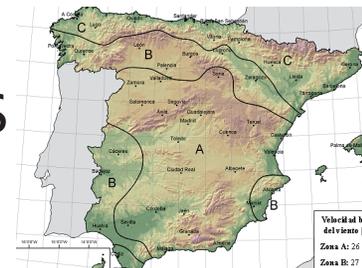


# Aplicación al código técnico de la edificación de avances en el estudio de la exposición a la humedad de fachadas



IMPLEMENTATION OF THE PROGRESS IN MOISTURE EXPOSURE ANALYSIS ON FAÇADES TO THE SPANISH BUILDING TECHNICAL CODE

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7080> | Recibido: 21/01/2014 • Aceptado: 02/03/2014

José María Pérez-Bella<sup>1</sup>, Javier Domínguez-Hernández<sup>1</sup>, Enrique Cano-Suñén<sup>1</sup>, Juan José del Coz-Díaz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA. Escuela de Ingeniería y Arquitectura. Área Ingeniería de la Construcción. c/ María de Luna, s/n - 50018 Zaragoza. Tfno.: +34 976 762100. javdom@unizar.es

<sup>2</sup> UNIVERSIDAD DE OVIEDO. Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón. Dpto. Ingeniería de la Construcción. Edificio Departamental Vieques, 7 - 33204 Gijón.

## ABSTRACT

- Assessing the water penetration exposure of building façades is a key task to guarantee the water tightness requirement included in the Spanish Building Technical Code since 2006. Recent studies have analysed the most relevant climate parameters that characterize this exposure at 80 Spanish locations. For this, international standards transposed into the Spanish framework were used. These results allow assessing the performance of the parameters that define the water tightness degree required by the Spanish Code in the building façades at each location. The findings presented here highlight the need to revise the parameters used to establish this degree, with the goal of achieving a higher design performance and improve the allocation of the required façade systems in each case. For this, new exposure maps that can be used for the improvement of the Spanish Code are presented.
- Keywords:** moisture, water tightness, façade design, Spanish technical building code (cte), driving rain.

## RESUMEN

Evaluar la exposición de las fachadas a la penetración de humedad atmosférica, constituye un requisito necesario para garantizar el posterior cumplimiento de la exigencia básica de protección frente a la humedad, recogida por el Código Técnico de la Edificación en España desde el año 2006. Estudios recientes han analizado en 80 emplazamientos españoles los parámetros climáticos más relevantes para caracterizar esta exposición. Para este análisis fueron utilizados estándares de cálculo aplicados internacionalmente y ya transpuestos al ámbito español.

Los resultados obtenidos por estos estudios han sido comparados con los parámetros que actualmente se emplean en la normativa española para definir el grado de impermeabilidad requerido en las fachadas de cada emplazamiento. Las conclusiones presentadas ponen de manifiesto la necesidad de revisar los parámetros utilizados para fijar este grado de impermeabilidad, con el objetivo de alcanzar una mayor prescricionalidad normativa y mejorar la asignación de los diseños de fachada necesarios en cada situación. Con este propósito, se presentan nuevos mapas de exposición que pueden ser utilizados para la mejora de la norma española.

**Palabras clave:** Humedad, estanqueidad, diseño de fachadas, código técnico de la edificación, lluvia batiente.

## 1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de limitar el riesgo previsible de presencia inadecuada de agua o humedad en el interior de los edificios, fue introducida como una exigencia básica en el *Código Técnico de la Edificación* – Documento Básico HS1 Salubridad (CTE DB-HS1), vigente desde 2006 en España [1]. Esta penetración de agua atmosférica repercute seriamente en las construcciones, deteriorando cerramientos, incrementando costes de mantenimiento, causando mayores consumos energéticos en los edificios, o incluso llegando a afectar a la salud de sus ocupantes [2-8].

Los fenómenos de precipitación constituyen la principal fuente de agua en estado líquido sobre las fachadas de los edificios, pero son dos los parámetros climáticos responsables de la penetración en el cerramiento de este aporte de agua (Fig. 1): la lluvia batiente o volumen de agua desviado por el viento que impacta sobre la fachada (*wind-driven rain* o WDR), y la presión eólica simultánea que favorece el avance de la humedad en los materiales de construcción (*driving rain wind pressure* o DRWP) [9-11].

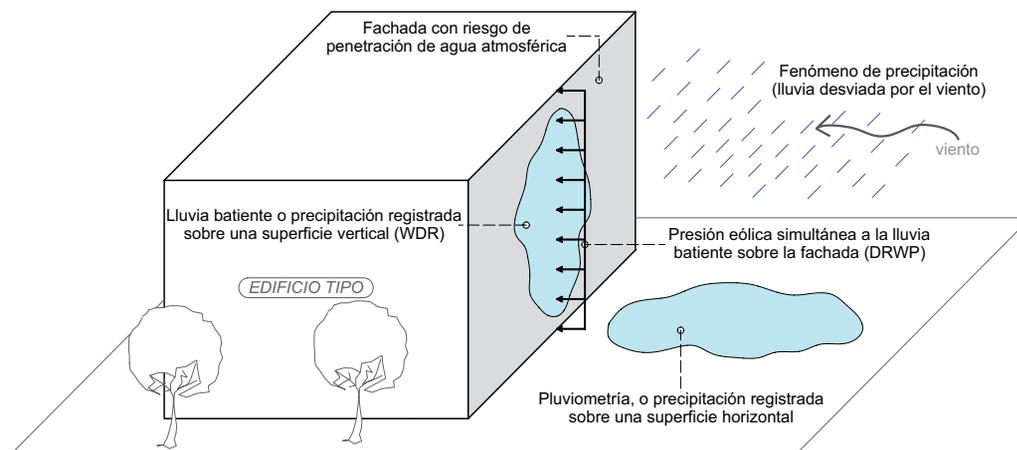


Fig.1: La lluvia desviada sobre la fachada y la presión eólica simultánea, definen el riesgo de penetración de agua atmosférica en cerramientos verticales

A lo largo de las últimas décadas, ambos parámetros han sido objeto de diferentes estudios de campo y mediciones empíricas, lo que han permitido definir aproximaciones para estimar la exposición a la WDR y DRWP a partir de registros simultáneos de velocidad de viento e intensidad de precipitación (pluviometría) [9, 12]. Utilizando estas aproximaciones (especialmente las referidas a la lluvia batiente), diversos países han caracterizado las condiciones de exposición a la humedad de sus cerramientos y valorado así el riesgo de penetración de agua en los mismos [13-17].

La aplicación de estos procedimientos de cálculo para la lluvia batiente ha sido normalizada con la aprobación en 2009 del estándar internacional ISO 15927-3 [18], inspirado en un estándar británico previo [19]. La transposición del estándar internacional al ámbito español se realizó en 2011, mediante la norma UNE-EN ISO 15927-3 [20]. Desde entonces se han desarrollado varios estudios dirigidos a cuantificar los parámetros WDR y DRWP en España. Como resultado, actualmente se dispone de su valor en 80 emplazamientos repartidos por todo el país, lo que configura una primera caracterización rigurosa del riesgo de penetración de humedad en las fachadas españolas. Para su obtención, los procedimientos de cálculo estandarizados se adaptaron a las particularidades de los registros simultáneos de lluvia y viento disponibles en los emplazamientos españoles [21-23].

Este artículo compara los resultados de exposición WDR y DRWP obtenidos por estos trabajos, con los parámetros de partida utilizados por el CTE DB-HS1 para caracterizar el riesgo previsible de penetración de humedad en fachadas. La comparación permite evaluar la convergencia entre ambos grupos de parámetros, mostrando la falta de prestacionalidad de la normativa española en la materia. Consecuentemente, tampoco el grado de impermeabilidad requerido por la norma española para impedir la penetración de agua en las fachadas, se ajusta a la solicitación realmente existente en cada fachada.

Para corregir esta situación se desarrollan nuevos mapas de exposición WDR y DRWP, directamente implementables en el CTE, que pueden ser utilizados para caracterizar este riesgo de penetración de forma más adecuada y prestacional. Todo ello ha de permitir asignar las soluciones constructivas necesarias para hacer frente a la exposición realmente presente en cada emplazamiento y fachada, optimizando recursos

económicos y materiales, y propiciando una mayor innovación en el diseño de soluciones para cerramientos verticales por parte de la industria de la construcción.

## 2. AVANCES RECIENTES EN EL ANÁLISIS DE LA EXPOSICIÓN A LA HUMEDAD DE FACHADAS EN ESPAÑA

### 2.1. CÁLCULO DE LA LLUVIA BATIENTE

La norma UNE-EN ISO 15927-3 utiliza registros horarios simultáneos de precipitación y de velocidad-dirección de viento, para calcular la exposición a la lluvia batiente en cada emplazamiento. Estos datos de viento deben registrarse en condiciones de referencia, fijadas a 10 m de altura sobre terreno llano y libre de obstáculos [24].

Así, el volumen de agua promedio  $I_A$  (l/m<sup>2</sup> año) que impacta anualmente sobre una fachada con orientación  $\Theta$  (°) puede obtenerse mediante la Ec. (1), donde  $r$  (l/m<sup>2</sup>) representa la intensidad de lluvia registrada,  $v$  (m/s) la velocidad del viento y  $D$  (°) su dirección. Para el sumatorio solo se consideran aquellos registros horarios en los que la dirección del viento  $D$  impulsa a la lluvia sobre la orientación  $\Theta$  (valores positivos). Para este cálculo, la norma considera necesario contar con registros climáticos referidos a un número mínimo de  $N=10$  años.

$$I_A = \frac{2}{9} \cdot \frac{\sum v \cdot r^{8/9} \cdot \cos D - \theta}{N} \quad (1)$$

No obstante, aunque el promedio de aporte anual de agua sobre una fachada sea bajo o moderado, la acción puntual de tormentas continuadas de gran intensidad puede también dar lugar a episodios de penetración de agua en la misma. Debido a ello, para completar la caracterización de la exposición a la lluvia batiente de la fachada, es también necesario considerar el volumen de lluvia que puede acumularse sobre ella en cortos intervalos de tiempo, antes de que la evaporación reduzca

el humedecimiento adquirido. A tal efecto, la norma considera de forma genérica que la evaporación en las fachadas se inicia tras 96 horas sin lluvia batiente sobre su superficie (Fig. 2).

Esta caracterización a corto plazo de la exposición se realiza mediante la Ec. (2), donde el valor de lluvia batiente acumulada  $I'_s$  ( $l/m^2$  periodo) sobre una fachada de orientación  $\Theta$  ( $^\circ$ ), se calcula considerando en el sumatorio los registros horarios incluidos en el periodo de humedecimiento analizado. De nuevo, solo se utilizan aquellos registros en los que la dirección del viento  $D$  impulsa lluvia batiente sobre la orientación de la fachada.

$$I'_s = \frac{2}{9} \cdot \sum v \cdot r^{\frac{8}{9}} \cdot \cos D - \theta \quad (2)$$

Recopilando la serie histórica de los valores máximos anuales de  $I'_s$  (considerado un mínimo de 10 años), el valor de referencia para la exposición a corto plazo  $I_s$  ( $l/m^2$  periodo) se define como la lluvia batiente máxima acumulable en uno de estos intervalos de humedecimiento, para un periodo de retorno de 3 años. Para este cálculo estadístico puede utilizarse la distribución de Gumbel [25]. Ambos parámetros, a largo y corto plazo ( $I_A$  e  $I_s$  respectivamente), pueden ajustarse a condiciones de altura y entorno diferentes de las de referencia, utilizando para ello coeficientes tabulados en la propia norma.

No obstante, el cálculo de la norma solo resulta aplicable en aquellos emplazamientos en los que se hayan recopilado los registros horarios necesarios durante largos periodos de tiempo. Por ello, en la práctica se emplean métodos alternativos de cálculo [26-27], así como simplificaciones del procedimiento anterior de validez contrastada, basadas en registros climáticos de menor precisión y por lo tanto más habituales y accesibles [12-17].

Este último es el caso de 3 trabajos de investigación realizados recientemente en España [21-23], en los que para el cálculo de la lluvia batiente se utilizaron registros medios diarios de precipitación y velocidad de viento, recopilados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). La antigüedad de los registros utilizados (más de 30 años) y el número de estaciones meteorológicas analizadas (80 repartidas por toda España peninsular y los archipiélagos balear y canario), garantiza la representatividad de los resultados obtenidos y una adecuada cobertura del territorio. Dada la carencia de registros de dirección del viento, se consideró de forma conservadora un valor  $\cos(D-\Theta)$  igual a 1, obteniendo así valores escalares no asociados a orientaciones concretas de fachada (Ecs. 3 y 4).

$$I_A = \frac{2}{9} \cdot \frac{\sum v \cdot r^{\frac{8}{9}}}{N} \quad (3)$$

$$I'_s = \frac{2}{9} \cdot \sum v \cdot r^{\frac{8}{9}} \quad (4)$$

Estos trabajos identificaron la costa norte peninsular y la costa del Golfo de Cádiz como las áreas más expuestas anualmente a la lluvia batiente [23], como resultado de la persistencia de condiciones simultáneas de precipitación y vientos atlánticos. Ambas zonas presentaron también elevadas exposiciones a corto plazo, al igual que puntos concretos de la costa mediterránea y los archipiélagos balear y canario, como resultado de la acción frecuente de intensos periodos de lluvia concentrados en cortos intervalos de tiempo [21, 28].

## 2.2. CÁLCULO DE LA PRESIÓN EÓLICA SIMULTÁNEA A LA LLUVIA BATIENTE

Para calcular la presión eólica sobre una superficie vertical se utiliza generalmente la *ecuación de Bernouilli*, si bien no existe una norma que estandarice el uso de registros climáticos de una determinada precisión [9]. Así, habitualmente el valor medio de presión eólica simultánea a la lluvia batiente  $DRWP_A$  (Pa) sobre una fachada de orientación  $\Theta$  ( $^\circ$ ), puede obtenerse mediante la Ec. (5), en la que  $\rho$  ( $kg/m^3$ ) representa la densidad del aire,  $v$  (m/s) la velocidad del viento y  $D$  ( $^\circ$ ) su dirección. En el sumatorio se consideran solo aquellos  $m$  registros de viento simultáneos a precipitaciones, recopilados a lo largo de los años analizados y en los que la dirección del viento incide sobre la fachada (se analizan valores de presión positiva, ya que solo éstos contribuyen a la penetración del aporte de agua en los materiales).

$$DRWP_A = \frac{\sum \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot \cos D - \theta}{m} \quad (5)$$

Para caracterizar la exposición a corto plazo (durante periodos de humedecimiento), deben considerarse solo aquellos  $m$  registros contenidos a lo largo de cada periodo, descartando de nuevo en la Ec. (5) los registros de velocidad de viento no simultáneos a la lluvia (no participan en el proceso de penetración de humedad) y aquellos que no inciden sobre la fachada (no generan presión positiva). Así el valor de referencia a corto plazo  $DRWP_s$  (Pa), puede definirse como el valor máximo esperable en uno de estos intervalos, para un periodo de retorno de 3 años (de nuevo puede utilizarse la distribución de Gumbel).

Como para la lluvia batiente, este cálculo es ajustable a diferentes condiciones de altura y entorno de la fachada, ponderando el valor  $v$  aplicado en la formulación. Así, es posible obtener la presión eólica

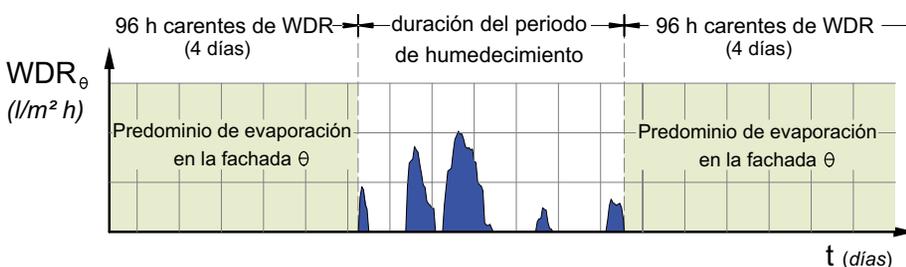


Fig.2: Definición del periodo de humedecimiento sobre un cerramiento de orientación  $\Theta$  [20]

simultánea a la precipitación, para cualquier configuración de cerramiento diferente de las condiciones de referencia.

Este procedimiento de cálculo fue utilizado en los estudios realizados en España, adoptando de forma conservadora un valor  $\cos(D-\Theta)$  igual a 1 y una densidad del aire constante e igual a  $1,25 \text{ kg/m}^3$  (Ec. 6). Únicamente se consideraron aquellos valores diarios de velocidad de viento  $v$  (m/s), correspondientes a días en los que también se detectó una precipitación apreciable ( $>0,05 \text{ l/m}^2$ ). Los registros climáticos analizados fueron los mismos utilizados para el estudio de la lluvia batiente, por lo que los resultados para cada uno de los 80 emplazamientos mantienen idéntica representatividad y la coherencia interna entre parámetros a corto y largo plazo ( $I_s - DRWP_s$  y  $I_A - DRWP_A$ ).

$$DRWP_A = \frac{\sum \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2}{m} \quad (6)$$

Estos estudios mostraron elevadas presiones eólicas medias simultáneas a la lluvia batiente en la costa norte de la península, costa de Andalucía, ambos archipiélagos y puntos concretos del interior peninsular como Albacete, Burgos, Valladolid o Zaragoza [23]. A corto plazo, las zonas más expuestas se localizan en la costa mediterránea, ambos archipiélagos y la costa andaluza [22], así como puntos concretos de la costa norte peninsular y del interior del país.

### 2.3. NORMATIVA ESPAÑOLA SOBRE PROTECCIÓN FRENTE A LA HUMEDAD EN FACHADAS

La aprobación en 2006 del CTE DB-HS1 supuso un importante progreso en la caracterización del riesgo de penetración

de humedad en los edificios, ante la ausencia de regulación previa. No obstante, en la actualidad diversos avances posibilitan la evolución natural de la normativa hacia una mayor prestacionalidad, ajustando los requerimientos establecidos a la solicitud realmente existente. Así, para caracterizar el riesgo de penetración de humedad en los cerramientos verticales, el CTE DB-HS1 utiliza dos parámetros diferentes a los vigentes en el ámbito internacional y que no son representativos de la solicitud en las fachadas: la pluviometría media anual y la velocidad básica de viento [1].

El primer parámetro hace referencia a la precipitación media anual registrada sobre una superficie horizontal (Fig. 1), y se presenta asignando a cada emplazamiento un determinado nivel de exposición mediante un mapa zonificado (zonas I - V, según datos pluviométricos recopilados por la AEMET para la serie histórica 1971-2000). Sin embargo, este parámetro no considera el viento simultáneo a la precipitación (que condiciona realmente el riesgo de penetración existente y es responsable del aporte de agua sobre la superficie vertical de la fachada) y por lo tanto, no cuantifica el volumen de agua incidente sobre la fachada [23].

El segundo parámetro se refiere al valor máximo de velocidad de viento que se espera que se produzca durante un intervalo de 10 minutos, para un periodo de retorno de 50 años. Este parámetro se presenta también mediante un mapa zonificado, en el que a cada localidad se le asigna un determinado nivel de velocidad básica de viento (zonas A - C). Sin embargo, tampoco este valor cuantifica la presión eólica simultánea al aporte de agua, ya que en su cálculo se consideran todos los registros de viento no simultáneos a precipitaciones, lo que distorsiona el resultado obtenido [23].

Aunque, ninguno de los dos parámetros identifica presuntamente las condiciones reales de exposición a la humedad existentes sobre las fachadas, ambos parámetros se

CTE DB-HS1 Figura 2.5 Zonas eólicas

		Clase de entorno del edificio					
		Zonas urbanas, industriales, forestales o con edificios en altura			Zonas rurales y bordes de grandes superficies de agua		
Altura del edificio		Zona eólica (valor básico de velocidad de viento)			Zona eólica (valor básico de velocidad de viento)		
		A	B	C	A	B	C
≤ 15 m		V3	V3	V3	V2	V2	V2
16 - 40		V3	V2	V2	V2	V2	V1
41 - 100		V2	V2	V2	V1	V1	V1

CTE DB-HS1 Tabla 2.6 Grado de exposición al viento

Grado de exposición al viento	V1	Zona pluviométrica de promedios (valor medio anual de precipitación)				
		I	II	III	IV	V
V1		5	5	4	3	2
V2		5	4	3	3	2
V3		5	4	3	2	1

CTE DB-HS1 Tabla 2.5 Grado de impermeabilidad mínimo exigido a las fachadas

Grado de impermeabilidad		Con revestimiento exterior				Sin revestimiento interior			
		R1+C1				C1+J1+N1			
≤1		R1+C1				C1+J1+N1			
≤2		R1+C1				B1+C1+J1+N1	C2+H1+J1+N1	C2+J2+N2	C1+H1+J2+N2
≤3		R1+B1+C1	R1+C2			B2+C1+J1+N1	B1+C2+H1+J1+N1	B1+C2+J2+N2	B1+C1+H1+J2+N2
≤4		R1+B2+C1	R1+B1+C2	R2+C1		B2+C2+H1+J1+N1		B2+C2+J2+N2	B2+C1+H1+J2+N2
≤5		R3+C1	B3+C1	R1+B2+C2	R2+B1+C1	B3+C1			

CTE DB-HS1 Tabla 2.7 Condiciones de las soluciones de fachada

Fig.3: Caracterización del grado de impermeabilidad y condiciones de diseño para fachadas según CTE DB-HS1 [1]

EMPLAZAMIENTO	Zona pluviom. [1]	$I_s$ (l/m <sup>2</sup> per.) [21]	$I_A$ (l/m <sup>2</sup> año) [23]	Zona eólica [1]	DRWP <sub>S</sub> (Pa) [22]	DRWP <sub>A</sub> (Pa) [23]
La Coruña (aeropuerto)	II	364,71	925,52	C	29,52	13,67
La Coruña	II	296,14	801,15	C	29,48	13,83
Santiago (aeropuerto)	II	728,83	1721,50	C	35,72	15,14
Vitoria (aeropuerto)	III	127,82	409,05	C	20,81	7,27
Albacete (Los Llanos)	IV	75,88	290,46	A	74,64	20,38
Alicante (aeropuerto)	V	62,65	189,36	B	41,03	11,95
Alicante	V	44,78	134,68	B	19,47	4,68
Almería (aeropuerto)	V	59,62	168,77	A	69,69	17,79
Asturias (aeropuerto)	II	274,18	779,56	C	26,52	11,63
Oviedo	II	185,93	567,09	C	26,35	8,81
Ávila	III	77,65	228,82	A	22,82	7,74
Badajoz (aeropuerto)	IV	118,33	333,95	B	30,81	11,75
Barcelona (aeropuerto)	III	132,00	425,05	C	35,31	12,10
Burgos (Villafria)	III	182,13	538,42	B	46,86	19,15
Cáceres	IV	166,30	422,33	B	32,93	13,75
Cádiz	III	228,35	506,00	C	63,30	19,34
Jerez (aeropuerto)	III	241,47	602,18	C	50,06	20,05
Tarifa	III	396,08	944,65	C	142,90	55,00
Santander (aeropuerto)	II	344,05	1063,12	C	40,70	16,36
Santander	II	316,13	954,88	C	33,76	14,77
Castellón de la Plana	IV	77,41	210,10	A	25,95	5,18
Ciudad Real	IV	70,86	213,06	A	19,82	6,70
Córdoba (aeropuerto)	III	168,75	398,34	A	33,83	11,47
Cuenca	III	67,36	231,40	A	20,05	5,39
Gerona (aeropuerto)	III	87,67	330,91	C	19,50	5,77
Granada (aeropuerto)	IV	56,08	159,33	A	18,37	5,69
Granada (base aérea)	IV	67,50	201,95	A	25,47	7,46
Molina de Aragón	III	63,15	243,54	A	25,89	6,90
San Sebastián (aeropuerto)	I	308,80	986,20	C	17,43	7,90
San Sebastián (Igueldo)	II	475,94	1533,02	C	53,43	21,84
Huelva	III	135,86	354,00	B	30,11	11,10
Huesca (aeropuerto)	III	88,15	363,30	C	72,20	13,16
Ibiza (aeropuerto)	IV	89,68	317,17	C	50,12	14,46
Menorca (aeropuerto)	III	142,41	482,05	C	57,42	18,80
Mallorca (aeropuerto)	III	80,06	273,87	C	44,54	11,97
Palma de Mallorca (puerto)	III	49,95	172,15	C	18,99	4,42
Jaén	III	102,10	252,84	A	20,26	7,15
Logroño (aeropuerto)	IV	59,72	253,85	B	37,96	11,97
Fuerteventura (aeropuerto)	IV	57,48	103,86	C	49,49	23,37
Lanzarote (aeropuerto)	IV	61,71	118,81	C	48,76	24,19
Las Palmas (aeropuerto)	III	63,97	125,25	C	78,40	31,09
León (aeropuerto)	III	100,26	308,68	B	35,91	10,57
Ponferrada	III	78,13	223,35	B	14,80	4,96
Lérida	IV	36,20	137,57	C	19,18	3,98
Madrid (aeropuerto)	IV	74,65	238,76	A	39,80	10,84
Madrid (Cuatro Vientos)	IV	87,73	281,25	A	32,37	13,94
Madrid (Getafe)	IV	85,91	283,57	A	45,75	10,13
Madrid	IV	66,29	205,67	A	24,63	6,96
Madrid (Torrejón)	IV	64,82	213,17	A	28,41	8,74
Navacerrada	III	459,94	1114,56	A	32,83	11,63
Málaga (aeropuerto)	III	133,99	310,60	A	31,06	9,17
Melilla	IV	108,35	297,10	C	51,38	13,88
Murcia (Alcantarilla)	IV	39,95	115,61	B	20,53	4,79
San Javier (aeropuerto)	V	109,86	288,50	B	61,97	16,55
Pamplona (aeropuerto)	III	117,26	417,40	C	36,23	11,54

Pontevedra	II	286,68	689,21	B	11,31	4,57
Vigo (aeropuerto)	II	503,81	1274,87	B	19,20	9,80
Salamanca (aeropuerto)	IV	99,71	320,54	A	51,84	17,25
Salamanca	IV	78,81	227,79	A	26,11	7,86
Segovia	III	72,80	240,82	A	24,99	7,09
Morón de la Frontera	III	203,11	515,93	A	48,01	18,94
Sevilla (aeropuerto)	III	179,42	428,40	A	30,94	13,01
Soria	III	94,21	315,40	A	38,75	10,16
Hierro (aeropuerto)	IV	98,87	170,82	C	69,69	23,35
Izaña	IV	608,23	914,94	C	212,95	62,28
La Palma (aeropuerto)	IV	176,99	344,98	C	94,90	22,56
Sta. Cruz de Tenerife	III	62,69	134,35	C	27,68	8,31
Tenerife Norte (aeropuerto)	III	206,18	600,14	C	56,38	24,11
Tenerife Sur (aeropuerto)	IV	66,12	121,57	C	52,59	22,86
Reus (aeropuerto)	IV	81,12	276,98	C	52,47	9,07
Tortosa	III	65,40	216,69	C	29,75	5,67
Toledo	IV	58,97	193,24	A	29,45	8,69
Valencia (aeropuerto)	IV	96,62	267,21	A	63,49	10,77
Valencia	IV	71,49	176,81	A	21,04	3,94
Valladolid (Villanubla)	IV	128,84	405,33	A	48,47	18,80
Valladolid	IV	68,26	209,67	A	21,11	6,64
Bilbao (aeropuerto)	II	271,20	843,36	C	33,53	12,47
Zamora	IV	69,97	209,60	A	18,81	6,74
Daroca	IV	27,44	124,14	A	13,14	3,28
Zaragoza (aeropuerto)	IV	52,83	217,57	B	62,59	15,69

Tabla 1: Comparación entre los parámetros utilizados por el CTE DB-HS1 para determinar el riesgo de penetración y los parámetros estandarizados obtenidos en 80 emplazamientos

combinan para caracterizar el riesgo de penetración de agua. Así, en primer lugar se pondera el valor de la velocidad básica del viento, considerando la ubicación, altura y entorno del edificio. Posteriormente se combina el grado de exposición al viento resultante (V1 a V3), con el dato de pluviometría media asociado al emplazamiento (Fig. 3), para obtener el riesgo de penetración o grado de impermeabilidad requerido.

Este grado de impermeabilidad (1 a 5), determina el diseño constructivo requerido en la fachada para superar la sollicitación prevista. Para ello el CTE se sirve de soluciones aceptadas, cuyas condiciones (revestimiento exterior R, barrera de penetración al agua B, hoja principal C, higroscopicidad H, juntas J y revestimiento intermedio N), dependen del valor obtenido en este grado. Una estimación precisa del mismo, es por lo tanto imprescindible para asignar adecuadamente a cada situación las condiciones de diseño realmente necesarias, optimizando coste y material.

### 3. PRESTACIONALIDAD DE LA CARACTERIZACIÓN NORMATIVA

Para verificar la inadecuación de los parámetros utilizados por el CTE DB-HS1 (zona pluviométrica y zona eólica), éstos se han comparado con los resultados obtenidos siguiendo estándares internacionales, en 80 localizaciones del país analizadas en los estudios previos ( $I_A$ ,  $I_S$ ,  $DRWP_A$  y  $DRWP_S$ ). Los valores asociados a cada grupo de parámetros se han recopilado en la Tabla 1.

La aproximación conservadora introducida por estos estudios al asumir un valor igual a 1 para el  $\cos(D-\Theta)$ , permite comparar sus resultados con la normativa española, ya que ésta última no establece una caracterización direccional de la exposición (ligada a la orientación de fachada). Para esta comparación no se considera la influencia de la altura y entorno del edificio en los parámetros, ya que ésta es igualmente aplicable sobre cada uno de ellos. Así pues, únicamente se analiza la exposición asignada por cada documento a cada emplazamiento.

#### 3.1. DISCUSIÓN

Como se observa en la Tabla 1, diversos emplazamientos asignados a zonas pluviométricas o eólicas más favorables, presentan exposiciones WDR y DRWP superiores a las de zonas teóricamente más desfavorables, y viceversa. Ello revela que en la actualidad, el CTE DB-HS1 requiere un grado de impermeabilidad para los diseños de fachadas, que no se corresponde necesariamente con el riesgo real de penetración de agua en las mismas. Consecuentemente, también se asignan condiciones constructivas insuficientes o excesivas en los emplazamientos para el cumplimiento de la exigencia básica de protección frente a la humedad.

Así, puede apreciarse como emplazamientos con similares valores de exposición ( $I_S$  o  $I_A$ ), son considerados por el CTE DB-HS1 en zonas pluviométricas distintas. Es el caso de muchos de los emplazamientos ubicados en las zonas III, IV y V, sometidos a similares aportes de lluvia batiente a pesar de la diferente caracterización que establece la normativa. Contra-

riamente, por ejemplo Madrid (Getafe) (zona pluviométrica IV), presenta una exposición anual a la lluvia batiente en las fachadas de 283,57 l/m<sup>2</sup>año, mientras que Tortosa (zona III, teóricamente más desfavorable) presenta tan solo un valor  $I_A$  igual a 216,69 l/m<sup>2</sup>año. Estas incoherencias se detectan tanto para la exposición a corto como a largo plazo, si bien es menos acusada en localizaciones con elevada pluviometría anual (zonas I y II).

Del mismo modo, a emplazamientos con un valor de exposición DRWP similar, se asignan zonas eólicas diferentes en la normativa. También emplazamientos asignados en la zona A (teóricamente la más favorable), pueden presentar presiones eólicas simultáneas al aporte de agua muy superiores a los de localidades asignadas en la zona C (teóricamente la más desfavorable). En este caso la arbitrariedad de la caracterización se produce indistintamente para las tres zonas eólicas y para cualquier duración de la exposición. Así por ejemplo el caso de Albacete es representativo: asignado a la zona A (la más favorable), presenta una exposición DRWP a corto y largo plazo superior a la de emplazamientos asignados en la zona más desfavorable (zona C), como Gerona, Santander, La Coruña o Santiago.

Todo ello indica que la actual determinación del grado de impermeabilidad requerido en las fachadas, basado en la pluviometría anual y la velocidad básica del viento, puede ser mejorada para obtener una caracterización del riesgo de penetración de agua más adecuada y prestacional. Con este propósito, se presentan 4 nuevos mapas zonificados, representativos de las exposiciones WDR y DRWP, que pueden susti-

tuir directamente a los utilizados actualmente para determinar el grado de impermeabilidad necesario. Para su elaboración, los valores de exposición a corto y largo plazo presentados en la Tabla 1 se han agrupado en zonas o rangos de amplitud similar a los establecidos por el CTE para las zonas de pluviometría media anual y velocidad básica de viento (Figs. 4 y 5). Evidentemente, la disponibilidad de registros climáticos en un mayor número de estaciones meteorológicas, ha de permitir en el futuro elaborar mapas zonificados de WDR y DRWP más exhaustivos para todo el territorio.

Como se observa en la Fig. 4, existen apreciables diferencias entre la pluviometría media anual en cada emplazamiento y la exposición a la lluvia batiente de sus fachadas. Así, y a pesar del mayor detalle del mapa zonificado presente en el CTE DB-HS1 (actualmente se dispone de un menor número de datos de WDR que de pluviometría media anual), es también posible identificar notables diferencias en múltiples zonas, tanto en la exposición a corto como a largo plazo (Ceuta, Islas Baleares y Canarias, Cataluña, sierra de Madrid y puntos diversos del interior peninsular).

La Fig. 5 muestra aún mayores diferencias entre la velocidad básica del aire y la presión eólica que se produce de forma simultánea a la precipitación. Así, los nuevos mapas de exposición a corto y largo plazo presentan un mayor grado de detalle, identificando exposiciones elevadas en zonas como Zaragoza, Albacete, Almería, Burgos, costa mediterránea o Islas Baleares, que no aparecen en el mapa zonificado del CTE DB-HS1. Inversamente, zonas de Galicia, País Vasco también preguntan exposiciones inferiores a las indicadas por la norma española.

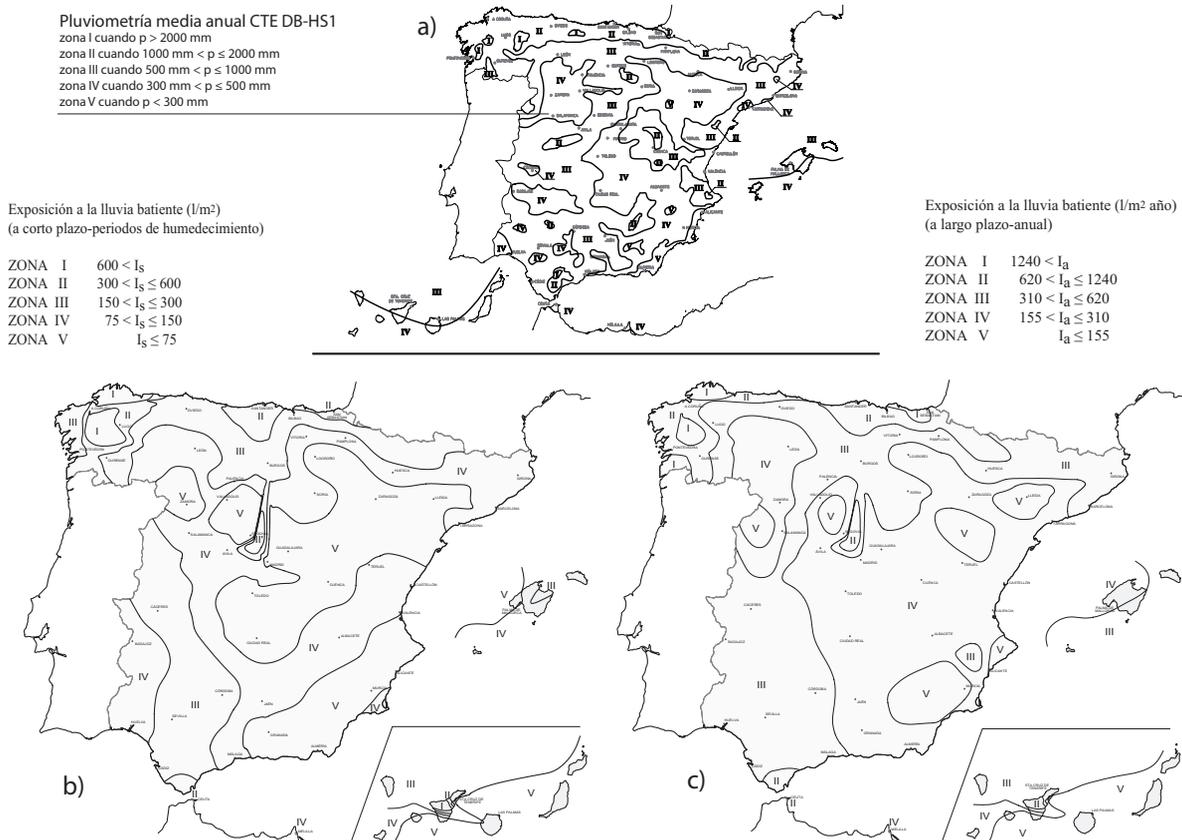


Fig. 4: Mapas zonificados para caracterizar el aporte de agua en fachadas: a) CTE DB-HS1; b)  $I_S$ ; c)  $I_A$ .

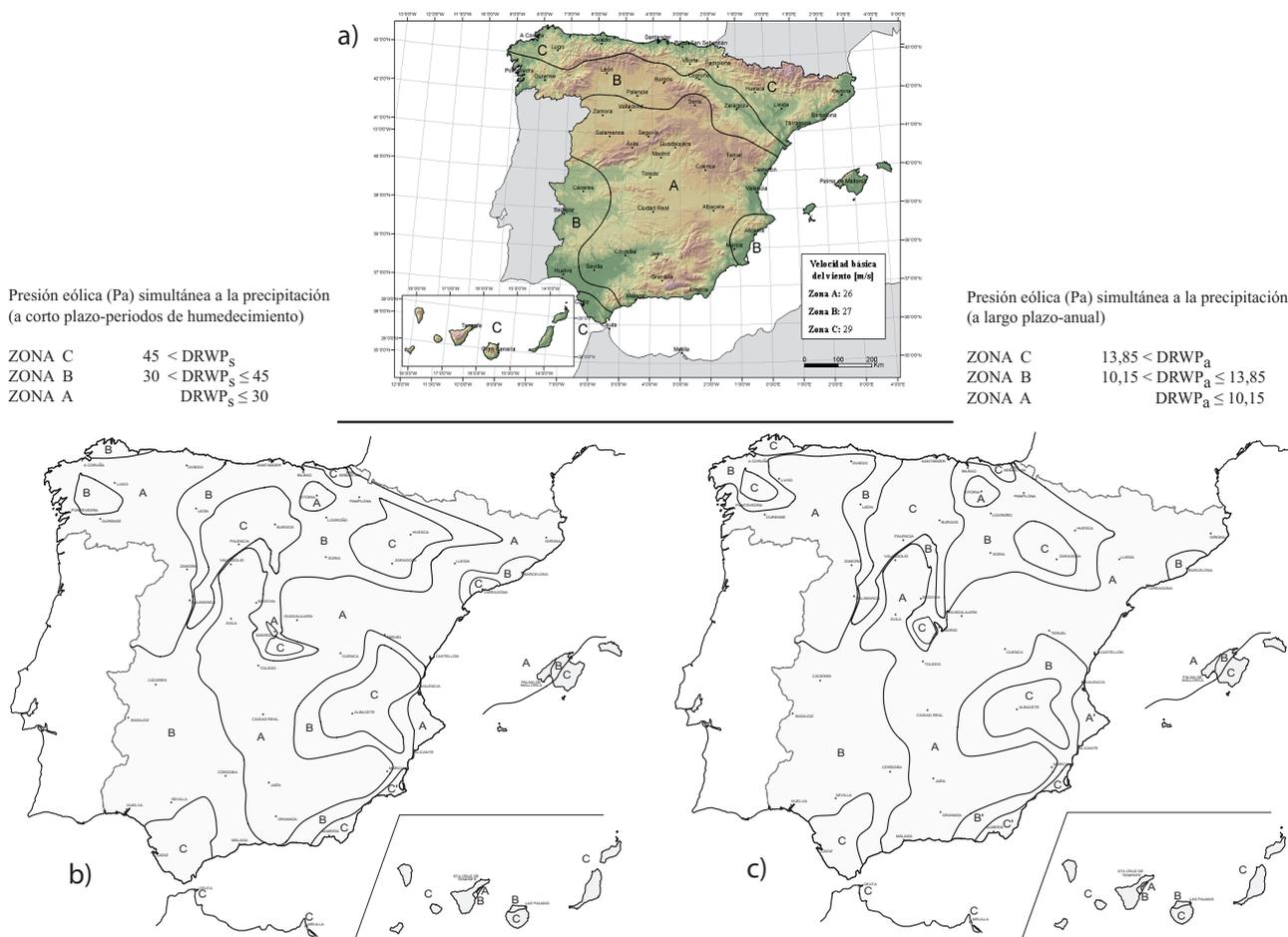


Fig. 5: Mapas zonificados para caracterizar la influencia del viento en la penetración de agua en fachadas: a) CTE DB-HS1; b)  $DRWP_s$ ; c)  $DRWP_a$ .

Estos nuevos mapas zonificados permiten mantener las mismas tablas de asignación utilizadas por la norma española para determinar el grado de impermeabilidad (véase Fig. 3). Su aplicación daría lugar a dos posibles grados de impermeabilidad diferenciados para cada emplazamiento (a corto o largo plazo), recomendándose la elección del más desfavorable para determinar el diseño constructivo requerido.

En cualquiera de ambos casos, el uso de parámetros climáticos realmente representativos para el riesgo de penetración de agua, posibilita una determinación más adecuada del grado de impermeabilidad necesario y con ello, del diseño constructivo de fachada necesario. El uso de estos nuevos parámetros ha de contribuir a optimizar la solución constructiva impuesta, ajustándola a los requerimientos reales en el emplazamiento. Cuantificar la lluvia batiente y presión eólica sobre las fachadas abre igualmente la puerta al desarrollo de nuevos procedimientos prestacionales para la justificación del cumplimiento de la exigencia básica, contribuyendo así a mejorar la norma española.

#### 4. CONCLUSIÓN

Partiendo de cálculos estandarizados ya recogidos en normas de ámbito internacional para determinar WDR y DRWP, se han calculado por primera vez en España parámetros representativos del riesgo de penetración de agua en las fachadas de

múltiples emplazamientos. Estos parámetros han sido comparados con los utilizados actualmente por el CTE DB-HS1 para el mismo fin, detectándose diversas incoherencias.

Se ha mostrado como los rangos de sollicitación asignados por el CTE a numerosos emplazamientos, no se ajustan a la exposición a la lluvia batiente y presión eólica simultánea realmente existente. Consecuentemente, tampoco el grado de impermeabilidad requerido se adecua a las necesidades de estos emplazamientos, pudiendo provocar una asignación de soluciones constructivas inapropiada para el cumplimiento de la exigencia básica de protección frente a la humedad.

Estos resultados sugieren la necesidad de revisar los parámetros de partida que el CTE utiliza para definir el grado de impermeabilidad requerido en las fachadas. Los valores de lluvia batiente y presión eólica simultánea calculados en diversos emplazamientos españoles se han utilizado para sustituir a estos parámetros, elaborando nuevos mapas zonificados directamente utilizables en la norma actual, y que responden más adecuadamente a los estándares internacionales actuales. Las nuevas zonas de exposición definidas en estos mapas pueden utilizarse para una determinación más prestacional del grado de impermeabilidad requerido.

Este trabajo abre una nueva línea de trabajo orientada a elaborar mapas zonificados más precisos, analizando parámetros climáticos representativos de la exposición existente sobre las fachadas, en un mayor número de emplazamientos españoles. La utilización de estos nuevos parámetros supone

un reto para la industria de la construcción española que ha de contribuir a minimizar los problemas asociados a la penetración de agua atmosférica, optimizando el uso de materiales de construcción y mejorando el diseño actual de las fachadas en cualquier emplazamiento y condición concreta de exposición.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido parcialmente financiada por el Ministerio de Ciencia e Innovación y cofinanciada con fondos FEDER a través del proyecto de investigación BIA2012-31609. Se quiere reconocer la colaboración del grupo de investigación GICONSIME, perteneciente a la Universidad de Oviedo.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] España. Real Decreto 314/2006 por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Boletín Oficial del Estado, 28 de marzo de 2006, núm.74, p.11816.
- [2] Balaras CA, Droutsas K, Dascalaki E, et al. "Deterioration of European apartment buildings". *Energy and Buildings*. 2005. Vol.37 p.515-527. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.09.010>
- [3] Boyd DW. "Weather and the deterioration of buildings materials". En: *Durability of building materials and components*, ASTM Special Technical Publication. 1980, No.691, p.145-156.
- [4] Del Coz JJ, Rabanal FP, García PJ, et al. "Hygrothermal properties of lightweight concrete: Experiments and numerical fitting study". *Construction and Building Materials*. 2013. Vol.40 p.543-55. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.045>
- [5] Sanders C. Heat, air and moisture transfer in insulated envelope parts: Environmental conditions. Leuven: International Energy Agency, 1996. Annex 24, Final report, Vol.2.
- [6] WHO. Environmental burden of disease associated with inadequate housing. Methods for quantifying health impacts of selected housing risks in the WHO European Region. Copenhagen: World Health Organization, 2011.
- [7] Haverinen-Shaughnessy U. "Moisture as a source of indoor air contamination". En: *EnVIE conference on indoor air quality and health for EU policy*, (Helsinki 2007).
- [8] Bornehag CG, Blomquist G, Gyntelberg F, et al. "Dampness in buildings and health". *Indoor Air*. 2001. Vol.11 p. 72-86. DOI: <http://dx.doi.org/10.1034/j.1600-0668.2001.110202.x>
- [9] Cornick SM, Lacasse MA, "A review of climate loads relevant to assessing the watertightness performance of walls, windows, and wall-window interfaces". *Journal of ASTM International*. 2005. Vol.2-10 p.1-16. DOI: <http://dx.doi.org/10.1520/JAI12505>.
- [10] Sahal AN, Lacasse MA. Experimental assessment of water penetration and entry into siding-clad wall specimen. Ottawa: National Research Council Canada, 2004. Internal Report No.862.
- [11] Kerr D. Keeping walls dry. Ottawa: Canada Montage and Housing Corporation, 2004.
- [12] Blocken B, Carmeliet J. "A review of wind-driven rain research in building science". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2004. Vol.92-13 p.1079-1130. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2004.06.003>
- [13] Pérez JM, Domínguez J, Cano E, et al. "Global analysis of building façade exposure to water penetration in Chile". *Building and Environment*. 2013. Vol.70 p.284-297. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.09.001>
- [14] Sahal N. "Proposed approach for defining climate regions for Turkey based on annual driving rain index and heating degree-days for building envelope design". *Building and Environment*. 2006. Vol.41 p.520-526. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.07.004>
- [15] Chand I, Bhargava PK. "Estimation of driving rain index for India". *Building and Environment*. 2002. Vol.37 p.549-554. [http://dx.doi.org/10.1016/S0360-1323\(01\)00057-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0360-1323(01)00057-9)
- [16] Giarma C, Aravantinos D. "Estimation of building components' exposure to moisture in Greece based on wind, rainfall and other climatic data". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2010. Vol.99 p. 91-102. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2010.12.001>
- [17] Akingbade FOA. "Estimation of driving rain index for Nigeria". *Architectural Science Review*. 2004. Vol.47-2 p.103-106. <http://dx.doi.org/10.1080/00038628.2004.9697032>
- [18] CEN. Hygrothermal performance of buildings - Calculation and presentation of climatic data Part 3: Calculation of a driving rain index for vertical surfaces from hourly wind and rain data. EN ISO 15927-3. Bruselas: European Committee for Standardization, 2009.
- [19] BSI. Code of practice for assessing exposure of walls to wind-driven rain. BS 8104. Londres: British Standards Institution, 1992.
- [20] AENOR. Comportamiento higrotérmico de los edificios - Cálculo y presentación de datos climáticos. Parte 3: Cálculo de un índice de lluvia para superficies verticales a partir de datos horarios de viento y lluvia. UNE-EN ISO 15927-3. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación, 2011.
- [21] Pérez JM, Domínguez J, Rodríguez B, et al. "Estimation of the exposure to moisture in Spain from daily wind and rain data". *Building and Environment*. 2012. Vol.57 p.259-270. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.05.010>
- [22] Pérez JM, Domínguez J, Rodríguez B, et al. "Combined use of wind-driven rain and wind pressure to define water penetration risk into building façades: the Spanish case". *Building and Environment*. 2013. Vol.64 p.46-56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.03.004>
- [23] Pérez JM, Domínguez J, Rodríguez B, et al. "Revisión y mejora de la caracterización del grado de impermeabilidad requerido por el CTE DB-HS1 para fachadas de edificación". *Informes de la construcción*. 2013. Artículo aceptado, pendiente de publicación.
- [24] WMO. Guide to meteorological instruments and methods of observation. WMO No.8. Ginebra: World Meteorological Organisation, 2008.
- [25] Gumbel EJ. Statistics of extremes. New York: Columbia University Press, 1958. 375p. ISBN: 978-02-310-2190-6
- [26] Rydock JP. "Validation of a present weather observation method for driving rain mapping". *Building and Environment*. 2007. Vol.42 p.566-571. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.09.017>
- [27] Rydock JP, Lisø KR, Forland EJ, et al. "A driving rain exposure index for Norway". *Building and Environment*. 2005. Vol.40 p.1450-1458. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.11.018>
- [28] Llasat MC, Martín F, Barrera A. "From the concept of 'Kaltlufttropfen' (cold air pool) to the cut-off low. The case of September 1971 in Spain as an example of their role in heavy rainfalls". *Meteorology and Atmospheric Physics*. 2007. Vol.96 p.43-60. <http://dx.doi.org/10.1007/s00703-006-0220-9>