

CONTART 2018: VII Convención de la Edificación
30 mayo - 1 junio 2018; Zaragoza (Spain): Colegio Oficial de
Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Zaragoza. Escuela
Universitaria Politécnica de La Almunia, p.240-249

024

ANÁLISIS DE LA VALIDEZ DEL CTE PARA EL DISEÑO DE ELEMENTOS DE RECOGIDA DE AGUA DE LLUVIA EN TEJADOS SINGULARES

RUIZ LOZANO, OSCAR¹; RUSSO, BENIAMINO²

¹ EUPLA, La Almunia de Doña Godina, España
E-mail: oruiz@unizar.es, Web: <http://eupla.unizar.es/>

² EUPLA, La Almunia de Doña Godina, España
E-mail: brusso@unizar.es, Web: <http://eupla.unizar.es/>

PALABRAS CLAVE: Cambio climático, CTE, drenaje, tejados

RESUMEN

El Código Técnico de la Edificación (CTE) define las dimensiones de los elementos que permiten la evacuación de las aguas pluviales de los edificios. Sin embargo, las condiciones especiales de las cubiertas y los tiempos de concentración reducidos de estas superficies provocan que el diseño obtenido siguiendo las indicaciones del CTE resulte insuficiente para recoger adecuadamente la escorrentía producida en los tejados. Las experiencias obtenidas en este sentido demuestran la insuficiencia del diseño generado mediante el CTE, siendo su efecto más evidente cuanto mayor es la superficie de la cubierta. Los cálculos realizados muestran los valores a considerar en el diseño de estas cubiertas con el objetivo de que la escorrentía producida no constituya un problema durante los episodios de precipitación de mayor intensidad, teniendo en cuenta, además, que la frecuencia de estos episodios podría verse incrementada por los efectos del cambio climático en nuestro país.

1. INTRODUCCIÓN

El Código Técnico de la Edificación (CTE) define las dimensiones mínimas de los elementos constituyentes de la evacuación de las aguas pluviales de los edificios. Los técnicos utilizan las dimensiones recogidas en el CTE con la confianza de que el contenido de la norma proporcionará la seguridad necesaria a la instalación frente a las inundaciones. Sin embargo, las experiencias recientes muestran que edificaciones industriales perfectamente diseñadas según el CTE, tienen problemas de evacuación de aguas con una frecuencia superior a la razonable para una empresa. La problemática aumenta cuanto mayores son las dimensiones del tejado, donde el vertido al exterior no sirve como aliviadero para el exceso de caudal. En el presente artículo, se van a comparar los cálculos de referencia del CTE con los cálculos fruto de la hidrología clásica, incluyendo las consideraciones propias del cambio climático. Los cálculos mostrarán la insuficiencia del CTE para estimar las dimensiones del drenaje.

2. CÁLCULO DEL DRENAJE DE CUBIERTAS SEGÚN EL CTE

Se resume, a continuación, la metodología de cálculo del CTE para el drenaje de cubiertas, todas las fórmulas, tablas y gráficos, mostradas a continuación, se han obtenido del propio CTE. El Código Técnico de la Edificación [1] incluye el Documento Básico HS Salubridad (Higiene, salud y protección del medio ambiente) que tiene por objeto establecer reglas y procedimientos que permitan cumplir las exigencias básicas de salubridad. Las secciones de este Documento Básico se corresponden con las exigencias básicas HS1 a HS5. La correcta aplicación de cada sección supone el cumplimiento de la exigencia básica correspondiente. La sección HS5, Evacuación de aguas, hace referencia a la instalación de evacuación de aguas residuales y pluviales en los edificios incluidos en el ámbito de aplicación general del CTE. Esta sección HS5 es la de aplicación al presente artículo, y en particular, el apartado 4.2 que hace referencia al Dimensionado de la red de evacuación de aguas pluviales y sus correspondientes apéndices.

El primer paso para la aplicación del CTE es la **determinación de la precipitación de diseño**, para ello se debe emplear la “Figura B.1” del apéndice B al HS5, dicha figura se presenta a continuación.



Figura 1: “Figura B.1” del CTE, Mapa de isoyetas y zonas pluviométricas.

Situando sobre la figura anterior la ubicación del edificio a calcular obtenemos una zona pluviométrica y una isoyeta, que se introducen en la “Tabla B.1” para conseguir la intensidad pluviométrica de diseño. La Figura 2 corresponde a la “Tabla B.1” del CTE.

Isoyeta	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Zona A	30	65	90	125	155	180	210	240	275	300	330	365
Zona B	30	50	70	90	110	135	150	170	195	220	240	265

Figura 2: “Tabla B.1” del CTE, Intensidad Pluviométrica i (mm/h).

Por ejemplo, la figura muestra que Zaragoza se encuentra en la zona pluviométrica A y en las cercanías de la isoyeta de valor 30, por lo que, según la Figura 2, se establece una precipitación de 90 mm/h.

El canalón de recogida de agua se diseña en función del apartado 4.2.2 del citado HS5. La tabla 4.7, incluida como Figura 3, determina el diámetro nominal del canalón semicircular de recogida de agua en función de la superficie de cubierta recogida por el canalón y pendiente del mismo para una precipitación de 100 mm. Si la precipitación de diseño es distinta de 100 mm, el valor extraído de la tabla se multiplica por el cociente entre la intensidad de diseño obtenida anteriormente y dicho valor. El articulado indica que en el caso de que la sección del canalón no fuera semicircular se debe considerar una sección equivalente un 10% superior.

Máxima superficie de cubierta en proyección horizontal (m^2)				Pendiente del canalón	Diámetro nominal del canalón (mm)
0.5 %	1 %	2 %	4 %		
35	45	65	95		100
80	80	115	165		125
90	125	175	255		150
185	250	370	520		200
335	475	670	930		250

Figura 3: “Tabla 4.7” del CTE, Diámetro del canalón para un régimen pluviométrico de 100 mm/h.

Como se puede estimar fácilmente con unos rápidos cálculos, la “Tabla 4.7” del CTE se ha generado a partir de la fórmula de Manning [2], formulación usada habitualmente para el cálculo de canales y conducciones en lámina libre.

El siguiente elemento a considerar son las bajantes. La superficie equivalente que es capaz de desaguar cada bajante se establece en la “Tabla 4.8” del HS5 del CTE (Figura 4).

Superficie en proyección horizontal servida (m^2)	Diámetro nominal de la bajante (mm)
65	50
113	63
177	75
318	90
560	110
805	125
1.544	160
2.700	200

Figura 4: “Tabla 4.8” del CTE, Diámetro de las bajantes de aguas pluviales para un régimen pluviométrico de 100 mm/h.

3. MÉTODO HIDROLÓGICO PARA EL CÁLCULO DE LA CUBIERTA

En este apartado se realizan los mismos cálculos a partir de los métodos hidrológicos e hidráulicos más comunes, considerando la ciudad de Zaragoza como punto de comparación para ejemplificar las diferencias. En primer lugar, para realizar el análisis de los datos de lluvia se van a tener en cuenta las curvas IDF correspondientes a la estación pluviométrica 9434 [3] de la cual se han extraído los datos. Dichas curvas se obtienen de la publicación “Curvas de intensidad-duración-frecuencia” del Ministerio de Medioambiente, y en ellas se representan las intensidades máximas de precipitación para diferentes periodos de retorno y diferentes intervalos de duración.

ESTACIÓN		Ind: 9434	Nombre: Zaragoza aeropuerto		Intensidades Máximas (mm./h.)					
Parámetros del ajuste		Intervalo (minutos)	Periodos de retorno (años)							
K	α		2	5	10	25	50	100	200	500
20.02	0.637	5	42	67	85	112	133	157	182	218
30.52	0.935	10	35	52	66	85	100	117	134	160
41.44	1.259	15	29	43	53	68	80	93	106	125
40.33	1.429	20	25	37	47	59	70	81	93	110
40.59	1.796	30	20	30	37	47	56	65	74	87
33.05	0.265	60 (1 h.)	12.6	19	23.7	30.6	36	42	48.2	57.2
39.44	0.455	120 (2 h.)	7.9	11.7	14.5	18.6	21.8	25.3	29	34.3
35.09	0.571	180 (3 h.)	6	9	11.2	14.4	16.9	19.6	22.6	26.9
45.93	1.001	360 (6 h.)	3.8	5.5	6.9	8.8	10.3	11.9	13.6	16
45.9	1.812	720 (12 h.)	2.3	3.5	4.3	5.4	6.4	7.4	8.4	9.9

Figura 5: Imagen correspondiente a los valores de la estación pluviométrica 9434, obtenida de “Curvas de intensidad-duración-frecuencia” del Ministerio de Medioambiente.

Si fijamos la duración en 5 minutos, los 90 mm/h de diseño del CTE quedarían ligeramente por encima del periodo de retorno de 10 años. Un estudio más moderno de las series de datos de precipitaciones ha obtenido valores similares a estos, pasando de 85 a 86,1 mm/h para 5 minutos y periodo de retorno 10 años [4]. Este valor puede considerarse bajo para instalaciones industriales cuyos procesos sean susceptibles de dañarse ante la presencia de agua, la experiencia en los últimos años es exigencias en el diseño entre 30 y 200 años entre las empresas que presentan solicitudes en este sentido. Empleando el método del “Máximas lluvias diarias en la España Peninsular” del Ministerio de Fomento [5], Zaragoza está dentro las isolíneas de 0,4 y 43. Estos valores se corresponden con una precipitación diaria incluida en la siguiente tabla:

Tabla 1: Precipitación máxima diaria a partir de las isolíneas del Máximas llluvias diarias en la España Peninsular.

T	2	5	10	25	50	100	200	500
Cv=0,4	0.909	1.247	1.492	1.839	2.113	2.403	2.708	3.128
Pd	39.087	53.621	64.156	79.077	90.859	103.329	116.444	134.504

A partir de estos valores se puede calcular la intensidad de precipitación de diseño en función del tiempo de concentración utilizando la metodología contenida en la norma 5.2 - IC drenaje superficial del Ministerio de Fomento [6]. El tiempo de concentración es “el tiempo mínimo necesario desde el comienzo del aguacero para que toda la superficie de la cuenca esté aportando escorrentía en el punto de desagüe” [6]. El tiempo de concentración (t_c) en superficies donde el flujo del agua de escorrentía es difuso, como en una superficie plana o un tejado, se calcula con la siguiente fórmula (1):

$$t_c = 2 \cdot L^{0,408} n^{0,312} J^{0,209} \quad (1)$$

Donde t_c es el tiempo de concentración (minutos), L la longitud recorrida por la escorrentía en la superficie plana en metros, n es el coeficiente adimensional de flujo difuso [6], y J la pendiente media en tanto por uno.

Un ejemplo real de una instalación industrial, del tipo al que se dirige este artículo, se trataría de una cubierta tipo sándwich, con el 6% de pendiente, un canalón central recibe el agua de dos vertientes: 30 m a un lado y 40 m al otro. La longitud total de la nave es de 180 m, por lo que la superficie total de cubierta que vierte al canalón central es de 12.600 m². En estas condiciones, el tiempo de concentración de la cuenca formada por la cubierta hasta el canalón, no alcanza los 5 minutos, 3.5 y 4 minutos respectivamente, aunque vamos a tomar este valor para comparar con los resultados anteriores, las intensidades obtenidas para 5 minutos están incluidas en la tabla 2.

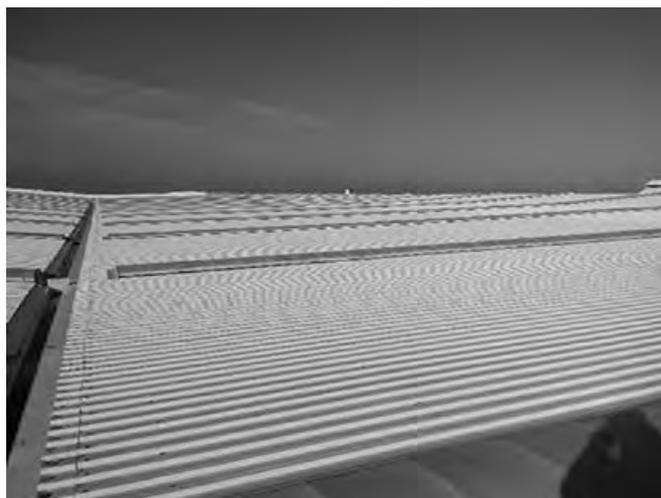


Figura 6: Imagen del tejado citado.

Tabla 2: Intensidades de diseño obtenidas de las Máximas lluvias diarias en la España Peninsular y de la norma 5.2 IC.

T	2	5	10	25	50	100	200	500
It (mm/h)	58.6	80.4	96.3	118.6	136.3	155.0	174.7	201.8

Estos nuevos valores, referidos a una lluvia constante de duración 5 minutos son superiores a los contenidos en la publicación del Aemet [3] para periodos de retorno bajos y ligeramente inferiores para los altos, si los comparamos con el valor obtenido del CTE, la intensidad de diseño del mismo estaría ligeramente por debajo del periodo de retorno de 10 años. Sin embargo, la realidad de las precipitaciones es ligeramente distinta, no tienen una intensidad constante, la variación de la intensidad de precipitación a lo largo de un aguacero presenta una curva con un ascenso y un descenso, caracterizada de forma simplificada como un triángulo en la mayoría de las metodologías [7]. Si creamos una lluvia de forma aproximadamente triangular, con una metodología clásica como el método de los bloques alternados en el cual escogemos un intervalo de tiempo para cada bloque de un minuto, obtenemos una intensidad punta dentro de la precipitación de 5 minutos recogida en la siguiente tabla 3. Aunque es cierto que la fiabilidad de las curvas Intensidad Duración Frecuencia (IDF) descende para duraciones tan cortas (menos de 5 minutos) por la falta de registros de datos históricos y errores asociados a los equipos de medida, no cabe otra opción en casos de tener unos tiempos de concentración muy bajos como es el caso de cubiertas de viviendas y edificios industriales.

Tabla 3: Intensidades punta de diseño obtenidas de las Máximas lluvias diarias en la España Peninsular y de la norma 5.2 IC por el método de bloques alternados con un minuto de espaciamiento.

T	2	5	10	25	50	100	200	500
It (mm/h)	115.2	158.0	189.1	233.0	267.8	304.5	343.2	396.4

Se puede apreciar que la intensidad ha doblado su valor respecto a la tabla 2. Este incremento no es significativo en tejados de dimensiones habituales pues, aunque la intensidad es alta, el volumen de agua producido en ese minuto es pequeño, sin embargo, en tejados de grandes complejos industriales o comerciales, puede desbordar los sistemas de recogida. En el tejado que anteriormente hacíamos referencia, esta intensidad produce un caudal de 553 l/s para un periodo de retorno de 10 años, que excede la capacidad del canalón como veremos más adelante, aunque se haya dividido en tramos dentro del rango previsto por el CTE. No podemos olvidar que estos valores se producen para periodos de retorno relativamente bajos, y que los valores obtenidos por otros métodos no superan los 316 l/s para el mismo periodo de retorno. Los caudales han sido obtenidos con el software EPA Storm Water Management Model (SWMM).

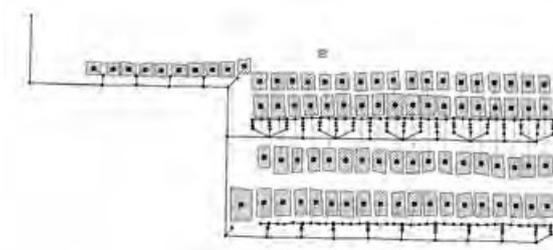


Figura 7: Modelo SWMM del tejado tratado en el texto.

El cambio climático en España según los estudios del Aemet [8], puede producir una disminución de las precipitaciones anuales pero un incremento alrededor del 3% con una incertidumbre del 5% de la intensidad en las precipitaciones extremas, considerando como precipitaciones extremas en [8] los eventos que superen el periodo de retorno de 20 años. En este documento [8] sólo se ha evaluado el escenario A1B entre todos los posibles. Otros países están manejando incrementos superiores, del 5, 10 o, incluso, más del 25% en el incremento de su intensidad de diseño a causa del cambio climático.

En conjunto, estamos obteniendo un incremento en los caudales a considerar del 80%, lo cual es extrapolable a otros casos, como otro complejo industrial con una nave de 9.850 m², con problemas similares al que empleamos como ejemplo. Precipitaciones del orden de 35 - 40 mm en apenas 25 – 30 minutos empiezan a detectarse cada dos – tres años, es decir, con una frecuencia muy superior a la prevista por el análisis estadístico.

Por otro lado, el agua que cae sobre el tejado es recogida por el canalón de cubierta en toda su longitud y de forma continua. El CTE utiliza la fórmula de Manning en el cálculo del canal que constituye el canalón, como se ha comentado anteriormente, por tanto, asume que el caudal se incorpora al inicio del canal. Esto podría parecer que está del lado de la seguridad, pero en realidad, no es así. Las turbulencias creadas por la caída del agua del tejado sobre el caudal circulante en el canalón producen una reducción de su capacidad hidráulica que pueden llegar al 20%. Además, las turbulencias creadas por la incorporación lateral pueden producir elevaciones de la lámina de agua por encima del borde del canalón, aunque su capacidad hidráulica no se haya agotado.

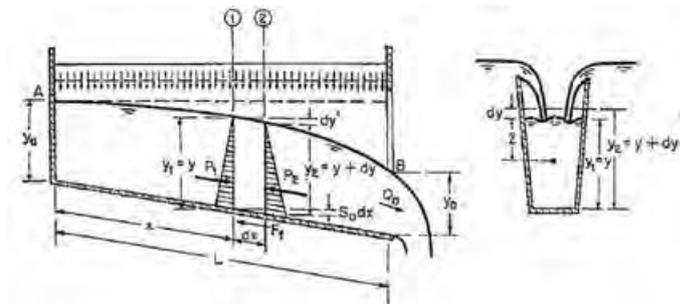


Figura 8: Esquema de cálculo del nivel del agua para un flujo espacialmente variado [9] en el cual a las pérdidas hidráulicas por rozamiento continuo del flujo con las paredes hay que sumar las pérdidas de impacto producidas por las incorporaciones de los caudales laterales al canalón.



Figura 9: Turbulencia sobre el canalón por la entrada lateral de agua.

Finalmente, la conexión entre el canalón y la bajante no siempre recibe la atención suficiente por el diseñador. Nos hemos encontrado bajantes que sobresalen en el canalón, reducciones en la conexión, paraglavas que eliminan prácticamente la sección útil, etc. El paso del agua desde el canalón a la bajante siempre será formando un crítico. Al formarse un régimen crítico en la transición desde el flujo cuasihorizontal del canal al flujo vertical de la bajante, la hidráulica nos dice que el calado en la zona de transición está directamente relacionado con el caudal, los impedimentos anteriormente comentados, provocarán sobre-elevaciones del agua que afectarán a la capacidad hidráulica del canalón. Las precipitaciones producidas sobre la nave que sirve de hilo conductor para este artículo desbordaron el canalón con una precipitación dentro de los teóricos márgenes del CTE, mientras que el cálculo hidrológico del tejado y el modelo SWMM representaron la realidad de los desbordamientos.

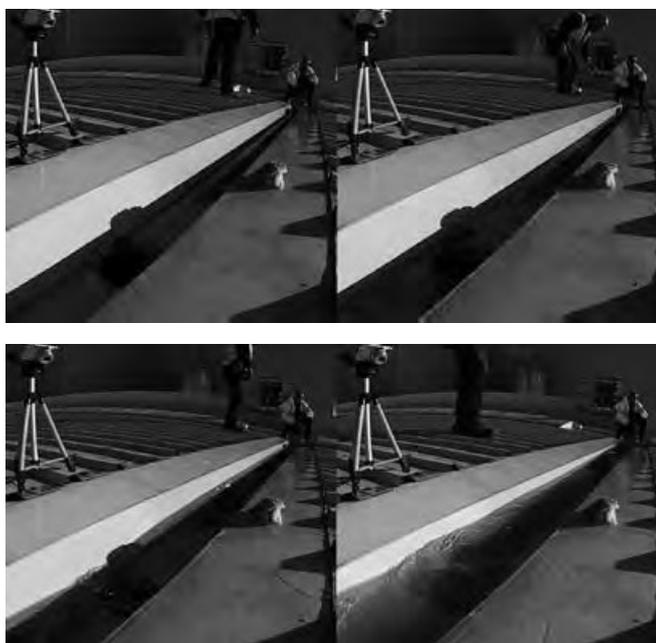


Figura 10: Distintas fases de llenado y efecto de la turbulencia sobre el canalón por la entrada lateral de agua.

La norma UNE-EN 12056-3 recomienda que la conexión entre canalón y bajante se realice como en la siguiente figura 11, que evita los problemas comentados anteriormente.

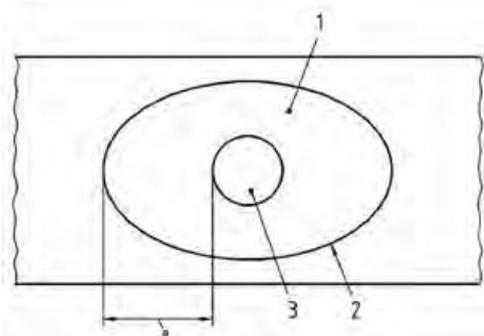


Figura 11: Definición de la conexión entre canalón y bajante según UNE-EN 12056-3.

Una vez que el agua haya entrado en la bajante no se han acabado los problemas. Cumplir con el diámetro mínimo no es suficiente para garantizar el flujo correcto del agua si se añaden múltiples conexiones o tramos de colectores sin pendiente. Aunque estas cuestiones entran más en la categoría de buenas prácticas que en el contenido del CTE.



Figura 12: Bajante saturada por una incorrecta conexión de los colectores que unen varios sumideros del canalón en una única bajante.

4. CONCLUSIONES

La principal variable del cálculo del drenaje de un tejado es la precipitación. El estudio de la precipitación nos descubre que la intensidad máxima probable es del orden del doble que la considerada en el CTE. Esto requiere necesariamente unos elementos de recogida y transporte superiores a los exigidos por la normativa. Esto es especialmente importante si el canalón de recogida se encuentra en el interior del tejado en lugar del exterior.

Una serie de buenas prácticas no incluidas en la normativa influyen mucho en el funcionamiento del sistema: una adecuada conexión canalón – bajante, dotar de pendiente a los colectores, cuidar las conexiones de los colectores a las bajantes,... y, también, dotar de medidas de seguridad al canalón, como gárgolas.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- [2] Russo, B.; Gómez, V. (2014). *Diseño de sistemas de sumideros en medio urbano*. Barcelona: MCHARLY.COM
- [3] Curvas de intensidad, duración, frecuencia de la precipitación en España. (2003). [CD-ROM] Instituto Nacional de Meteorología, Secretaría General Técnica, Centro de Publicaciones del Ministerio de Medio Ambiente.
- [4] Garijo, C. (2015). Depósito de retención de sólidos en el Bº de Juslibol. (Trabajo Fin de Grado). EUPLA, Universidad de Zaragoza, España.
- [5] Máximas lluvias diarias en la España Peninsular. (1999). Secretaría de Estado de Infraestructuras y Transportes. Dirección General de Carreteras. Ministerio de Fomento.
- [6] Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero, por la que se aprueba la norma 5.2 - IC drenaje superficial de la Instrucción de Carreteras.
- [7] Gómez, V., (2008). *Curso de Hidrología Urbana*. Barcelona: Distribuidora Alfombra de Papelería S.L.
- [8] Mestre, I.; Casado, M.J.; Rodríguez, E. (2015). *Tendencias observadas y proyecciones de cambio climático sobre España. Capítulo 2* en Herrero A & Zavala MA (eds). *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. MAGRAMA. 87 -98.
- [9] Chow, V.T., Maidment, D.R., & Mays, L.W. (1994). *Hidrología Aplicada*. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana S.A.