno de baja densidad con cargas minerales	1640±10 % kg/m ³	blanco

- c. Lámina adhesiva de composición específica que aplicada en continuo durante la fabricación de los paneles, permite la unión permanente entre chapas y núcleo.
- d. Film de protección de 100 μm de espesor, de colores blanco y azul, con flechas de indicación del sentido de laminación.

3.1.2 Accesorios para conformar bandejas

- 3.1.2.1 Remache ciego ISO 15973-4,8x16 AiA /St. Conforme con la Norma UNE EN ISO 15973 con cuerpo de aluminio ⁽⁷⁾ de dimensiones 4.8 x 16 mm y vástago de acero inoxidable A2, cuerpo de fondo cerrado y cabeza alomada y ancha de 16 mm de diámetro (Ej: Remache L.R.Etanco ALU/INOX C16, siendo su valor característico de resistencia a la tracción de 101 daN y su valor característico de resistencia a cizalla de 257

⁽⁶⁾ Según carta estándar de quince colores de ALUCOIL. SA. Otros colores y brillos pueden ser aplicados a petición del cliente y tras consulta con beneficiario. Algunos acabados se fabrican exclusivamente en acabado tricapa

⁽⁷⁾ Para el caso particular de paneles LARSON COBRE FR deben utilizarse remaches ciegos ISO 15973 4,8 X 10 St/St, de cuerpo y vástago de acero inoxidable e idénticas o superiores características geométricas y mecánicas que las especificadas para los remaches indicados.

daN). Se utilizarán para la fijación de pletinas o perfiles de refuerzo LC-40R a pestañas de bandejas, así como de bandejas a montantes y, finalmente de piezas de cuelgue LC3 a las alas de los montantes.

- 3.1.2.2 Perfil de refuerzo de entalladura ref. LCR-40 (véase figura) o bien pletinas de 30x24: Son piezas de chapa de aluminio ⁽⁸⁾ de 2 mm de espesor y de aleación 3003-H16. En el caso de bandejas procedentes de paneles LARSON COBRE FR deben utilizarse perfiles de chapa de aluminio lacados en pintura poliéster Termolacado de 60 micras con el fin de evitar el par galvánico.

3.1.3 Accesorios para reforzar bandejas

- 3.1.3.1 Adhesivo e imprimación: Se utiliza un adhesivo específico monocomponente de color blanco, a base de poliuretano que endurece en contacto con humedad. Las características declaradas por el proveedor se indican en la tabla adjunta:

Densidad (g/cm ³)	1,18
Tiempo (min) de formación de piel 23 °C y 50% HR	20
Temperatura de servicio (°C)	-40 a +90
Temperatura de aplicación (°C)	+5 a +35

- 3.1.3.2 Refuerzos horizontales o verticales (véanse figuras). Son perfiles angulares procedentes de chapa plegada de aluminio aleado 5000 o bien conformados a partir de paneles LARSON® (preferiblemente FR), adheridos al trasdós de la bandeja y remachados a las pestañas perpendiculares mediante los remaches especificados en el apartado 3.1.2.1. Los refuerzos verticales presentan entalladuras para permitir su cuelgue sobre las piezas LC3 (véanse figuras 4a y 4b).

3.2 Subestructura y fijaciones

3.2.1 Montantes

Son perfiles extruidos de aleación de aluminio 6063 T5 de 6 m de longitud máxima, con acabado natural y módulo elástico de 70 000 MPa y las siguientes características específicas:

Perfiles de aluminio	LCH-1	LC2
Espesor medio (mm)	2,5	2
Longitud máxima de fabricación (mm)	6 000	6 000
Peso teórico (kg/m)	0,91	1,66
Inercia I _y (cm ⁴) del perfil	5,90	14,72
Momento resistente W _y (cm ³)	3,04	5,30

⁽⁸⁾ En caso de bandejas procedentes de paneles LARSON COBRE se utilizarán perfiles y/o pletinas del mismo tipo de aluminio y espesor, pero revestidas por un recubrimiento termolacado de poliéster de 60 μm de espesor.

3.2.2 Pieza de cuelgue LC3 con protección

Perfil de aleación de aluminio 6063 T5, con un espesor medio del perfil 2,5 mm, un peso teórico 0,925 kg/ml y un acabado natural. Presentan protegida la zona de cuelgue mediante una pieza especial de elastómero de 1 mm de espesor.

3.2.3 Fijaciones de pieza de cuelgue LC3

Se utilizarán los remaches especificados en el apartado 3.1.2.1, o bien tornillos autotaladrantes ISO 15480 ST 4,8x20, es decir tornillos de acero con cabeza hexagonal y arandela estampada, con rosca autorroscante de un hilo y un ángulo de fileteado de 60° y dimensiones: 4,8 x 20 mm, de geometría conforme con la Norma UNE EN ISO 15482⁽⁹⁾ y características mecánicas conformes con la Norma UNE EN ISO 10666⁽¹⁰⁾. (Ej: Tornillo Fastovis SF/Zn Etanco siendo su valor característico de resistencia a la tracción de 95 daN y su valor característico de resistencia a cizalla de 110 daN).

3.2.4 Ménsulas

Perfiles para el anclaje de montantes a elemento soporte, en U (ref. LC-H2) o en L (ref. LC1), configurados por perfil extruido de aluminio de aleación 1050A H18 y 3 mm de espesor (véase figuras).

3.2.5 Fijaciones de montantes a ménsulas

3.2.5.1 Fijación de montante LC1 a ménsula LC2: Conjunto de tornillo con cabeza de martillo (ref. LC8) (M8 x 17) de acero, más tuerca hexagonal con valona, conforme con las Normas ISO 898 y DIN 267, todo ello con protección anticorrosiva (Deltatone).

3.2.5.2 Fijación de montante LC-H1 a ménsula LC-H2

Puede ser un perno roscado con doble tuerca hexagonal y arandelas en sus extremos, o bien un tornillo roscado M8x80 de acero cincado más una tuerca hexagonal y su arandela. Las arandelas serán planas, de clase C (dureza HV 140) y diámetro nominal de la rosca 10, de acero cincado con bajo contenido en carbono y conformes con la Norma UNE EN ISO 7091⁽¹¹⁾ Complementariamente, en las ménsulas de sustentación deben utilizarse además tornillos autotaladrantes de acero cincado con

⁹ UNE EN ISO 15482: Tornillos autotaladrantes con cabeza hexagonal de arandela, con rosca autorroscante. Esta norma es la versión española de la Norma DIN EN ISO 15482, que anula y sustituye a la Norma DIN 7504.

⁽¹⁰⁾ UNE EN ISO 10666: Tornillos autotaladrantes y autorroscantes. Características mecánicas y funcionales

⁽¹¹⁾ UNE EN ISO 7091:2000: Arandelas planas. Serie Normal. Productos de clase C

arandela estampada de características iguales a las indicadas en el punto 3.2.3.

4. FABRICACIÓN

4.1 Planta de producción

Los paneles LARSON® son fabricados por ALUCOIL SA, en la planta situada en Miranda de Ebro y son comercializados en España por esta misma empresa.

4.2 Paneles

4.2.1 Proceso de fabricación

Los paneles LARSON® son desarrollados, fabricados y comercializados por ALUCOIL, S.A., en la planta de laminación y transformados de la división de construcción, situada en la dirección siguiente: Polígono Industrial de Bayas, C/ Ircio parcelas R72-R77, en Miranda de Ebro (Burgos) – España. La fabricación de los paneles se realiza según el siguiente proceso:

A partir de la materia prima, consistente en gránulos sólidos de resina termoplástica, se obtiene, aplicando calor y presión, un conformado laminar de polietileno que posteriormente, a lo largo de una línea de producción continua, va recibiendo por adherencia a ambos lados, láminas metálicas de la misma anchura.

Al final de la línea, mediante corte se obtienen los paneles de producto acabado, que presentan el acabado en su cara vista. Las bandejas, dispuestas para su colocación en obra, son preparadas en fábrica o bien talleres especializados, siguiendo las especificaciones de conformado y preparación establecidas por el beneficiario.

4.3 Presentación del producto

Los paneles Larson se identifican mediante un sistema de impresión que codifica la plancha con la fecha y la hora de fabricación en la cara interior.

5. CONTROLES

5.1 Control en fábrica

Se realizan controles de calidad de todos los elementos que conforman el panel, según procedimientos establecidos por el fabricante. El sistema de calidad de ALUCOIL está certificado por AENOR en conformidad con la norma ISO 9001:2000 según consta en el expediente ER-0205/98. También está certificado el sistema de gestión ambiental con el nº GA-2006/0434, conforme a la Norma UNE EN ISO 14001:2004. Los controles se centran en cada una de las fases del proceso

productivo, partiendo de la materia prima suministrada. Existe un procedimiento interno de Instrucción Técnica para la recepción cualitativa de materias primas, especificado y documentado en las Normas Internas IT-05-11C. El proceso de autocontrol comprende las siguientes fases:

5.1.1 Control de materias primas

- Características de la aleación de aluminio

Se realiza un control de la aleación utilizada, según el metal empleado, mediante el control de los certificados de calidad suministrados por el proveedor, que tienen que estar dentro de las tolerancias especificadas por las normas (relativas al menos al espesor, características mecánicas, composición química).

- Materias primas del núcleo

El control del producto base y adiciones para la fabricación del núcleo de resinas termoplásticas se realizan por cada envío de los suministradores según las especificaciones de producto internas.

- Láminas de recubrimiento

1. Espesor del metal: Se realiza un control mínimo por bobina sobre el espesor nominal de la chapa y su tolerancia. Para el caso del aluminio lacado se controla además.

2. Espesor del recubrimiento: Se realiza un control mínimo por bobina sobre el espesor nominal de recubrimiento de 37 micras, +/-6 micras (tricapa) y de 25 micras +/-4 micras (bicapa).

3. Brillo de recubrimiento: Se realiza un control mínimo por bobina basada en la norma UNE EN 13523-2.

4. Coordinadas cromáticas (sólo chapas Al lacado) Se realiza un control mínimo por bobina según ISO 7724-3

5.1.2 Control del producto terminado

Sobre los paneles resultantes del proceso se realizan controles por día de fabricación según las normas internas IT-05C-10, referentes al espesor de panel fabricado y al grado de adherencia de las láminas de metal sobre el núcleo. La medida del espesor del panel de 4 mm tiene como objeto controlar que no se supere la tolerancia dimensional de -0 mm/+0,2 mm.

La adherencia en la separación de la cobertura del núcleo debe ser superior a 52 Nmm/mm y se realizan como mínimo 2 veces por turno de fabricación, utilizando el método estándar de ensayo ASTM D 1781.

6. TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO Y MANIPULACIÓN

El período máximo de almacenamiento será de ocho meses. A los efectos se recomienda que los paneles se apilen uno encima del otro, evitando colocarlos en vertical. El apilamiento debe constar como máximo de siete palets. Se recomienda no quitar la lámina de protección hasta después de la instalación en obra.

7. PUESTA EN OBRA

7.1 Especificaciones generales

7.1.1 Definiciones del proyecto

Previamente a la instalación del sistema, en el proyecto se habrá determinado el despiece de la fachada en bandejas y la correspondiente subestructura. A tal fin, se recomienda haber definido al menos los siguientes aspectos:

- Perfiles de la subestructura, ménsulas de anclaje a soporte y sus fijaciones. En particular, se prescribirá el desplome o saliente máximo admisible del soporte en relación con la holgura de regulación en horizontal permitida por la ménsula.
- Espesor de cámara ventilada y aislamiento térmico.
- Tipo de panel y formatos de las bandejas (estándar y de encuentro) teniendo en cuenta además la definición de las juntas entre bandejas y los encuentros con huecos y elementos salientes de fachadas.
- Resolución de puntos singulares (véase 14.3)

7.1.2 Organización de la obra

Tanto en obra nueva como en rehabilitación la subestructura debe reconocerse en primer lugar el estado del soporte. Posteriormente se instalará ménsulas de anclaje y luego si es posible, el aislamiento térmico (recomendable placas rígidas hidrófobas e ignífugas) antes de la instalación de los montantes. A continuación, se ejecutará en sentido ascendente la parte general del revestimiento de fachada (partes ciegas) y finalmente bandejas de encuentro (esquinas, puntos singulares, etc).

7.1.3 Empresas instaladoras

La instalación del sistema tendrá que realizarse por

el beneficiario o bien por empresas especializadas reconocidas por él.

7.2 Preparación del soporte

La subestructura debe quedar perfectamente alineada con el fin de garantizar la planeidad del sistema de revestimiento.

Antes del montaje del sistema de placas, debe realizarse in situ una prueba de arrancamiento de los anclajes para asegurar la estabilidad y la capacidad portante del soporte.

El instalador de la fachada dará su conformidad previa al soporte antes de la colocación del sistema, el cual deberá instalarse de tal manera que tenga la nivelación y aplomado correcto, para asegurar una adecuada planicidad del revestimiento en la instalación.

7.3 Fijación de montante a ménsulas

La primera y última ménsula estará colocado como máximo a 250 mm de los extremos del perfil montante. La longitud máxima del perfil montante colocado será de 6.500 mm.

Las ménsulas de sustentación se fijarán al montante mediante tornillos autorroscantes complementarios al tornillo pasante, mientras que las ménsulas de retención permitirán los cambios por dilataciones lineales del montante, practicándose agujeros colisos en el montante.

7.4 Bandejas

En fase de puesta en obra, se deberá prestar especial atención a la direccionalidad de las bandejas (marcada con una flecha en el film protector y en su cara oculta).

Una vez instaladas, deberá retirarse este film para evitar una excesiva exposición a la luz solar y a la intemperie.

A efectos de colocación en obra, se deberán replantear la posición de las piezas de cuelgue LC3 y posteriormente si la modulación lo permite, colocar las bandejas por hiladas y en todo caso, siempre en sentido ascendente, colocando las entalladuras de las mismas sobre las piezas LC3 y posteriormente remachando las bandejas sobre las alas de los montantes en los agujeros colisos situados en la sobrepestaña horizontal superior.

8. REFERENCIAS DE UTILIZACIÓN

La fabricación de bandejas procedentes de paneles se viene realizando desde el año 1999. El fabricante suministra como referencias de utilización las siguientes obras, algunas de las cuales han sido visitadas por un técnico del IETcc. Complementariamente, se realizó una encuesta entre los usuarios del sistema, todo ello con resultado favorable.

Año	Tipo de panel/ /lacado	Tipo de Obra y dirección	Sup (m ²)
2008	LARSON PE bicapa	Hospital de Cartagena (Murcia)	22000
2008	LARSON PE bicapa	Almacén Cervezas Damm Pol Ind. El Prat de Llobregat (Barcelona)	5000
2008	LARSON PE bicapa	Torre INBISA. Plaza de Europa Avinguda de la Gran Vía . Hospitalet de Llobregat (Barcelona)	14000
2008	LARSON PE bicapa	Albergue Orfeon Martinenc. C/ Meridiana 97. Barcelona	2500
2007	LARSON Metals FR (acero inox.)	Oficinas Chempro. Talleres Mayba. Pol. Ind. Heras 49 Heras (Cantabria)	300
2006	LARSON PE bicapa	Media Markt. Centro Comercial Berceo. C/ Lérida 4 (Logroño)	1000
2002	LARSON PE tricapa	Pabellón. Circuito de velocidad de Jerez (Cádiz).	1500

9. CRITERIOS DE DISEÑO Y CÁLCULO

9.1 Acción del viento

Para dimensionar el revestimiento de bandejas frente a las cargas de viento, se considera una flecha máxima admisible en el centro de la cara vista de la bandeja de $L/30$, siendo L , la anchura de la cara vista de la bandeja o bien la distancia máxima entre refuerzos de bandeja ⁽¹²⁾. En las tablas de la página siguiente, se pueden ver ejemplos de modulación de bandejas colgadas, de acuerdo con los siguientes criterios:

- Bandeja procedente de cualquier tipo de panel LARSON ® de espesor = 4 mm.
- Profundidad de pestaña: 50 mm ó 40 mm.
- Esfuerzo admisible en el panel $\sigma_{adm} = 51$ MPa.
- Flecha máxima de perfil montante $L/200$, siendo L las distancias entre ménsulas.
- Coeficiente de seguridad $\gamma=1,75$ incluido:

⁽¹²⁾ Estos valores de flecha no suponen degradación o una deformación residual o permanente de la bandeja pero sí pueden suponer puntualmente un aspecto estético no deseado, por lo que si el proyectista desea reducir la deformación máxima admisible, deberá contactar con el beneficiario

Presión de succión (kPa)	Dimensiones de cara vista de bandejas o bien distancias entre refuerzos interiores de bandejas con pestañas laterales de 50 mm de profundidad				
	<div> </div>				
	Altura máxima H (en mm en función de determinadas longitudes L)				
	L=500 mm	L=625 mm	L=750 mm	L=1000 mm	L=1250 mm
0,50	7000	7000	7000	7000	1825
0,60	7000	7000	7000	4850	1650
0,70	7000	7000	7000	2275	1475
0,80	7000	7000	6000	1900	1400
0,90	7000	7000	4475	1650	1300
1,00	7000	7000	3300	1525	1225
1,10	7000	7000	2525	1400	1175
1,20	7000	7000	2050	1325	1125
1,40	7000	5825	1550	1175	1050
1,60	7000	4150	1350	925	775
1,80	7000	2850	1200	850	700
2,0	7000	2050	1075	800	675
2,2	7000	1700	1000	775	625
2,4	7000	1400	950	725	600
2,6	6250	1180	895	708	583

Presión de succión (kPa)	Dimensiones de cara vista de bandejas o bien distancias entre refuerzos interiores de bandejas con pestañas laterales de 40 mm de profundidad				
	<div> </div>				
	Altura máxima H (en mm en función de determinadas longitudes L)				
	L=500 mm	L=625 mm	L=750 mm	L=1000 mm	L=1250 mm
0,50	7000	7000	7000	1840	1290
0,60	7000	7000	5390	1550	1140
0,70	7000	7000	4060	1360	1020
0,80	7000	7000	3100	1240	930
0,90	7000	6800	2440	1150	860
1,00	7000	5730	2000	1070	800
1,10	7000	4850	1720	1020	750
1,20	7000	4120	1540	960	710
1,40	7000	2970	1290	860	640
1,60	7000	2970	1290	860	640
1,80	6550	1730	1040	740	540
2,0	5500	1450	960	690	500
2,2	4650	1280	900	650	470
2,4	3940	1150	850	610	440
2,6	3340	1050	810	580	410

Nota 1: La empresa ALUCOIL realiza la justificación del dimensionado de las bandejas por cada unidad de obra, de acuerdo a un programa de cálculo realizado al efecto por la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Aeronáutica de Madrid. Es necesaria una justificación personalizada del dimensionamiento de las bandejas, en función de los diferentes parámetros considerados según normativa en vigor, y en particular en aquellos casos puntuales en los que sobre alguna bandeja y debido a la situación topográfica del edificio, su altura y geometría, se puedan producir esfuerzos mayores.

Nota 2: Distancias entre ménsulas: El dimensionado de la distancia entre los puntos de anclaje del montante a la estructura portante se justifica, de forma que frente a la acción del viento, según el módulo de carga y en las condiciones establecidas en el DB SE AE, la flecha máxima entre anclajes no sea superior a L/200, siendo L la distancia entre ménsulas.

10 ENSAYOS

Se resumen a continuación los resultados de ensayos realizados para la concesión inicial y presente renovación ampliación del DIT, obtenidos en el IETcc (Informes nº 77/03 y 72/07) o bien en laboratorios reconocidos por el IETcc:

10.1 Ensayos de identificación

10.1.1 Comprobación dimensional y peso/m²

Ensayos sobre paneles LARSON® espesor 4 mm (valores medios)					
Característica	LARSON		LARSON Metals FR		
	PE	FR	Cobre	Zinc	Acero inoxidable
Espesor de panel (mm)	4.14	4.09	4.06	4.08	4.12
Espesor de chapas (mm)	0.53	0.52	0.31	0.51	0.51
Peso panel (kg/m ²)	5.52	7.57	10.39	12.25	8.63

10.2 Ensayos de aptitud de empleo

10.2.1 Ensayos sobre componentes

Ensayos sobre paneles LARSON® (valores medios)					
Característica	LARSON		LARSON Metals FR		
	PE	FR	Cobre	Zinc	Acero inoxidable
Reacción al fuego	F Sin clasificar tras test	B-s1, d0	B-s1, d0		
Carga (kN) de rotura a flexión (4 puntos)	0,244	0,182	2,425	2,08	2,198
Resistencia a deslaminación por pelado (MPa)	67,53	55,57	55,91	57,48	54,15

Ensayos sobre fijación bandeja – Perfil LC-R-40 (valores medios)					
Característica	LARSON		LARSON Metals FR		
	PE	FR	Cobre	Zinc	Acero inoxidable
Carga (kN) de rotura por arrancamiento de entalladura sin refuerzo LC-R 40	0,68	0,62	0,71	0,72	1,01
Carga (kN) de rotura por arrancamiento de entalladura con refuerzo LC-R 40	1,31	0,89	1,10	1,21	1,23

Ensayos sobre pieza ref. LC3 fijada a montante		
Característica	LC3 atornillado a montante LCH1	LC3 remachado a montante LC2
Carga (kN) de rotura por arrancamiento	3,68	3,02

Ensayos sobre montante (valores medios)		
Característica	Presión	Succión
Carga (kN) máxima a flexión en régimen elástico del montante LCH1 biapoyado (l=0,5m)	7,00	7,00

10.3 Ensayos sobre sistema completo

Ensayo sobre 3 bandejas colgadas a montantes LC2			
Dimensiones mm [H altura x A anchura x E espesor] Bandeja 1: 1500 x 1500 x 4 Bandeja 2: 1500 x 1100 x 4 Bandeja 3: 1500 x 900 x 4		LARSON PE	LARSON FR
Resistencia a impactos Diámetro de huella (mm) (Observaciones)	Cuerpo duro 1 J	Sin huella	Sin huella
	Cuerpo duro 3 J	< Φ 5 Sin rotura	< Φ 5 Sin rotura
	Cuerpo duro 10 J	< Φ 10 Sin rotura	< Φ 5 Sin rotura
	Cuerpo blando 60 J	Sin huella	Sin huella
	Cuerpo blando 300 J	Deformación sin rotura	Deformación sin rotura
	Cuerpo blando 400 J	Deformación sin rotura	Deformación sin rotura

Ensayo sobre bandeja colgada a montantes LC2			
Dimensiones mm [H altura x A anchura x E espesor] Bandeja: 1200 x 1200 x 4, con perfil LCR40 remachado y sin refuerzos int		LARSON PE	LARSON FR
Flecha (mm) en el centro de bandeja según succión del viento kPa	0,5 kPa	10,55	10,34
	0,6 kPa	11,92	11,62
	0,7 kPa	13,75	12,75
	0,8 kPa	16,77	15,85
	1,0 kPa	19,47	19,61

10.4 Ensayos de durabilidad

Ensayos sobre paneles LARSON® espesor 4mm					
Característica	LARSON		LARSON Metals FR		
	PE	FR	Cobre	Zinc	A.. inox.
Resistencia a deslaminación por pelado (MPa) tras choque térmico	64,01	66,62	52,51	70,17	53,55

Ensayos sobre perfil LCR-40 termolacado	
Resistencia al choque térmico	Sin defectos apreciables
Resistencia niebla salina 500 h	Sin defectos apreciables

Ensayos sobre chapa lacada aluminio		Δ E	Δ (%) Brillo
Resistencia QUVB 1000 h (colores estándar)	Silver Metallic	0,64	7,81
	Smoke Metallic	0,29	3,63
	Grey Metallic	0,07	0,34

11. EVALUACIÓN DE APTITUD DE EMPLEO

11.1 Cumplimiento de la reglamentación nacional

11.1.1 Seguridad estructural

El sistema de revestimiento de fachadas ventiladas evaluado no contribuye a la estabilidad de la edificación.

El cerramiento posterior o bien el soporte del revestimiento debe cumplir con la normativa correspondiente a los requisitos esenciales de seguridad estructural que le sean propios, debiendo considerarse las acciones y solicitaciones que correspondan a la incorporación de la fachada ventilada.

La unión entre la subestructura del sistema y el cerramiento posterior debe ser prevista para que durante el período de uso no se sobrepasen las tensiones límite extremas o los valores límite de durabilidad.

11.1.2 Seguridad en caso de incendio

La composición del cerramiento, incluido el aislante, debe ser conforme con el CTE, Documento Básico de Seguridad frente a incendios (DB-SI), en el caso de que el edificio u obra en cuestión esté cubierto por el ámbito de aplicación del CTE y de dicho Documento Básico. De acuerdo con los ensayos presentados, los valores obtenidos con los paneles tipo FR permiten satisfacer la exigencia de B-s3,d2 establecida a los efectos de evitar la propagación del fuego por el exterior de determinados edificios, así como por las superficies interiores de las cámaras interiores de las fachadas ventiladas. Se recomienda la utilización genérica de este tipo de paneles FR aunque cuando no exista ningún valor de exigencia, podrá utilizarse el panel LARSON PE.

11.1.3 Seguridad de utilización

Los resultados de los ensayos de aptitud de empleo del sistema superan las exigencias establecidas en las normas, guías y CTE relativos a seguridad de utilización. No obstante, teniendo en cuenta estos resultados, no es recomendable el uso de las placas o bandejas en las zonas bajas de los edificios, en las que pueden estar sometidas a choques de impacto, salvo que se disponga de las protecciones adecuadas.

11.1.4 Ahorro energético

La solución constructiva completa de cerramiento debe satisfacer las exigencias del Código Técnico de la Edificación CTE-DB-HE, relativo a Ahorro Energético, en cuanto a comportamiento higratérmico.

A efectos de cálculo de la transmitancia térmica, del

cerramiento, según se describe en el Apéndice E del CTE-DB-HE, la cámara de aire tendrá consideración de "cámara de aire muy ventilada", y la resistencia térmica total del cerramiento se obtendrá despreciando la resistencia térmica de la cámara de aire y de las demás capas entre la cámara de aire y el ambiente exterior, e incluyendo una resistencia superficial exterior correspondiente al aire en calma, igual a la resistencia superficial interior del mismo elemento (HE-1, Apéndice E).

11.1.5 Salubridad

La solución completa del cerramiento debe garantizar el grado de impermeabilidad mínimo exigido para el edificio al que se incorpore, según se describe en el Código Técnico de la Edificación CTE-DB-HS, relativo a Salubridad con objeto de satisfacer el requisito básico de protección frente a la humedad (HS-1).

A partir de la definición del sistema que figura en el Informe Técnico, en función del grado de impermeabilidad exigido, se podrá incrementar la ventilación de la cámara de aire según se describe en el CTE-DB-HS (HS-1, punto 2.3).

Los sistemas de revestimiento a base de bandejas colgadas, pueden contribuir a la obtención de una mayor estanquidad de la fachada. En cualquier caso, deberá prestarse especial atención, en el diseño de las fachadas, a la incorporación de las ventanas y de los elementos de iluminación, así como la correcta solución de los puntos singulares, fijaciones exteriores, etc., para lograr una adecuada estanquidad en dichos puntos, evitando la acumulación y filtración de agua.

La comprobación de la limitación de humedades de condensación superficiales e intersticiales debe realizarse según lo establecido en la sección HE-1 (Limitación de la demanda energética) del CTE-DB-HE (HE-1, punto 3.2.3).

Los componentes del sistema, según declara el fabricante del mismo, no contienen ni liberan sustancias peligrosas de acuerdo a la legislación nacional y europea.

11.1.6 Protección frente al ruido

Esta evaluación no considera la contribución del Sistema al comportamiento acústico del cerramiento. La solución completa del mismo y fundamentalmente el muro soporte más el aislamiento, deberán ser conformes con las exigencias del CTE.

Asimismo, se estudiará la solución constructiva del encuentro de la fachada con los elementos de separación vertical, de manera que se evite la transmisión por ruido de flancos.

11.2 Utilización del Sistema

11.2.1 Puesta en obra

Previamente a la instalación del sistema, se deberá verificar el tipo y estado del soporte para la definición del tipo y número de anclajes. Se deberá tener en cuenta, en la ejecución de puntos singulares como antepechos, dinteles, jambas, petos, etc, la estanquidad de los mismos y su impermeabilización previa si fuese necesario, así como la correcta evacuación de agua para evitar su acumulación.

11.2.2 Limitaciones de uso

Los aspectos relativos al cálculo recogidos en el apartado 9 del presente documento se refieren al campo de aplicación del Documento Básico de Seguridad Estructural relativo a Acciones en la Edificación del CTE (DB-SE-A). Para aquellos casos que se salgan del campo de aplicación de dicho Documento Básico, o bien si se prevén acciones superiores a las consideradas en dicho documento, deberá realizarse un estudio específico.

11.3. Gestión de residuos

El CTE no especifica exigencias relativas al respecto. No obstante para la gestión de residuos generados durante los procesos de fabricación y puesta en obra del sistema y en particular de adhesivos y productos de impermeabilización, se seguirán las instrucciones dadas por el suministrador de los mismos, dadas por el fabricante de los mismos, de acuerdo con la normativa vigente para cada producto. Se deberá prever la posibilidad de reciclaje de bandejas y perfiles de aluminio, tanto en caso de rechazo durante puesta en obra como en caso de desmontaje del sistema de fachada ventilada.

11.4. Mantenimiento y condiciones de servicio

De acuerdo con los ensayos presentados y las visitas a obra realizadas se considera que su durabilidad es satisfactoria siempre que además la fachada instalada esté sometida a un adecuado uso y mantenimiento. Se considera como mantenimiento normal, proceder a un lavado periódico de las bandejas mediante una mezcla de agua corriente y un detergente no alcalino y no abrasivo, que se aplicará con un cepillo, o bien con ayuda de una esponja húmeda. No está permitido el uso de disolventes.

Para la reparación de daños puntuales del revestimiento (rayas, grafitis, etc.) se aconseja contactar con el beneficiario.

Para la sustitución y/o reparación de las bandejas, se aconseja quitar la bandeja dañada, rompiéndola si es necesario. Después procederá como se indica en las figuras 16, 17 y 18.

12. CONCLUSIONES

Habiéndose verificado que en el proceso de fabricación del sistema se realiza un control de calidad que comprende un sistema de autocontrol por el cual el fabricante comprueba la idoneidad de las materias primas, proceso de fabricación y control de producto. Considerando que el proceso de fabricación y puesta en obra está suficientemente contrastado por la práctica y los resultados de los ensayos, se estima favorablemente, con las observaciones de la Comisión de Expertos en este DIT, la idoneidad de empleo del Sistema propuesto por el fabricante.

LOS PONENTES:

Antonio Blázquez Morales
Arquitecto

Eduardo Lahoz Ruiz
Arquitecto

13. OBSERVACIONES DE LA COMISIÓN DE EXPERTOS

Las principales observaciones formuladas por la Comisión de Expertos ⁽¹³⁾ en la reunión celebrada el día 5 noviembre de 2008, fueron las siguientes:

1. Todos los elementos metálicos que se incorporen al Sistema no deberán originar problemas de corrosión.
2. Las juntas de dilatación del edificio se tendrán en cuenta en relación con las juntas del revestimiento.
3. Dado que los perfiles no son continuos, se debe extremar la nivelación de los tramos.
4. Para las fachadas en general debe considerarse el procedimiento a seguir para permitir la limpieza del revestimiento. Si se adopta un sistema de góndolas, deberán preverse carriles u otros medios que eviten daños al revestimiento.
5. No es recomendable el uso de las placas o bandejas en las zonas bajas de los edificios, en las que pueden estar sometidas a choques de impacto, salvo que se disponga de las protecciones adecuadas.

⁽¹³⁾ La Comisión de Expertos estuvo formada por representantes de las siguientes Entidades:

- ACCIONA INFRAESTRUCTURAS. DIR INGENIERIA.
- Asociación de Empresas de Control de Calidad y Control Técnico Independientes (aeccti).
- Control Prevención Verificación (CPV).
- Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España (CSCAE)
- Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de Madrid (EUATM).
- FERROVIAL AGROMÁN, S.A.
- FCC Construcción S.A.
- Instituto Técnico de Inspección y Control S.A. (INTEINCO S.A.)
- Instituto Técnico de Materiales y Construcciones S.A. (INTEMAC S.A.)
- Laboratorio de Ingenieros del Ejército
- QUALIBÉRICA S.A.
- SOCOTEC IBERIA.
- Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc).

6. Se aconseja solicitar al Beneficiario del DIT asesoramiento específico sobre los valores de succión a los que pueden ser sometidas las bandejas, determinando en particular el número y las características de las fijaciones entre los elementos de la subestructura.
7. Se debe tener en cuenta que las bandejas de colores oscuros son más sensibles a la radiación solar, por lo que para aquellos paramentos situados en zonas de altas temperaturas y expuestos a la radiación solar se debe valorar con cuidado la elección del color.
8. Se recuerda que en los sistemas de fachada ventilada, la hoja exterior del revestimiento no garantiza por sí sola la estanquidad del cerramiento. En todo caso, se recomienda remitirse a las especificaciones del CTE (DB HS-1) en lo relativo a protección frente a humedad.
9. Para ambientes excepcionales de alta exposición a la presencia de cloruros, se recomienda utilizar fijaciones de acero inoxidable AISI 316.

Documento de Idoneidad Técnica

14. INFORMACIÓN GRÁFICA

14.1. CONFIGURACIONES GENERALES DEL SISTEMA

14.1.1. Opción LC-H1:

Fig.1a. Vista general

Fig.1b. Sección vertical

Fig.1c. Sección horizontal

Leyenda (cotas en mm)

- ① Bandeja procedente de panel LARSON
- ② Ménsula de sustentación (perfil ref. LC-H2) del montante fijado por tornillo pasante y dos tornillos autotaladrantes
- ③ Refuerzo oculto de entalladuras superiores e intermedias (perfil ref. LCR-40) remachado a la pestaña lateral de la bandeja
- ④ Pieza de cuelgue (perfil ref. LC 3) atornillado o remachado a montante
- ⑤ Refuerzo oculto de entalladura inferior (perfil ref. LCR-40) remachado a la pestaña lateral de la bandeja
- ⑥ Ménsula de retención (perfil ref. LC-H2) del montante fijado por tornillo pasante
- ⑦ Tornillo pasante, tuercas y arandela
- ⑧ Montante (perfil ref. LC-H1)

14.1.2. Sistema opción LC2

Fig.2a. Vista general

Fig.2b. Sección vertical

Fig.2c. Sección horizontal

Leyenda (cotas en mm)

- ① Bandeja procedente de panel LARSON
- ② Ménsula de sustentación (perfil ref. LC1)
- ③ Refuerzo oculto de entalladuras superiores e intermedias (perfil ref. LCR-40) remachado a la pestaña lateral de la bandeja
- ④ Pieza de cuelgue (perfil ref. LC 3) atornillado o remachado a montante
- ⑤ Refuerzo oculto de entalladura inferior (perfil ref. LCR-40) remachado a la pestaña lateral de la bandeja
- ⑥ Ménsula de retención (perfil ref. LC1)
- ⑦ Tornillo con cabeza de martillo y tuerca hexagonal con valona
- ⑧ Montante (perfil ref. LC2)

14.2. COMPONENTES

14.2.1 Bandejas

Fig.3a. Patrón de corte de panel (alzado)

Fig.3b Pestaña lateral y refuerzos

Fig.3c. Tipos de fresado para plegado de paneles

14.2.2 Bandejas con refuerzo

Fig.4a. Ejemplo de patrón y disposición de refuerzos verticales en trasdós de bandeja horizontal

Fig.4b. Ejemplo (despiece, patrón,y detalle) de refuerzo horizontal en trasdós de bandeja vertical

Fig.4. Perfil LC3 (planta)

Fig.5. Perfil LC-H1 (planta)

Fig.6. Perfil LC2 (planta)

Fig.7a. Ménsula LC-H2 (alzado lateral)

Fig.8a. Ménsula LC1 (alzado lateral)

Fig.7b. Ménsula LC-H2 (planta)

Fig.8b. Ménsula LC1 (planta)

14.3 EJEMPLOS DE RESOLUCIÓN DE PUNTOS SINGULARES

14.3.1 Arranque y coronación de fachadas

Fig.9. Coronación

Leyenda (cotas en mm)

- ① Bandeja de coronación con ventilación superior de cámara
- ② Refuerzos oculto de entalladuras (perfil ref. LCR-40) remachado a la pestaña lateral de la bandeja
- ③ Pieza de cuelgue (perfil ref. LC 3) atornillado o remachado a montante
- ④ Montante (perfil ref. LC-H1)
- ⑤ Ménsula de sustentación (perfil ref. LC-H2) del montante fijado por tornillo pasante y dos tornillos autotaladrantes
- ⑥ Tornillo pasante, tuerca y arandela
- ⑦ Remache de seguridad
- ⑧ Ménsula de retención (perfil ref. LC-H2) del montante fijado por tornillo pasante
- ⑨ Bandeja de arranque procedente de panel LARSON, fijada a perfil auxiliar
- ⑩ Perfil angular de aluminio fijado a montante
- ⑪ Chapa perforada de aluminio fijada a soporte

Fig.10. Arranque

4.4.2 Formación de esquinas

Fig.11. Esquina

Leyenda (cotas en mm)

- ① Bandeja estándar
- ② Pieza de cuelgue (perfil ref. LC 3) atornillado o remachado a montante
- ③ Refuerzos oculto de entalladuras (perfil ref. LCR-40) remachado a la pestaña lateral de la bandeja
- ④ Montante (perfil ref. LC-H1)
- ⑤ Ménsula (perfil ref. LC-H2)
- ⑥ Bandeja de encuentro de dimensiones X,Y a consultar con beneficiario
- ⑦ Tornillo pasante, tuerca y arandelas

Fig.12. Rincón

Fig.13. Dintel

Fig.14. Alféizar

Fig.15. Jamba

Leyenda (cotas en mm)

- ① Bandeja estándar
- ② Refuerzos oculto de entalladuras (perfil ref. LCR-40) remachado a la pestaña lateral de la bandeja
- ③ Pieza de cuelgue (perfil ref. LC 3) atornillado o remachado a montante
- ④ Ménsula de retención (perfil ref. LC-H2) del montante fijado por tornillo pasante
- ⑤ Remate de chapa de aluminio
- ⑥ Panel LARSON plegado para formación de vierteaguas o bien chapa de aluminio adherido a perfiles auxiliares
- ⑦ Perfil auxiliar
- ⑧ Montante
- ⑨ Ménsula de sustentación (perfil ref. LC-H2) del montante fijado por tornillo pasante y tornillos complementarios
- ⑩ Panel LARSON o bien chapa plegada de aluminio para formación de dintel.
- ⑪ Bandeja para formación de jamba

Leyenda (cotas en mm)

- ① Sistema de pegado SIKA
- ② Angular de espera LARSON
- ③ Pieza especial de cuelgue
- ④ Tornillo
- ⑤ Bandeja de sustitución

Fig.16. Despiece

Fig.18. Sección horizontal

Fig.17. Sección vertical

Foto1: Albergue Martinenç (Barcelona)

Foto 5: Oficinas en Heras (Santander)

Foto 2: Edificio Salinas en Gijón (Asturias)

Foto 6: Torre INBISA (Barcelona)

Foto 3: Complejo Oceanic Center (Valencia)

Foto 7: Centro comercial en Logroño (La Rioja)

Foto 4: Oficinas en San Cugat del Vallés (Barcelona)

Foto 8: Hospital en Albacete

CONTRAPORTADA EN BLANCO

- 5.2.4 DIT 553A/12 (2012): Sistema de revestimiento de fachadas ventiladas mediante bandejas o placas procedentes de paneles compuestos de aluminio stacbond y stacbond FR. Anula y sustituye al Documento DIT 553 (2010): Es un Documento de Idoneidad Técnica en el que se evaluó favorablemente la idoneidad de empleo del sistema de revestimiento de fachadas ventiladas a base de elementos conformados con placas y bandejas con y sin perfiles adheridos a partir de paneles composite de aluminio stacbond y stacbond FR.**

DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA: N.º 553A/12

Área genérica / Uso previsto:

**REVESTIMIENTO DE FACHADAS
VENTILADAS MEDIANTE BANDEJAS,
O PLACAS PROCEDENTES
DE PANELES COMPUESTOS
DE ALUMINIO**

Nombre comercial:

STACBOND® Y STACBOND® FR

Beneficiario:

STAC, S.L.

Sede Social /
Lugar de fabricación:

Polígono Industrial PICUSA – La Matanza
15900 PADRÓN (La Coruña)
Tel. (+34) 981 817 036 · Fax (+34) 981 817 037
www.stac.es

Validez. Desde:
Hasta:

24 de abril de 2012
9 de marzo de 2015
(Condicionado a seguimiento anual)

Este Documento consta de 35 páginas

MIEMBRO DE:

UNIÓN EUROPEA PARA LA EVALUACIÓN DE LA IDONEIDAD TÉCNICA
UNION EUROPÉENNE POUR L'AGRÉMENT TECHNIQUE DANS LA CONSTRUCTION
EUROPEAN UNION OF AGRÉMENT
EUROPÄISCHE UNION FÜR DAS AGREEMENT IN BAUWESEN

MUY IMPORTANTE

El DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA constituye, por definición, una apreciación técnica favorable por parte del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, de la aptitud de empleo en construcción de materiales, sistemas y procedimientos no tradicionales destinados a un uso determinado y específico.

Antes de utilizar el material, sistema o procedimiento al que se refiere, es preciso el conocimiento íntegro del Documento, por lo que éste deberá ser suministrado, por el titular del mismo, en su totalidad.

La modificación de las características de los productos o el no respetar las condiciones de utilización, así como las observaciones de la Comisión de Expertos, invalida la presente evaluación técnica.

**C.D.U.: 69.022.325
Fachadas ventiladas
Bardage
Cladding kit**

DECISIÓN NÚM. 553A/12

EL DIRECTOR DEL INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA,

- en virtud del Decreto n.º 3.652/1963, de 26 de diciembre, de la Presidencia del Gobierno, por el que se faculta al Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, para extender el DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA de los materiales, sistemas y procedimientos no tradicionales de construcción utilizados en la edificación y obras públicas, y de la Orden n.º 1.265/1988, de 23 de diciembre, del Ministerio de Relaciones con las Cortes y de la Secretaría del Gobierno, por la que se regula su concesión,
- de acuerdo con la solicitud formulada por la sociedad STAC, S.L., situada en Padrón (La Coruña) para la modificación del DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA n.º 553/10 concedido a los Sistemas de revestimiento de fachadas ventiladas mediante bandejas colgadas o placas remachadas procedentes de paneles compuestos de aluminio STACBOND® PE y STACBOND® FR, por las sustituciones del nombre comercial STACBOND® PE por STACBOND® y de las clasificaciones de reacción al fuego del panel por las de los sistemas, más las incorporaciones del sistema STB-SZ y de la aleación de aluminio 5005 H22,
- considerando el artículo 5.2, apartado 5, del Código Técnico de la Edificación (en adelante CTE) sobre conformidad con el CTE de los productos, equipos y sistemas innovadores, que establece que un sistema constructivo es conforme con el CTE si dispone de una evaluación técnica favorable de su idoneidad para el uso previsto,
- considerando las especificaciones establecidas en el Reglamento para el Seguimiento del DIT del 28 de octubre de 1998,
- en virtud de los vigentes Estatutos de l'Union Européenne pour l'Agrément technique dans la construction (UEAtc),
- teniendo en cuenta los informes de visitas a obras realizadas por representantes del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, los informes de los ensayos presentados por el IETcc, así como las observaciones formuladas por la Comisión de Expertos, en sesiones celebradas los días 18 de febrero de 2010 y 28 de marzo de 2012,

DECIDE:

Conceder el DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA número 553A/12, a los Sistemas de revestimiento de fachadas ventiladas mediante bandejas o placas procedentes de paneles STACBOND® y STACBOND® FR, considerando que,

La evaluación técnica realizada permite concluir que estos Sistemas son CONFORMES CON EL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN, siempre que se respete el contenido completo del presente documento y en particular las siguientes condiciones:

CONDICIONES GENERALES

El presente DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA evalúa exclusivamente a los sistemas constructivos propuestos por el beneficiario, debiendo para cada caso, y de acuerdo con la normativa vigente, acompañarse del preceptivo proyecto de edificación que, a su vez, deberá llevarse a término mediante la dirección de obra correspondiente. Será el proyecto de edificación el que contemple en cada caso, las acciones que los sistemas transmiten a la estructura general del edificio, asegurando que éstas son admisibles.

En cada caso, el beneficiario proporcionará la información y asistencia técnica suficientes sobre el sistema de revestimiento de modo que permitan al autor del proyecto y/o a la Dirección Facultativa, el cálculo y la definición para su ejecución, incluyendo toda la información necesaria de cada uno de los componentes del sistema.

El proyecto técnico de la fachada ventilada realizado por el proyectista y/o la Dirección Facultativa, deberá incluir una memoria de cálculo que justifique el adecuado comportamiento del sistema frente a las acciones previstas.

CONDICIONES DE FABRICACIÓN Y CONTROL

El beneficiario del DIT realizará un control sistemático sobre la producción en fábrica (materias primas, proceso de fabricación y producto acabado) tal y como se detalla en el informe técnico. En particular, verificará las características de identificación de los paneles STACBOND® y STACBOND® FR. La configuración de las bandejas y/o las placas se realizará en taller por empresas especializadas, reconocidas por el beneficiario, y bajo asistencia técnica del mismo; dichas empresas asegurarán que la manipulación de los paneles y configuración de las bandejas y/o placas son conformes con el presente Documento.

CONDICIONES DE UTILIZACIÓN Y PUESTA EN OBRA

La utilización y puesta en obra de este sistema deberá realizarse por empresas especializadas reconocidas por el beneficiario, y bajo su asistencia técnica; dichas empresas asegurarán que la utilización de los sistemas se efectúan en las condiciones y campos de aplicación cubiertos por el presente documento y respetando las observaciones formuladas por la Comisión de Expertos. Una copia del listado actualizado de empresas instaladoras reconocidas por el beneficiario, estará disponible en el IETcc. Por tanto quedarán amparadas las condiciones de ejecución de aquellas obras donde se respete lo especificado en el presente DIT y hayan sido además certificadas por el instalador.

Se adoptarán todas las disposiciones necesarias relativas a la estabilidad de las construcciones durante el montaje, a los riesgos de caída de cargas suspendidas, de protección de personas y, en general, se tendrán en cuenta las disposiciones contenidas en los reglamentos vigentes de Seguridad y Salud en el Trabajo.

VALIDEZ

El presente Documento de Idoneidad Técnica número 553A/12 es válido durante el período de validez que tenía el DIT número 553/10 a condición de:

- que el fabricante no modifique ninguna de las características de los sistemas indicadas en el presente Documento de Idoneidad Técnica,
- que el fabricante realice un autocontrol sistemático de la producción tal y como se indica en el Informe Técnico,
- que el autocontrol del fabricante esté sometido a supervisión por un organismo independiente de control, reconocido por el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, al que se remitirá el resultado de las supervisiones,
- que anualmente se realice un seguimiento por parte del Instituto, que constate el cumplimiento de las condiciones anteriores, visitando, si lo considera oportuno, alguna de las realizaciones más recientes.

Con el resultado favorable del seguimiento, el IETcc emitirá anualmente un certificado que deberá acompañar al DIT, para darle validez.

Este Documento deberá, por tanto, renovarse antes del 9 de marzo de 2015.

Queda anulado el Documento de Idoneidad Técnica DIT número 553/10.

Madrid, 24 de abril de 2012

EL DIRECTOR DEL INSTITUTO DE CIENCIAS
DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA

Angel Arteaga Iriarte

1. OBJETO

Los sistemas evaluados están configurados principalmente por un revestimiento de placas o bandejas procedentes de paneles compuestos de aluminio denominados comercialmente STACBOND® y STACBOND® FR que presentan el acabado decorativo considerado. Son unidades de obra previstas para el revestimiento de fachadas ventiladas de edificación, en obra nueva y rehabilitación y se denominan comercialmente:

- Sistema STB-CH (véase fig. 1).
- Sistema STB-SZ (véase fig. 2).
- Sistema STB-Remachado (véase fig. 3).

Este revestimiento se une mediante fijaciones específicas a una subestructura de perfiles de aluminio, que a su vez se ancla adecuadamente a la estructura del edificio o bien a paramentos de fábrica de ladrillo u hormigón. No han sido evaluados el uso del sistema como revestimiento de techos, los anclajes de la subestructura al soporte, ni tampoco el aislamiento térmico que pudiera incorporarse en la cámara de aire.

2. PRINCIPIO Y DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS

Los sistemas evaluados, se componen de los siguientes elementos, agrupados según tabla 1.

- Revestimiento suministrado por empresas especializadas reconocidas por el beneficiario.
- Cámara de aire ventilada en la que se puede colocar un aislamiento térmico.
- Fijaciones específicas para el aplacado y la subestructura considerados, definidas por el beneficiario.
- Subestructura configurada por ménsulas, montantes y/o travesaños definidas por el beneficiario.
- Accesorios definidos por el beneficiario, para resolver diversos puntos singulares.

Tabla 1

Revestimiento	Modulación	SUBESTRUCTURA	
		Tipo	Componentes
Bandeja (fijación oculta)	Vertical	Unidireccional (STB-CH)	Piezas de cuelgue. Perfiles Ω , ménsulas
	Horizontal		Piezas de cuelgue y refuerzos adheridos. Perfiles Ω , ménsulas
	Horizontal	Bidireccional (STB-SZ)	Perfiles S y Z. Perfiles Ω , ménsulas
	Vertical		Perfiles S y Z con refuerzos adheridos. Perfiles Ω , ménsulas
Placa (fijación vista)	Horizontal	Bidireccional o unidireccional (STB-Remachado)	Perfiles Ω , ménsulas
	Vertical		

3. COMPONENTES Y MATERIALES

3.1 Revestimiento

Placas y bandejas se pueden obtener a partir de cualquier panel STACBOND® de acuerdo con las especificaciones del beneficiario. Las placas planas se obtendrán del simple corte del panel. Las bandejas, de geometría paralelepípedica, se obtendrán mediante cortes fresados, troquelados y punzonados tales que, plegados a 90° sobre el panel, definirán cuatro pliegues perimetrales (pestañas con o sin entalladuras laterales según sea el sistema STB-CH o SZ considerado) unidos entre sí por diferentes accesorios (véase fig. 4). En cualquier caso, se distinguen dos tipos:

- Bandejas o placas estándar: Para resolver la parte general del revestimiento.
- Bandejas o placas especiales: Para resolver esquinas y rincones (formas rectas, curvas o achaflanadas), arranques y coronaciones.

3.1.1 Paneles STACBOND®

3.1.1.1 Definición

Son paneles compuestos sándwich resultantes de un proceso industrial en línea consistente en adherir de forma continua en ambos lados de un núcleo no aislante, dos láminas metálicas de aluminio aleado. Se distinguen dos tipos STACBOND® y STACBOND® FR, cuyas características declaradas se indican en tabla 2:

Tabla 2

Características	PANEL	
	STACBOND®	STACBOND® FR
Anchuras nominales (mm) [tolerancias]	1000 [-0;+2] 1250 [-0;+2] 1500 [-0;+2]	1000 [-0;+2] 1250 [-0;+2] 1500 [-0;+2]
Longitud nominal (mm) [tolerancias]	3200 [-0;+3] 4000 [-0;+3] 5000 [-0;+3] 6000 [-0;+3]	3200 [-0;+3] 4000 [-0;+3] 5000 [-0;+3] 6000 [-0;+3]
Falta de escuadrado (mm) [diferencia entre diagonales]	± 3,0	± 3,0
Espesor nominal (mm) [tolerancias]	4 [-0,15;+0,1]	4 [-0,15;+0,1]
Peso/superficie (kg/m²) [tolerancia %]	5,50 [± 5%]	8,02 [± 8%]
Rigidez a flexión E*I (kN·cm²/m) (DIN 53293) ⁽¹⁾	≥ 240	≥ 240
Resistencia a la deslaminación por pelado (N/mm) (ASTM D 903-98) ⁽²⁾	9,80	7,00

⁽¹⁾ DIN 53293: Testing of sandwiches. Bending test. (Feb. 1982).

⁽²⁾ ASTM D 903-98: Standard Test Method for Peel or Stripping Strength of Adhesive Bonds.

3.1.1.2 Composición

- Las chapas metálicas de aleación de aluminio serán conformes con las Normas UNE EN 573-3, EN 485-2, EN 1396⁽³⁾.

Las características declaradas por el beneficiario se indican en la tabla 3:

Tabla 3

Características Aleación de aluminio EN AW	Valor	
	3005/H42 3005/H44 3105/H44	5005 H22
Espesor de chapa (mm)	0,48 [± 0,02]	
Coefficiente de dilatación térmica lineal (mm/m K ⁻¹)	0,0225	
Módulo de elasticidad E (MPa)	70.000	
Resistencia rotura tracción R _m (MPa)	≥ 150	≥ 125
Límite elástico R _{p 0,2} (MPa)	≥ 120	≥ 90
Alargamiento A ₅₀ (%)	≥ 3	≥ 4

La cara vista de panel de aluminio expuesta a la intemperie, presenta una lámina de aluminio lacada en continuo⁽⁴⁾ a base de fluoruro de polivinilideno (PVDF) cuyas características declaradas se indican en la tabla 4. La cara oculta del panel de aluminio, presenta una lámina de aluminio lacada con un recubrimiento sólido (pintura). Las caras internas de las láminas en contacto con el núcleo, están revestidas de un barniz epoxi o de una imprimación para facilitar la adherencia al núcleo.

Tabla 4

Características	Valor
Espesor de pintura (μm)	22 a 33
Brillo 60° (Gloss unit)	30 ± 5
Dureza lápiz	HB
Flexibilidad	1 T
Resistencia MEK	100
Resistencia a niebla salina	Clase 3
Resistencia a humedad	Sin cambios
QUV B (1.000 h)	Δ E ≤ 1
	Reducción brillo ≤ 10%

- Núcleo: Pueden ser dos tipos (véase tabla 5):

Tabla 5

Características	Valor según panel	
	STACBOND®	STACBOND® FR
Densidad (kg/m ³)	935 ± 10%	1700 ± 10%
Composición	Polietileno de baja densidad	Polietileno de baja densidad y retardante de llama
Color	Negro	Gris

⁽³⁾ UNE EN 573-3:2009 y 1/M:2011. Aluminio y aleaciones de aluminio. Composición química y forma de productos de forja.

– UNE EN 485-2:2009. Aluminio y aleaciones de aluminio. Chapas, bandas y planchas. Parte 2. Características mecánicas.
– UNE EN 1396:2008. Aluminio y aleaciones de aluminio. Chapa y banda recubierta en continuo para aplicaciones generales. Especificaciones.

⁽⁴⁾ Según carta estándar. Otros colores y brillos a consultar.

- Film adhesivo: Lámina adhesiva de composición específica que aplicada en continuo durante la fabricación de los paneles, permite la unión permanente entre chapas y núcleo.
- Film de polietileno de baja densidad para proteger la cara pintada de posibles golpes o ralladuras hasta que el panel esté colocado en su ubicación final en la obra, con flechas de indicación del sentido de laminación.

3.1.2 Accesorios específicos

Para la configuración del revestimiento mediante bandejas, serán necesarios los siguientes componentes auxiliares:

3.1.2.1 Pletinas para refuerzo de entalladura

Se utilizarán siempre y para cada entalladura. Pueden ser piezas específicas (ref. 19.019) (fig. 4) o bien rectangulares, de dimensiones 30 × 30 mm, de aluminio de 2 mm de espesor y aleación 1050, e irán remachadas o atornilladas a las correspondientes pestañas y/o perfiles rigidizadores verticales, mediante las fijaciones indicadas en el apartado 3.1.2.3 y en la tabla 8.

3.1.2.2 Perfiles adheridos para rigidizar bandejas

Para el sistema STB-CH serán perfiles angulares conformados a partir de paneles STACBOND® FR, adheridos al trasdós de la bandeja, en su orientación horizontal o vertical, y remachados a las pestañas perpendiculares. Estos perfiles verticales presentarán entalladuras para permitir su cuelgue sobre las piezas de cuelgue (fig. 5).

Para el sistema STB-SZ serán perfiles angulares extruidos (ref. 01.70.70.30) de aluminio de aleación 6063 T5 con sección transversal de 30 mm de anchura y 70 mm de profundidad, 1,4 mm de espesor, y 200 mm de longitud mínima. y atornillados a la cara interior del fuste del perfil omega (fig. 2).

Para su adhesión se utilizará un conjunto de productos compuesto por limpiador, imprimación, cinta adhesiva de doble cara y finalmente el propio adhesivo, de poliuretano monocomponente, específico para el panel composite, con las características declaradas indicadas en la tabla 6:

Tabla 6

Densidad (g/cm ³)	1,18
Tiempo (minutos) de formación de piel (23 °C y 50% HR)	20
Temperatura de servicio (°C)	−40 a +90
Temperatura de aplicación (°C)	+10 a +35
Polimerización (mm/día)	4
Resistencia admisible a tracción (MPa)	0,15
Resistencia admisible a cortadura (MPa)	0,12
Anchura de cordón de adhesivo (mm)	10

3.1.2.3 Remaches o tornillos

Se utilizarán en revestimientos a base de bandejas, para la formación de esquinas, la fijación de perfiles rigidizadores intermedios y pletinas de refuerzo, la fijación complementaria al montante y la fijación de la bandeja a los perfiles S y Z.

Serán remaches ciegos ISO 15973 - 4,8 × 15 AIA/St, de dimensiones ($\varnothing \times L$) 4,8 × 15 mm, con cabeza de aluminio y vástago de acero inoxidable A2, conformes con la Norma UNE EN ISO 15973⁽⁵⁾ y resistencia característica conforme con la indicada en tabla 15.

Opcionalmente se podrán usar en todos los casos anteriores tornillos autotaladrantes de acero inoxidable A2 con cabeza hexagonal de arandela ISO 15480 ST 4,2 × 19 conformes con la Norma UNE ISO 15480⁽⁶⁾. Las propiedades mecánicas serán conformes con la Norma UNE EN ISO 3506-1⁽⁷⁾.

3.2 Subestructura

3.2.1 Pieza de cuelgue regulable (STB-CH)

Pieza para cuelgue de bandejas, ref. n.º 05.019.013 que permite la regulación en altura del cuelgue de las bandejas; procede del corte de un perfil extruido de aleación de aluminio 6063 T5, con un espesor medio del perfil 2,5 mm, un peso teórico 0,89 kg/m y acabado natural (fig. 8).

Presenta protegida la zona de cuelgue mediante una pieza especial de PVC de 2,3 mm de espesor. Para su fijación a montantes se utilizarán los remaches o tornillos de la tabla 8.

3.2.2 Perfiles S y Z (STB-SZ)

Fijación oculta para el Sistema SZ constituido mediante remaches y perfiles de aluminio extruido aleación 6063 T5 denominados S (05.19.001) y Z (05.19.002). En función de la modulación, las bandejas podrán tener refuerzos interiores a base de perfiles angulares de aluminio extruido adheridos al trasdós de la bandeja (fig. 10).

3.2.3 Montantes y travesaños

Están constituidos por perfiles con sección en forma de omega (fig. 6). Son perfiles extruidos (ref. 19.003) de aleación de aluminio 6063 T5 de 6,5 m de longitud máxima, con acabado natural y

⁽⁵⁾ UNE EN ISO 15973:2000. Remaches ciegos de vástago a rotura, cuerpo de fondo cerrado y cabeza alomada AIA/St.

⁽⁶⁾ UNE EN ISO 15480:2000. Tornillos autotaladrantes con cabeza hexagonal de arandela, con rosca autorroscantes.

Nota: También conocidos como DIN 7504-K.

⁽⁷⁾ UNE EN ISO 3506-1:2010. Características mecánicas de los elementos de fijación de acero inoxidable resistente a la corrosión. Parte 1: Pernos, tornillos y bulones.

módulo elástico de 70.000 MPa y las siguientes características específicas:

Tabla 7

Características	Valor
Espesor fuste/ alas (mm)	2,5/2,0
Longitud máxima de fabricación (m)	6,04
Peso teórico (kg/m)	0,91
Momento resistente W_x (cm ³)	3,12
Inercia I_x (cm ⁴) del perfil	6,03
Inercia I_y (cm ⁴) del perfil	15,35

3.2.4 Piezas de unión T (STB-Remachado)

Pieza en T para la unión de montante y travesaño ref. 05.19.020 (fig. 7) conformadas en chapa plegada de aluminio de aleación 1050-H y espesor 3 mm, y que presentan perforaciones para su anclaje a los montantes y travesaños mediante alguna de las fijaciones especificadas en la tabla 8.

3.2.5 Ménsulas

Están constituidas por perfiles en forma de TT configurados por perfil extruido de aluminio de aleación 6063 T5 y 3 mm o bien 5 mm de espesor según referencias (5.19.004-05.19.039) (véanse figs. 9a hasta 9e).

3.3 Fijaciones

Para la unión entre componentes de los sistemas se utilizarán las fijaciones indicadas en la tabla 8:

Tabla 8

Sistema (unión)	Fijaciones (ejemplo)	Dimensiones [d × L] mm (Norma)	Propiedades mecánicas (fuente)
STB-CH (Pieza de cuelgue a montante)	Tornillos autotaladrantes ISO 15481 ST 4,2 × 19 Z de acero inoxidable A2, de cabeza cilíndrica abombada ancha de hueco cruciforme, con rosca autorroscante (Tornillo Index tipo ABRA2)	4,2 × 19 (UNE ISO 15481) ⁽⁸⁾	Clase ≥ 50 Resistencia a rotura tracción: ≥ 500 MPa Límite elástico convencional al 0,2% $R_{p0,2} \geq 210$ MPa Alargamiento de rotura $A \geq 0,6 d$ (UNE ISO 3506-1, o ficha técnica)
	Remache ciego ISO 15973 4,8 × 15 AIA/St. Remache ciego con cabeza de aleación de aluminio (AIA) y vástago de acero (St) (Gesipa Standard Polygrip)	4,8 × 15 (UNE EN ISO 15973) ⁽³⁾	Resistencia a cortante: 1,5 kN Resistencia a tracción: 2,3 kN (ficha técnica)

⁽⁸⁾ UNE EN ISO 15481: Tornillos autotaladrantes con cabeza cilíndrica abombada ancha de hueco cruciforme con rosca autorroscantes.

Nota: También conocidos como DIN 7504-N.

Tabla 8 (Continuación)

Sistema (unión)	Fijaciones (ejemplo)	Dimensiones [d x L] mm (Norma)	Propiedades mecánicas (fuente)
STB- Remachado (Montante- Pieza de unión- Travesaño)	Tornillos autotaladrantes ISO 15480 5,5 x 22 de acero inoxidable A2 con arandela ensamblada EPDM Ø 16 (Tornillo Index tipo BIE)	[5,5 x 22] (UNE ISO 15480) ⁽⁴⁾	Clase ≥ 50 Resistencia a rotura tracción: ≥ 500 MPa Límite elástico convencional al 0,2% R _{p 0,2} ≥ 210 MPa Alargamiento de rotura A ≥ 0,6 d
	Remache ciego ISO 15973 4,8 x 15 AIA/St. Remache ciego con cuerpo de aleación de aluminio (AIA) y vástago de acero (St) (Remache Gesipa Standard Polygrip)	4,8 x 15 UNE EN ISO 15973 ⁽³⁾	Resistencia a cortante: 1,5 kN Resistencia a tracción: 2,3 kN (ficha técnica)
STB-CH STB-SZ STB- Remachado (Montante a ménsula de sustentación)	Tornillo pasante arandela y tuerca (Tornillo HISPA- NOX)	Tornillo con cabeza exagonal clase A	M 6 x 60 UNE EN ISO 4017 ⁽⁹⁾ Resistencia a rotura tracción: ≥ 500 MPa Par de rotura ≥ 23 Nm (UNE ISO 3506-1)
		Arandela plana de clase C	Ø nom: 6 UNE EN ISO 7092 ⁽¹⁰⁾ Dureza HV 140
		Tuerca exagonal tipo 1 clase A	Rosca 6 UNE EN ISO 4032 ⁽¹¹⁾ Clase ≥ 50 (UNE ISO 3506-2)
	Tornillo (auxiliar) autotaladrante con cabeza hexagonal, arandela estampada, y rosca autorroscantes		[5,5 x 19] (UNE ISO 15480) Clase ≥ 50 Resistencia a rotura tracción: ≥ 500 MPa Par de rotura ≥ 23 Nm (UNE ISO 3506-1)
STB-CH STB-SZ STB- Remachado (Montante a ménsula de retención)	Tornillo pasante arandela y tuerca (Ej.: Tornillo HISPA- NOX)	Tornillo con cabeza exagonal clase A	M 6 x 60 UNE EN ISO 4017 Clase ≥ 50 Resistencia a rotura tracción: ≥ 500 MPa Par de rotura ≥ 23 Nm (UNE ISO 3506-1)
		Arandela plana de clase C	Ø nom: 6 UNE EN ISO 7092 Dureza HV 140
		Tuerca exagonal tipo 1 clase A	Rosca 6 UNE EN ISO 4032 Clase ≥ 50 (UNE ISO 3506-2)

⁽⁹⁾ UNE EN ISO 4017:2001. Tornillos de cabeza exagonal. Productos de clase A y B.

Nota: Tornillos también conocidos como DIN 933.

⁽¹⁰⁾ UNE EN ISO 7092:2000. Arandelas planas. Serie estrecha. Producto de clase A.

Nota: También conocidas como DIN 9021.

⁽¹¹⁾ UNE EN ISO 4032:2001. Tuercas exagonales, tipo 1. Productos de las clases A y B.

Nota: También conocidas como DIN 934.

3.4 Accesorios

Son elementos conformados a partir de los paneles STACBOND® previstos para resolver puntos singulares del revestimiento de la fachada, tales como por ejemplo, dinteles, vierteaguas, albardillas, etc. (figs. 13 a 17).

4. FABRICACIÓN

4.1 Paneles STACBOND®

4.1.1 Planta

Los paneles STACBOND® son los únicos componentes del sistema, fabricados y comercializados por el beneficiario, desde 2008, en su planta de laminación y transformados situada en el Polígono Industrial de Picusa – La Matanza, en Padrón (La Coruña).

4.1.2 Procedimiento

La fabricación de los paneles se realiza según el siguiente proceso: A partir de la materia prima, consistente básicamente en gránulos sólidos de polietileno con o sin retardantes de llama, se obtiene, aplicando calor y presión, un conformado laminar que posteriormente, a lo largo de una línea de producción continua, va recibiendo por adherencia a ambos lados, láminas metálicas de la misma anchura.

Al final de la línea, mediante corte se obtienen los paneles que presentan el acabado en su cara vista cubierto con el film de protección provisional anteriormente descrito. Los paneles se identifican mediante un sistema de impresión que codifica la plancha con la fecha y la hora de fabricación en la cara interior.

4.2 Revestimiento exterior

Las bandejas, placas así como los accesorios procedentes de paneles STACBOND®, son preparadas bien en fábrica, bien en talleres especializados y/o bien en la propia obra, siguiendo las especificaciones de conformado y preparación establecidas por el beneficiario.

4.3 Subestructura y elementos auxiliares

Los montantes, travesaños, las piezas de unión así como las ménsulas son suministrados por proveedores siguiendo las especificaciones del beneficiario. Los elementos auxiliares para la conformación de bandejas así como las fijaciones entre los elementos del sistema son fabricados por

terceros en base a la normativa correspondiente y son suministrados a la obra por el instalador reconocido y opcionalmente por el beneficiario.

5. CONTROLES

5.1 Paneles STACBOND®

Se realizan controles de calidad en fábrica de todos los elementos que conforman el panel, según procedimientos establecidos por el fabricante. El sistema de calidad de STAC está certificado por BUREAU VERITAS en conformidad con la norma ISO 9001.

Los controles se centran en cada una de las fases del proceso productivo, partiendo de la materia prima suministrada. Existe un procedimiento interno de Instrucción Técnica para la recepción cualitativa de materias primas, especificado y documentado en las Normas Internas. El proceso de autocontrol comprende las siguientes fases:

5.1.1 Control de materias primas

5.1.1.1 Chapas de aluminio aleado

Se realiza un control de la aleación utilizada, según el metal empleado, mediante el control de los certificados de calidad suministrados por el proveedor, que tienen que estar dentro de las tolerancias especificadas por las normas (relativas al menos a sus características mecánicas y su composición química). Complementariamente se comprueban los siguientes aspectos:

- Espesor del metal: Se realiza un control mínimo por bobina sobre el espesor nominal de la chapa y su tolerancia, según se recoge en la norma UNE-EN-485-4.
- Espesor del recubrimiento: Se realiza un control mínimo por bobina sobre el espesor nominal de recubrimiento según indicado en la norma UNE-EN-13523-1.
- Brillo de recubrimiento: Se realiza un control mínimo por bobina basada en la norma UNE-EN 13523-2.
- Diferencias de color de láminas de aluminio lacado. Se realiza un control visual mínimo por lote y semanal.

5.1.1.2 Materias primas del núcleo

El control del producto base y adiciones para la fabricación del núcleo de resinas termoplásticas se realizan por cada envío de los suministradores según las especificaciones internas.

5.1.2 Control del producto terminado

Sobre los paneles resultantes del proceso se realizan controles por día de fabricación según las normas internas, referentes al espesor de panel fabricado y al grado de adherencia de las láminas de metal sobre el núcleo. La adherencia en la separación de la cobertura del núcleo debe ser superior a 9,8 N/mm para el panel estándar y superior a 7,0 N/mm para el panel FR y se realizan como mínimo dos veces por turno de fabricación, utilizando el método estándar de ensayo ASTM D 903⁽²⁾.

6. ETIQUETADO, ENVASADO, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

Los paneles se paletizan en palés de madera y flejan para evitar daños durante su transporte, que deberá realizarse en horizontal, no apilando más de ocho palés uno sobre otro. El almacenaje deberá realizarse en horizontal con el fin de evitar posibles deformaciones que repercutan en su planitud. El periodo máximo de almacenamiento será de ocho meses. Se recomienda no quitar la lámina de protección hasta después de la instalación en obra.

7. PUESTA EN OBRA

7.1 Especificaciones generales

7.1.1 Definiciones del proyecto

Previamente a la instalación del sistema, en el proyecto se habrá determinado al menos los siguientes aspectos:

- Despiece del revestimiento exterior de la fachada en bandejas o placas, así como accesorios para puntos singulares, especificando el tipo de panel STACBOND®, así como la holgura de las juntas.
- Subestructura: Perfiles, ménsulas de anclaje a soporte y sus fijaciones. En particular, se prescribirá el desplome o saliente máximo admisible del soporte en relación con la holgura de regulación en horizontal permitida por la ménsula.
- Espesor de cámara ventilada y aislamiento térmico.
- Puntos singulares: Esquinas y rincones, arranque y coronación de fachada y configuración de huecos.

7.1.2 Organización de la obra

Tanto en obra nueva como en rehabilitación la subestructura debe reconocerse en primer lugar el estado del soporte. Posteriormente se instalará ménsulas de anclaje y luego si es posible, el aislamiento térmico (recomendable placas rígidas hidrófobas e ignífugas) antes de la instalación de los montantes. A continuación, se ejecutará en sentido ascendente la parte general del revestimiento de fachada (partes ciegas) y finalmente los puntos singulares (esquinas, puntos singulares, etc).

7.1.3 Empresas instaladoras

La instalación del sistema tendrá que realizarse por el beneficiario o bien por empresas especializadas reconocidas por él.

7.2 Preparación del soporte

La subestructura debe quedar perfectamente alineada con el fin de garantizar la planeidad del sistema de revestimiento. Antes del montaje del sistema de placas, debe realizarse "in situ" una prueba de arrancamiento de los anclajes para asegurar la estabilidad y la capacidad portante del soporte⁽¹²⁾. El instalador y la Dirección Facultativa de la fachada darán su conformidad previa al soporte antes de la colocación del sistema, el cual deberá instalarse de tal manera que tenga la nivelación y aplomado correcto, para asegurar una adecuada planicidad del revestimiento en la instalación.

7.3 Fijación de la subestructura

La primera y última ménsula estará colocada como máximo a 250 mm de los extremos del perfil montante. La longitud máxima del perfil montante colocado será de 6.500 mm. Las ménsulas de sustentación se fijarán al montante mediante tornillos autorroscantes complementarios al tornillo pasante o bien a los tornillos autotaladrantes y autorroscantes descritos anteriormente, mientras que las ménsulas de retención permitirán los cambios por dilataciones lineales del montante, practicándose agujeros colisos en el montante.

7.4 Colocación del revestimiento

En fase de puesta en obra, se deberá prestar especial atención a la direccionalidad de los elementos de revestimiento (marcada con una flecha en el film protector y en su cara oculta). Una

vez ya instalados, antes de tres meses deberá retirarse este film para evitar que una excesiva exposición a la luz solar y/o a la intemperie provoque su deterioro.

7.4.1 Bandejas sin refuerzos adheridos

7.4.1.1 Bandejas colgadas

A efectos de colocación en obra, se deberán replantear la posición de las piezas de cuelgue y posteriormente si la modulación lo permite, colocar las bandejas por hiladas y en todo caso, siempre en sentido ascendente, colocando las entalladuras de las mismas sobre las piezas de cuelgue y posteriormente remachando o atornillando las bandejas sobre las alas de los montantes en los agujeros colisos situados en la sobrepestaña horizontal superior.

7.4.1.2 Bandejas fijadas a SZ

Para la colocación de las bandejas se recomienda previamente remachar a la bandeja el perfil S en la parte inferior y el perfil Z en la superior. Posteriormente se colocará encajando el perfil S de la bandeja superior sobre el perfil Z de la bandeja inmediatamente inferior.

En los recercados se podrán colocar perfiles Z en posición vertical y atornillados al ala de la omega. Se podrá colocar tanto por columnas como por hiladas y en todo caso en sentido ascendente. Entre el perfil S y el perfil Z se deberá colocar una tira de EPDM ref. STB-JEPDM. En el caso de que sea necesaria la colocación de refuerzos, estos se atornillarán previamente a las alas de la omega para aplicar el adhesivo sobre la cara del perfil de refuerzo y a posteriori colocar la bandeja.

Tanto para la colocación de los refuerzos como para el atornillado de la pieza Z al montante se usarán tornillos autotaladrantes DIN 7504N de acero inox. A2 4.2 x 19 (UNE ISO 15480 equivale a DIN 7504-N) Clase ≥ 50 Resistencia a rotura tracción: ≥ 500 MPa Par de rotura ≥ 23 Nm.

7.4.2 Bandejas con refuerzos adheridos

Antes de la colocación de las bandejas, y si procede y a la adhesión de perfiles rigidizadores al trasdós de las bandejas, se seguirán las siguientes fases:

- **Limpieza:** Se eliminará el polvo y suciedades utilizando procesos mecánicos y en ningún caso utilizando disolventes. Esta limpieza consistirá en un lijado más o menos profundo dependiendo de la suciedad existente, y posteriormente se deberá aspirar el polvo, o soplarlo con aire a presión.

⁽¹²⁾ Como ejemplo, pueden seguirse las especificaciones del Documento: Cahier CSTB 1661: *Détermination sur chantier de la charge maximale admissible applicable à une fixation mécanique de bardage rapporté.*

Para la limpieza y desengrase posterior se utilizará un desengrasante limpiador especial.

- Imprimación de la zona: Una vez limpia la zona se aplicará una imprimación negra para que refuerce la adherencia de la masilla.
- Colocación de cinta adhesiva de doble cara: Una vez imprimada la zona y después de haber transcurrido el tiempo de espera de la imprimación se procederá a colocar la cinta de doble cara que sujetará la pieza mientras polimeriza el adhesivo, además de asegurar el espesor mínimo del mismo.
- Aplicación del adhesivo: La aplicación del adhesivo especial para el pegado del panel composite se hará siempre sobre la bandeja aplicando un cordón.
- Colocación del rigidizador: Se colocará el rigidizador de tal forma que toda la superficie del mismo quede impregnado de adhesivo. Posteriormente se remachará en su parte superior e inferior.

7.4.3 Placas

Las placas son instaladas en obra mediante perforación de las mismas y colocación del remache correspondiente (remache ciego ISO 15973 4,8 x 15 AIA/St Remache ciego con cuerpo de aleación de aluminio (AIA) y vástago de acero (St) (Ej. remache Gesipa 4,8 K16 cabeza grande Polygrip)), respetando las holguras entre diámetros de taladro y vástago del remache, así como las distancias entre remaches y a bordes de placa (figs. 11 y 12). Se recomienda usar una guía para posicionar los remaches.

7.4.4 Puntos singulares

A título orientativo se indican en la información gráfica del presente Documento, ejemplos de resolución de coronación y arranque de fachada (figs. 13 y 14), esquinas y rincones (figs. 15 y 16), y configuración de huecos (figs. 17 y 18).

8. MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN

Se tendrán en cuenta principalmente las especificaciones indicadas en el CTE, en la tabla 6.1 del DB HS S1-apdo. 6. Se considera como mantenimiento normal, proceder a un lavado periódico de las placas o bandejas mediante una mezcla de agua corriente y un detergente no alcalino y no abrasivo para limpiar la superficie. Se aplicará con un cepillo, o bien con ayuda de una esponja húmeda, o bien con ayuda de una máquina de limpieza de alta presión. No está permitido el uso de disolventes. Para la reparación de daños

puntuales del revestimiento (rayas, grafitis, etc.) se aconseja contactar con el beneficiario.

A título indicativo, para la sustitución de placas o bandejas, primeramente se retirarán los elementos dañados y posteriormente se fijará una nueva placa o bandeja; en este caso particular se procederá tal y como se indica en la fig. 18.

En el sistema STB-SZ, para sustituir una bandeja dañada, ésta se recortará con sierra adecuada y se retirará, además de sus perfiles S y Z, y refuerzos rigidizadores. Después se procede a fijar sobre la nueva bandeja los perfiles S y Z mientras que sobre los montantes, se procede a atornillar el perfil rigidizador. A continuación, se acopla la bandeja nueva sobre las existentes y se atornilla el perfil Z a los montantes.

9. REFERENCIAS DE UTILIZACIÓN

El fabricante suministra las siguientes obras, algunas de las cuales han sido visitadas por un técnico del IETcc. Complementariamente, se realizó una encuesta entre los usuarios del sistema, todo ello con resultado favorable.

Tabla 9

Año	Tipo de sistema/panel	Tipo de Obra y dirección	Sup. (m ²)
2011	STB-CH PE (grey)	Hospital Universitario Virgen de la Arrixaca. Ctra. Madrid-Cartagena, s/n. 30120 El Palmar (Murcia)	5.000
2010	STB-SZ PE (grey)	Planta de desarrollo tecnológico de El Bierzo. Fundación Ciudad de la Energía. Prje. Carballino, s/n. 24492 Cubillos del Sil (León)	2.000
2010	STB-CH PE (silver)	Comisaría Policía Nacional Vigo. Rúa López Mora, 39. 36211 Vigo (Pontevedra)	3.000
2009	STB-CH PE (rojo)	Rehabilitación de fachada de edificio comercial. Autovía del Atlántico AG 55 Vigo-Porriño, km. 660. 36415 Vigo (Pontevedra)	552
2009	STB-CH PE (silver)	Rehabilitación de fachada de edificio industrial. C/. Ciutat de Liria, 21. 46988 Paterna (Valencia)	732
2009	STB-CH PE (blanco)	Rehabilitación de Fachada de edificio residencial. C/. Guipúzcoa 45. 20800 Zarautz (Guipúzcoa)	530

10. MEMORIA DE CÁLCULO

10.1 Acción del viento

Para modular el revestimiento, el beneficiario suministra las tablas 10 y 11 de acuerdo con los criterios especificados a continuación:

- Flecha máxima admisible $f_{\max}$ en centro de la cara vista de bandeja o placa de $L/30$ (siendo L , la

distancia máxima entre montantes o perfiles rigidizadores de bandeja), y en todo caso $f_{\max} \leq 40 \text{ mm}^{(13)}$.

- Tensión máxima admisible en el panel $\sigma_{\text{adm}} = 51 \text{ MPa}$.
- Carga máxima admisible de entalladura de bandeja: 392 N.
- Flecha máxima de perfil montante $I/200$, siendo I las distancias entre ménsulas.

Tabla 10

Presión de succión (kPa)	SISTEMA STB-CH Dimensiones de cara vista o bien distancias horizontales entre refuerzos interiores de piezas de bandejas con pestañas laterales de 40 mm. STACBOND con bota de cuelgue – STB-CH <i>Altura máxima H (en mm en función de determinadas longitudes L)</i>
	L = 500 mm	L = 650 mm	L = 750 mm	L = 1.000 mm	L = 1.250 mm	
0,50	7000	7000	6100	2070	830	
0,60	7000	7000	5080	1720	690	
0,70	7000	7000	4350	1480	600	
0,80	7000	6260	3810	1290	520	
0,90	7000	5570	3390	1150	460	
1,00	7000	5020	3050	1040	420	
1,10	7000	4560	2770	940	380	
1,20	7000	4180	2540	870	350	
1,40	7000	3580	2180	750	300	
1,60	7000	3140	1900	650	260	
1,80	6110	2790	1690	580	230	
2,00	5500	2510	1520	530	210	
2,20	5000	2280	1380	480	190	
2,40	4580	2090	1270	440	170	
2,60	4230	1930	1170	410	160	

⁽¹³⁾ Estos valores de flecha no suponen degradación o una deformación residual o permanente de bandeja o placa pero sí pueden suponer puntualmente un aspecto estético no deseado, por lo que si el proyectista desea reducir la deformación máxima admisible, deberá contactar con el beneficiario.

Tabla 11

Presión de succión (kPa)	SISTEMA STB-SZ
	Dimensiones de cara vista o bien distancias entre refuerzos interiores de piezas de bandejas con pestañas de 30 mm. STACBOND con anclajes STB-SZ				
	Longitudes máximas L (en mm. en función de determinadas alturas H)				
	H = 500 mm	H = 600 mm	H = 700 mm	H = 800 mm	H = 900 mm
0,50	8000	8000	8000	6690	3930
0,60	8000	8000	8000	5575	3280
0,70	8000	8000	8000	4780	2810
0,80	8000	8000	7380	4180	2465
0,90	8000	8000	6560	3715	2195
1,00	8000	7540	5905	3345	1980
1,10	8000	6855	5360	3040	1805
1,20	8000	6285	4920	2790	1660
1,40	8000	5385	4215	2390	1440
1,60	8000	4715	3690	2095	1270
1,80	8000	4160	3275	1865	1040
2,00	8000	3770	2950	1685	850
2,20	8000	3430	2680	1535	755
2,40	8000	3140	2460	1415	700
2,60	8000	2900	2270	1315	655

H = Altura máxima o distancia vertical entre refuerzos angulares "L" 70 x 30 x 1.4 x 200 mm (en todos los montantes).

L = Longitud máxima de bandeja o distancia máxima horizontal entre refuerzos angulares "L" 70 x 30 x 1.4 x H (una ud sectorizando bandeja).

Tabla 12

Presión de succión (kPa)	SISTEMA STB-REMACHADO					<div>H<div></div>L</div>
	Dimensiones de placas remachadas SISTEMA STB-REMACHADO					
	Altura máxima H (en mm en función de determinadas longitudes L)					
	L = 500 mm	L = 650 mm	L = 750 mm	L = 1.000 mm	L = 1.250 mm	
0,50	4000	4000	4000	4000	2100	
0,60	4000	4000	4000	4000	1750	
0,70	4000	4000	4000	3830	1500	
0,80	4000	4000	4000	3350	1310	
0,90	4000	4000	4000	2970	1150	
1,00	4000	4000	4000	2680	1050	
1,10	4000	4000	4000	2430	950	
1,20	4000	4000	4000	2230	870	
1,40	4000	4000	4000	1910	750	
1,60	4000	4000	4000	1670	650	
1,80	4000	4000	4000	1450	580	
2,00	4000	4000	4000	1340	520	
2,20	4000	4000	3850	1210	470	
2,40	4000	4000	3530	1110	430	
2,60	4000	4000	3250	1030	400	

11. ENSAYOS

Se resumen los resultados de Informes de ensayos recogidos en el Expte. IETcc n.º 19.667.

11.1 Ensayos de identificación

Tabla 13

Componente	Característica	Valor medio	
		STACBOND®	STACBOND FR®
Panel STACBOND	Espesor (mm)	4,00	4,00
	Espesor de chapas (mm)	0,49	0,49
	Peso panel (kg/m²)	5,51	8,02
	Carga de rotura (kN) a flexión	530	570
	Resistencia a la deslaminación por pelado (N/mm)	10,88	11,68

11.2 Ensayos de aptitud de empleo

Tabla 14

Componente	Característica	Valor medio	
Perfil omega	Carga (kN) máxima a flexión en régimen elástico del montante biapoyado (l=0,5m)	Presión	7
		Succión	7
Ménsula	Carga vertical (N) de rotura (según profundidad de ménsula en mm)	57	4380
		250	2700
	Carga horizontal (N) de rotura (según profundidad de ménsula)	57	3792
		250	10287

Tabla 15

Sistema	Característica	Valor medio	
		STACBOND®	STACBOND FR®
STB-CH	Reacción al fuego	F	B-s1,d0
STB-SZ	Reacción al fuego	F	B-s1,d0
STB-Remachado	Reacción al fuego	F	B-s1,d0
STB-CH	Carga (kN) de rotura por arrancamiento de entalladura sin refuerzo	0,81	0,65
	Carga (kN) de rotura por arrancamiento de entalladura con refuerzo	1,39	1,25
	Tensión inicial (MPa) de rotura por tracción entre paneles y cordón de adhesivo (anchura media de 20 mm) e imprimación	2,03 (rotura cohesiva por cordón)	
	Tensión inicial (MPa) de rotura por cizalla entre paneles y cordón de adhesivo (anchura media de 20 mm) e imprimación	1,74 (rotura cohesiva por cordón)	
	Carga (kN) de rotura por arrancamiento de pieza de cuelgue atornillada	3,20 (rotura de pieza)	
	Carga (kN) de rotura por arrancamiento de pieza de cuelgue remachada	3,23 (rotura de pieza)	
	Carga (kN) de arrancamiento de remache centro de placa	Ø anillo=120 mm 3,052 Ø anillo=230 mm 3,192 Ø anillo=310 mm 2,639	2,608 2,636 2,690
STB-Remachado	Carga (kN) de arrancamiento de remache lateral de placa	Ø anillo=120 mm 2,228 Ø anillo=230 mm 1,503 Ø anillo=310 mm 1,831	1,791 1,134 1,426
		Ø anillo=120 mm 0,498 Ø anillo=230 mm 0,239 Ø anillo=310 mm 0,188	0,372 0,178 0,139
	Carga (kN) de arrancamiento de remache esquina placa	Ø anillo=120 mm 3,052 Ø anillo=230 mm 3,192 Ø anillo=310 mm 2,639	2,608 2,636 2,690
		Ø anillo=120 mm 2,228 Ø anillo=230 mm 1,503 Ø anillo=310 mm 1,831	1,791 1,134 1,426
		Ø anillo=120 mm 0,498 Ø anillo=230 mm 0,239 Ø anillo=310 mm 0,188	0,372 0,178 0,139

Tabla 15 (Cont). Resistencia a la succión del viento

Sistema completo	Característica	Resultado	
		STACBOND®	STACBOND FR®
Bandejas/STB-CH Con refuerzo adh. Maqueta de 3 bandejas Dimensiones L x H (mm) (Largo L x Alto H): b1: 1830x1185 cara vista con perfil rigidizador L/2=915 b2: 495x1185 cara vista b3: 2340x580 cara vista con rigidizadores	Flecha f_s instantánea (mm) del sistema según valor de succión (kPa) Notas: $f_s = f_M + f_R + f_B$ f_M : flecha montante f_R : flecha rigidizado f_B : flecha bandeja	0,60	8,30
		0,80	10,16
		1,00	11,19
		1,20	13,70
		1,40	15,45
		1,60	17,50
		1,80	19,70
		2,00	21,30
		2,20	23,30
		2,40	25,00
		2,60	26,80
		2,80	28,85
		3,00	30,00
		3,20	31,50
		3,60	Rotura
Bandejas/STB-SZ sin refuerzo adh. Maqueta de 2 bandejas Dimensiones L x H (mm) (Largo L x Alto H): b1: 2340x700 b2: 2340x700 Distancia entre montantes: 915 mm	Flecha f_s instantánea (mm) del sistema según valor de succión (kPa) Notas: $f_s = f_M + f_B$ f_M : flecha montante f_B : flecha bandeja	0,60	6,92
		0,80	9,14
		1,00	11,41
		1,20	13,82
		1,40	16,13
		1,60	18,13
		1,80	23,24
		2,00	25,30
		2,20	27,71
		2,40	29,35
		2,60	31,07
		2,80	33,12
		3,00	34,94
		3,20	36,68
		3,40	38,48
Bandejas/STB-SZ con refuerzo adh. Maqueta de 2 bandejas Dimensiones L x H (mm) (Largo L x Alto H): b1: 2340x1190 b2: 2340x510 Distancia entre montantes: 915 mm Distancia Ref. adh. Borde horizontal=H/2	Flecha f_s instantánea (mm) del sistema según valor de succión (kPa) Notas: $f_s = f_M + f_B$ f_M : flecha montante f_B : flecha bandeja	0,60	5,86
		0,80	7,70
		1,00	9,41
		1,20	10,96
		1,40	12,70
		1,60	14,34
		1,80	15,94
		2,00	17,35
		2,20	18,91
		2,40	20,43
		2,60	21,84
		2,80	23,46
		3,00	24,94
		3,20	26,62
		3,40	28,42
		3,60	30,50
		3,80	Rotura
		4,00	Rotura

Tabla 15 (Cont.). Resistencia a la succión del viento

Sistema completo	Característica	Resultado	
		STACBOND®	STACBOND FR®
Placas/STB-Remachado Resistencia a la succión del viento Maqueta de 3 placas Dimensiones L x H (mm) (Largo L x Alto H): p1: 1830x1185 con un montante a L/2=915 p2: (495x1185) p3: (2340x580) con montantes a 915 mm	Flecha f_s instantánea (mm) del sistema según valor de succión (kPa) Notas: $f_s = f_M + f_B$ f_M : flecha montante f_B : flecha placa	0,60	5,90
		0,80	7,44
		1,00	8,80
		1,20	10,34
		1,40	11,80
		1,60	13,20
		1,80	14,40
		2,00	15,40
		2,20	16,70
		2,40	18,00
		2,60	19,40
		2,80	20,50
		3,00	22,20
		3,20	23,00
		4,00	Final de ensayo sin rotura
			Final de ensayo sin rotura

11.3 Ensayos de durabilidad

Tabla 15 (Cont.). Resistencia a impactos

Sistema completo	Característica	Resultado	
		STACBOND®	STACBOND FR®
Bandejas Resistencia a impactos Dimens. (mm) (LxH): A: (1500x1100) B: (1200x1100) C: (900x110)	Ch. C.D. 1 J	Ø 3,0 mm	Ø 4,8 mm
	Ch. C.D. 3 J	Ø 3,5 mm	Ø 5,7 mm
	Ch. C.D. 10 J	Ø 7,3 mm	Ø 8,8 mm
	Ch. C.B. 10 J	Sin daño	Sin daño
	Ch. C.B. 60 J	Sin daño	Sin daño
	Ch. C.B. 300 J	Flecha permanente $f = 33,5$ mm Bandeja C	Flecha permanente $f = 23,4$ mm Bandeja A
Placas Resistencia a impactos Dimens. (mm) (LxH): a: (1500x1100) b: (1200x1100) c: (900x110)	Ch. C.B. 400 J	Flecha permanente $f = 36,9$ mm Bandeja A	Flecha permanente $f = 57,7$ mm Bandeja C
	Ch. C.D. 1 J	Ø 2 mm	Ø 3 mm
	Ch. C.D. 3 J	Ø 4 mm	Ø 5 mm
	Ch. C.D. 10 J	Ø 8 mm	Ø 9 mm
	Ch. C.B. 10 J	Sin daño	Sin daño
	Ch. C.B. 60 J	Sin daño	Sin daño
	Ch. C.B. 300 J	$f = 12,0$ mm Placa C	$f = 18,0$ mm Placa C
	Ch. C.B. 400 J	$f = 15$ mm Placa A	$f = 22$ mm Placa A

Tabla 16

Componente	Característica	Valor medio	
		S	S FR
Panel STAC BOND	Resistencia a la deslaminación por pelado (Nmm) tras choque térmico	10,55	11,14
	Tensión (MPa) de rotura por tracción entre paneles y cordón de adhesivo (anchura media de 20 mm)	24 h 80 °C	2,02 (rotura cohesiva por cordón)
		Inmersión en agua 21 d 45 °C	2,00 (rotura cohesiva por cordón)
		Ciclos hielo-deshielo	2,09 (rotura cohesiva por cordón)
	Tensión inicial (MPa) de rotura por cizalla entre paneles y cordón de adhesivo (anchura media de 20 mm)	24 h 80 °C	1,91 (rotura cohesiva por cordón)
		Inmersión en agua 21 d 45 °C	1,73 (rotura cohesiva por cordón)
		Ciclo hielo-deshielo	1,96 (rotura cohesiva por cordón)
	Resistencia UVB 1000 h	Silver Metallic	Sin cambios apreciables
		Grey Metallic	
		Black	

S: STACBOND®. S FR: STACBOND FR®.

12. EVALUACIÓN DE LA APTITUD DE EMPLEO

12.1 Cumplimiento de la reglamentación nacional

12.1.1 Seguridad estructural

El sistema de revestimiento de fachadas ventiladas evaluado no contribuye a la estabilidad de la edificación. El cerramiento posterior o bien el soporte del revestimiento debe cumplir con la normativa correspondiente a los requisitos esenciales de seguridad estructural que le sean propios, debiendo considerarse las acciones y solicitaciones que correspondan a la incorporación de la fachada ventilada. La unión entre la subestructura del sistema y el cerramiento posterior debe ser prevista para que durante el período de uso no se sobrepasen las tensiones límite extremas o los valores límite de durabilidad.

12.1.2 Seguridad en caso de incendio

La composición del cerramiento, incluido el aislante, debe ser conforme con el CTE, Documento Básico de Seguridad frente a incendios (DB-SI), en el caso de que el edificio u obra en cuestión esté cubierto por el ámbito de aplicación del CTE y de dicho Documento Básico.

De acuerdo con los ensayos presentados, únicamente los valores obtenidos por los sistemas con paneles FR permiten satisfacer la exigencia de B-s3,d2 establecida a los efectos de limitar la propagación del fuego por el exterior de determinados edificios, así como por las superficies interiores de las cámaras interiores de las fachadas ventiladas.

12.1.3 Seguridad de utilización

El CTE no especifica exigencias relativas a la seguridad de utilización para los sistemas de fachada ventilada. No obstante, para las zonas bajas de los edificios, en zonas accesibles por el público, se recomienda situar un perfil intermedio en el revestimiento, o bien, disponer de las protecciones adecuadas para limitar las huellas y abollamientos en caso de impactos.

De acuerdo con los resultados de los ensayos de resistencia al choque de cuerpo duro y de cuerpo blando, así como los criterios de clasificación establecidos en el borrador de Guía de la EOTA 034. ed. mayo 2011 "Guideline of European Technical Approval of Kits for external wall claddings Part.1: Ventilated cladding elements and associated fixing devices" relativos a la Seguridad

de Utilización, se concluye que el sistema tiene categoría de uso I⁽¹⁴⁾.

12.1.4 Ahorro energético

La solución constructiva completa de cerramiento debe satisfacer las exigencias del Código Técnico de la Edificación CTE-DB-HE, relativo a Ahorro Energético, en cuanto a comportamiento higrotérmico. A efectos de cálculo de la transmitancia térmica, del cerramiento, según se describe en el Apéndice E del CTE-DB-HE, la cámara de aire tendrá consideración de “cámara de aire muy ventilada”, y la resistencia térmica total del cerramiento se obtendrá despreciando la resistencia térmica de la cámara de aire y de las demás capas entre la cámara de aire y el ambiente exterior, e incluyendo una resistencia superficial exterior correspondiente al aire en calma, igual a la resistencia superficial interior del mismo elemento (HE-1, Apéndice E).

12.1.5 Salubridad

La solución completa del cerramiento debe garantizar el grado de impermeabilidad mínimo exigido para el edificio al que se incorpore, según se describe en el Código Técnico de la Edificación CTE-DB-HS, relativo a Salubridad con objeto de satisfacer el requisito básico de protección frente a la humedad (HS-1). A partir de la definición del sistema que figura en el Informe Técnico, en función del grado de impermeabilidad exigido, se podrá incrementar la ventilación de la cámara de aire según se describe en el CTE-DB-HS (HS-1, punto 2.3). Los sistemas de revestimiento a base de bandejas colgadas, pueden contribuir a la obtención de una mayor estanquidad de la fachada. En cualquier caso, deberá prestarse especial atención, en el diseño de las fachadas, a la incorporación de las ventanas y de los elementos de iluminación, así como la correcta solución de los puntos singulares, fijaciones exteriores, etc., para

lograr una adecuada estanquidad en dichos puntos, evitando la acumulación y filtración de agua. La comprobación de la limitación de humedades de condensación superficiales e intersticiales debe realizarse según lo establecido en la sección HE-1 (Limitación de la demanda energética) del CTE-DB-HE (HE-1, punto 3.2.3). Los componentes del sistema, según declara el fabricante del mismo, no contienen ni liberan sustancias peligrosas de acuerdo a la legislación nacional y europea.

12.1.6 Protección frente al ruido

Esta evaluación no considera la contribución del Sistema al comportamiento acústico del cerramiento. La solución completa del mismo y fundamentalmente el muro soporte más el aislamiento, deberán ser conformes con las exigencias del CTE. Asimismo, se estudiará la solución constructiva del encuentro de la fachada con los elementos de separación vertical, de manera que se evite la transmisión por ruido de flancos.

12.2 Utilización del Sistema

12.2.1 Puesta en obra

Previamente a la instalación del sistema, se deberá verificar el tipo y estado del soporte para la definición del tipo y número de anclajes. Se deberá tener en cuenta, en la ejecución de puntos singulares como antepechos, dinteles, jambas, petos, etc., la estanquidad de los mismos y su impermeabilización previa si fuese necesario, así como la correcta evacuación de agua para evitar su acumulación.

12.2.1 Limitaciones de uso

Los aspectos relativos al cálculo, recogidos en el apartado 9 del presente documento, se refieren al campo de aplicación del Documento Básico de Seguridad Estructural, relativo a Acciones en la Edificación del CTE (DB-SE-A). Para aquellos casos que se salgan del campo de aplicación de dicho Documento Básico, o bien si se prevén acciones superiores a las consideradas en dicho documento, deberá realizarse un estudio específico.

12.3 Gestión de residuos

El CTE no especifica exigencias relativas al respecto. No obstante para la gestión de residuos generados durante los procesos de fabricación y puesta en obra del sistema y en particular de adhesivos y productos de impermeabilización, se seguirán las instrucciones dadas por el suministrador de los mismos, dadas por el fabricante de los mismos, de acuerdo con la normativa vigente para cada producto.

⁽¹⁴⁾ Las categorías de uso se definen en el documento *Draft ETAG 034 ed. May 2011*, apdo. 6.4.4, tabla 4:

Categoría de uso	Descripción
I	Apto para paramentos, accesible al público, situados a nivel de suelo exterior o en otras zonas expuestas a posibles impactos de cuerpo duro (no vandálicos).
II	Apto para paramentos situados en zonas expuestas a impactos directos causados por golpes u objetos lanzados desde zonas públicas, donde la altura del sistema limitará el tamaño del impacto, o bien en zonas de acceso restringido situadas a niveles inferiores.
III	Apto para zonas que sean improbables de ser dañadas por impactos normales causados por personas o bien objetos lanzados o arrojados.
IV	Apto para paramentos no alcanzables desde el nivel de suelo exterior.

Nota: La categoría de uso I y II corresponden a zonas sometidas a riesgo de choques de cuerpo duro y/o blando de gran energía de impacto, tales como colegios y áreas industriales con posible acceso de tráfico rodado o movimiento de mercancías.

Se deberá prever la posibilidad de reciclaje de bandejas y perfiles de aluminio, tanto en caso de rechazo durante puesta en obra como en caso de desmontaje del sistema de fachada ventilada.

12.4 Mantenimiento y condiciones de servicio

De acuerdo con los ensayos presentados y las visitas a obra realizadas se considera que su durabilidad es satisfactoria siempre que además la fachada instalada esté sometida a un adecuado uso y mantenimiento.

13. CONCLUSIONES

Habiéndose verificado que en el proceso de fabricación del sistema se realiza un control de calidad que comprende un sistema de autocontrol por el cual el fabricante comprueba la idoneidad de las materias primas, proceso de fabricación y control de producto. Considerando que el proceso de fabricación y puesta en obra está suficientemente contrastado por la práctica y los resultados de los ensayos, se estima favorablemente, con las observaciones de la Comisión de Expertos en este DIT, la idoneidad de empleo del Sistema propuesto por el fabricante.

LOS PONENTES:

Antonio Blázquez Morales, Eduardo Lahoz Ruiz,
Arquitecto Arquitecto

14. OBSERVACIONES DE LA COMISIÓN DE EXPERTOS

Las principales observaciones formuladas por la Comisión de Expertos⁽¹⁵⁾ en las reuniones celebradas los días 18 de febrero de 2010 y 28 de marzo de 2012 fueron las siguientes:

1. Todos los elementos metálicos que se encuentren en contacto con el sistema no deberán originar problemas de corrosión.

⁽¹⁵⁾ Las Comisiones de Expertos celebradas en 2010 y 2012 estuvieron formadas por representantes de las siguientes Entidades:

- ACCIONA INFRAESTRUCTURAS. Dir. Ingeniería.
- EUROCONSULT (2010) y SGS (2012) en representación de aeccti.
- AENOR.
- Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España.
- FERROVIAL AGROMÁN, S.A.
- DRAGADOS, S.A.
- FCC Construcción, S.A. (FCC)
- Qualibérica, S.L.
- Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de Madrid (EUATM).
- Laboratorio de Ingenieros del Ejército.
- Universidad Politécnica de Madrid (UPM).
- Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de Construcción (IETcc).

2. Las juntas de dilatación del edificio se tendrán en cuenta en relación con las juntas del sistema.
3. Dado que los montantes no son continuos, se deberá prestar especial atención durante la puesta en obra a la nivelación, aplomado y planeidad de sus tramos.
4. Deberán considerarse las condiciones de uso y mantenimiento del sistema especificadas en el Libro del Edificio; así por ejemplo el procedimiento de limpieza del revestimiento deberá adoptar las medidas necesarias para evitar daños al mismo.
5. No es recomendable el uso de la placas o bandejas en las zonas bajas de los edificios, en las que pueden estar sometidas a choques de impacto, salvo que se disponga de las protecciones adecuadas.
6. Se recomienda prestar especial atención a los valores de succión del viento a los que pueden ser sometidas las bandejas, así como al número y las características de las fijaciones entre los elementos de la subestructura.
7. Se debe tener en cuenta que las bandejas de colores oscuros son más sensibles a la radiación solar, por lo que para aquellos paramentos situados en zonas de altas temperaturas y expuestos a la radiación solar se debe valorar con cuidado la elección del color.
8. Se recuerda que en los sistemas de fachada ventilada, la hoja exterior del revestimiento no garantiza por sí sola la estanquidad del cerramiento. En todo caso, se recomienda remitirse a las especificaciones del CTE (DB HS-1) en lo relativo a protección frente a humedad.
9. Para ambientes excepcionales de alta exposición a la presencia de cloruros, se recomienda utilizar fijaciones de acero inoxidable AISI 316 (equivalente al grado A4).
10. Se deberán prescribir los anclajes al soporte sea conforme con la normativa vigente de aplicación. A título informativo se recomienda valorar la adecuación de sus componentes al soporte y a las acciones a que se puede ver sometido, entre las que, debido a la dificultad de inspección y mantenimiento, merecen especial consideración las condiciones ambientales, normales o agresivas según se indica en Norma UNE 41957-1 Anclajes para revestimientos de fachadas de edificios.
11. Se recuerda que la clasificación de reacción al fuego a considerar para el cumplimiento de la exigencia establecida en el Código Técnico es la obtenida por el sistema considerado.

INFORMACIÓN GRÁFICA

Notas: Los detalles constructivos recogidos en las figuras son orientativos, debiendo definirse para cada proyecto. Asimismo, se refieren al sistema de fijación de la fachada ventilada, no pudiendo emplearse como justificación del cumplimiento de las restantes exigencias básicas del CTE.

VISTA GENERAL

SECCIÓN VERTICAL

SECCIÓN HORIZONTAL

NOTA (Cotas en mm):

1	Ménsula perfil doble T, ref. 05.19.004
2	Montante; perfil omega, ref. 05.19.003
3	Pieza de cuelgue exterior, ref. 05.19.013
4	Bandeja procedente de panel STACBOND
5	Refuerzo oculto de entalladura, ref. 05.19.019

Figura 1. Subsistema STB-CH para bandejas.

VISTA GENERAL

SECCIÓN VERTICAL

SECCIÓN HORIZONTAL

NOTA (Cotas en mm):

1	Ménsula perfil doble T, ref. 05.19.004
2	Montante; perfil omega, ref. 05.19.003
3	Perfil S, ref. 05.19.001
4	Junta de neopreno cada 500 mm como máximo
5	Remache cada 500 mm como máximo
6	Perfil Z, ref. 05.19.002
7	Bandeja procedente de panel composite STACBOND
8	Refuerzo L, ref. 10.70.70.30
9	Cinta de doble cara
10	Cordón de adhesivo

Figura 2. Subsistema STB-SZ para bandejas.

VISTA GENERAL

SECCIÓN VERTICAL

SECCIÓN HORIZONTAL

NOTA (Cotas en mm):

1	Ménsula perfil doble T, ref. 05.19.004
2	Montante; perfil omega, ref. 05.19.003
3	Remache cada 500 mm como máximo
4	Placa procedente de panel composite STACBOND
5	Travesaño; perfil omega, ref. 05.19.003
6	Perfil unión entre omegas, ref. 05.19.020

Figura 3. Subsistema STB-REMACHADO para placas.

Figura 4. Refuerzo de entalladura y bandeja.

Figura 5. Ejemplos de refuerzo adherido y aplicación de componentes del sistema adhesivo.

05.19.003 PERFIL OMEGA

Figura 6. Perfil omega

05.19.001 PERFIL S

05.19.002 PERFIL Z

Figura 7. Perfiles S y Z

Figura 8. Perfil en T para unión entre perfiles omega.

05.19.020 PERFIL UNIÓN ENTRE OMEGAS

05.19.013 PIEZA DE CUELQUE EXTERIOR

Figura 9. Piezas de cuelque.

05.19.004 CUELQUE DOBLE T (59-74)

Figura 10a. Ménsula de 57 mm de profundidad.

Figura 10b.
Ménsula de 72 mm
de profundidad.

05.19.005 CUELQUE DOBLE T (74-89)

Figura 10c.
Ménsula de 87 mm
de profundidad.

05.19.006 CUELQUE DOBLE T (89-104)

Figura 10d.
Ménsula de 102 mm
de profundidad.

05.19.007 CUELQUE DOBLE T (104-119)

05.19.032 CUELGUE DOBLE T (149-164)

Figura 10e. Ménsula de 147 mm de profundidad.

05.19.039 CUELGUE DOBLE T (254-269)

Figura 10f. Ménsula de 252 mm de profundidad.

Figura 11. Instalación de placas remachadas.

Otros remaches: punto fijo o deslizante según proyecto

Figura 12. Disposición de perforaciones.

SECCIÓN HORIZONTAL

NOTA (Cotas en mm):

1	Coronación procedente de panel composite STACBOND
2	Pletina remachada para refuerzo unión panel
3	Remate del perfil omega para pegado de coronación
4	Chapa de aluminio adherida a la cara oculta de panel para evacuación de agua
5	Pletina de aluminio para fijación de coronación

Figura 13. Coronación de fachada.

SISTEMA STB-CH

SISTEMA STB-REMACHADO

SISTEMA STB-SZ

SISTEMA STB-SZ

NOTA (Cotas en mm):

1	Arranque procedente de panel composite STACBOND
2	Pletina de aluminio para fijación de arranque
3	Perfil Z mecanizado en taller
4	Perforación para ventilación

Figura 14. Arranque de fachada.

SISTEMA STB-CH

Figura 15a.
Esquina STB-CH.

SISTEMA STB-SZ

Figura 15b.
Esquina STB-SZ.

NOTA (Cotas en mm):

1	Ménsula perfil doble T, ref. 05.19.004
2	Montante perfil, ref. 05.19.003
3	Pieza para cuelgue perfil, ref. 05.19.013
4	Bandeja de esquina procedente de panel STACBOND
5	Perfil S, ref. 05.19.001
6	Perfil Z, ref. 05.19.002
7	Esquina procedente de panel STACBOND para SZ
8	Pletina remachada para encuentro de pestañas

SISTEMA STB-REMACHADO

Figura 15c.
Esquina STB-Remachado.

SISTEMA STB-CH

Figura 16a.
Rincón STB-CH.

NOTA (Cotas en mm):

1	Ménsula perfil doble T, ref. 05.19.004
2	Montante perfil, ref. 05.19.003
3	Pieza en T de unión entre omegas, ref. 05.19.020
4	Travesaño perfil, ref. 05.19.003
5	Placa de esquina procedente de panel STACBOND
6	Pletina remachada para encuentro entre travesaños
7	Bandeja de rincón procedente de panel STACBOND
8	Pieza para cuelgue perfil, ref. 05.19.013

SISTEMA STB-SZ

Figura 16b.
Rincón STB-SZ.

SISTEMA STB-REMACHADO

Figura 16c.
Rincón STB-Remachado.

NOTA (Cotas en mm):

1	Ménsula perfil doble T, ref. 05.19.004
2	Montante perfil, ref. 05.19.003
3	Perfil S, ref. 05.19.001
4	Perfil Z, ref. 05.19.002
5	Bandeja de rincón procedente de panel STACBOND
6	Pletina remachada para encuentro entre travesaños
7	Placa de rincón procedente de panel STACBOND
8	Pieza en T de unión entre omegas, ref. 05.19.020
9	Travesaño perfil, ref. 05.19.003

NOTA (Cotas en mm):

1	Ménsula perfil doble T, ref. 05.19.004
2	Montante perfil, ref. 05.19.003
3	Bandeja procedente de panel STACBOND
4	Pieza para cuelgue perfil, ref. 05.19.013
5	Refuerzo de entalladura perfil, ref. 05.19.019
6	Remate de chapa de aluminio
7	Dintel procedente de panel STACBOND + fijación adhesiva
8	Vierteaguas procedente de panel STACBOND + fijación adhesiva
9	Jamba procedente de panel STACBOND + fijación adhesiva

Figura 17a. Formación de huecos. Sistema STB-CH.

NOTA (Cotas en mm):

1	Ménsula perfil doble T, ref. 05.19.004
2	Montante perfil, ref. 05.19.003
3	Perfil S, ref. 05.19.001
4	Perfil Z, ref. 05.19.002
5	Bandeja dintel procedente de panel STACBOND
6	Perfil auxiliar
7	Bandeja vierteaguas procedente de panel STACBOND
8	Perfil Z adaptado
9	Bandeja jamba procedente de panel STACBOND

Figura 17b. Formación de huecos. Sistema STB-SZ.

Figura 17c. Formación de huecos. Sistema STB-Remachado.

ANEXO. SUSTITUCIÓN DE BANDEJAS DAÑADAS

1. Retirada de la bandeja dañada cortando por la pestaña superior.

2. Perforación del tubo de $30 \times 30 \times 1,4$ mm, con $\varnothing 6$, y situación en la nueva bandeja.

3. Colocación de tornillos $4,2 \times 13$ DIN 7504 N INOX en perfil en "L" de $30 \times 20 \times 1,3$ mm, y fijación de éste a la omega.

4. Colocación de adhesivo y cinta doble cara específicos, en el perfil "L" 30×20 mm.

5. Colocación de la nueva bandeja de panel composite STACBOND®, con bota de cuelgue especial de 9 mm, y piezas refuerzo cuelgue.

Figura 18. Ejemplo de sustitución de elemento de revestimiento dañado.