



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA.

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS

TESIS DOCTORAL

**CONTRIBUCIÓN DE ENTRADA DE AGUA EN APLACADOS
VENTILADOS DE PIEDRA EN FUNCIÓN DEL DISEÑO DE LAS
JUNTAS HORIZONTALES**

Autor: Arquitecto por la UDC, FELIPE GARCÍA BESCANSÁ

Director: Doctor Arquitecto por la UDC, D. JOAQUÍN FERNÁNDEZ MADRID

2015

Tribunal nombrado por el Sr. Rector Magfco. de la Universidade da Coruña,

el día de de 2015.

Presidente:

Vocal:

Secretario:

Suplente:

Suplente:

Realizado el acto de defensa y lectura de la Tesis el día de de 2016 en la E.T.S.A. de La Coruña.

Calificación

EL PRESIDENTE

EL VOCAL

EL SECRETARIO

A Vega...

Este trabajo no habría sido posible sin la inestimable colaboración de muchas personas. Todas ellas están en mi memoria y en mi corazón. El primero de todos mi director de tesis, ya desde hace tiempo mi amigo, Joaquín Fernández Madrid, del que nunca he dejado de aprender como arquitecto, como investigador y sobre todo como persona. También estoy muy agradecido al personal del CITEEC (José María, Miguel, Félix, etc.) que aportaron ideas y buena actitud. A Ousinde y su apoyo con todo lo relacionado con la piedra. Y por supuesto a los míos, que siempre de un modo u otro han estado ahí y me han hecho sentirme querido: mi hija Vega, mi razón para seguir luchando; mis padres, que me enseñaron y ayudaron siempre a superar los obstáculos de la vida; mis tíos Fermín y M^a Elena, mentores y primeros referentes en mi andadura como arquitecto. Y todos los demás...

Resumen

La fachada ventilada de aplacados de piedra es un sistema constructivo de uso reciente que ha supuesto un gran avance tecnológico en el campo de la edificación. Suelen ejecutarse en granito o mármol, variando el espesor de sus placas entre los 30 y 40 mm. La mayoría de los aplacados son fabricados con los bordes rectos.

Es un hecho bien conocido que bajo condiciones lluviosas se produce una cierta infiltración de agua por las juntas, cantidad que depende, entre otros factores, de la amplitud de las juntas, el grado de confinamiento de la cámara o el diseño de los cantos de las placas.

En la investigación se cuantifica el agua infiltrada por las juntas entre placas, y a través de los resultados obtenidos podemos determinar en qué medida contribuyen los distintos factores participantes en dicha infiltración. En las conclusiones se establecen recomendaciones relativas a su diseño en base a dichos parámetros con el fin de minimizar la infiltración de agua.

Abstract

The rainscreen facade with stone veneer is a recent constructive system that it's been an important technologic advance in building field. Facing surface is normally performed with granite or marble panels, ranging in thickness from 30 mm to 40 mm. Most panels are manufactured with straight edges.

It is well known that in raining conditions there is some water infiltration through joints, proportional -among other factors- to the amplitude of the joints, its confinement grade or its edges design.

In this research it is compared the amount of infiltrated water through the joints between plates, and taking into account the results we are able to determinate how different factors contribute to this infiltration. The conclusions show several recommendations regarding the design of joints based on those parameters in order to minimize water infiltration.

Resumo

A fachada venteada de aplacados de pedra é un sistema construtivo de uso recente que foi un gran avance tecnolóxico no ámbito da construción. Dacote se executan en mármore ou seixo, variando a largura das súas placas de entre 30 e 40 mm. A maioría dos aplacados son fabricados con bordos rectos.

É ben sabido que, baixo algunhas condicións de choiva a infiltración de auga a través das xuntas, nunha cantidade que depende, entre outros factores, da amplitude das xuntas, do grao de confinamento da cámara ou do deseño das beiras das placas.

Nesta investigación o auga infiltrado polas xuntas entre placas é cuantificado, e a través dos resultados obtidos podemos determinar en que medida participan os diversos factores que contribúen nesta infiltración. Nas conclusións finais se amosan unha serie de recomendacións relativas ó seu deseño en base a ditos parámetros co fin de de minimizar a infiltración de auga.

Resumen

Abstract

Resumo

Índice

1 Introducción

2 Estado del arte

3 Objetivos y metodología

- 3.1. Objetivos de la investigación
- 3.2. Metodología
- 3.3. Características del dispositivo de ensayo
- 3.4. Parámetros del dispositivo en función de los objetivos

4 Ensayos con junta horizontal de cantos rectos

- 4.1. Características y parámetros de ajuste del dispositivo
- 4.2. Ensayos, resultados e interpretación
- 4.3. Conclusiones del capítulo

5 Ensayos para cantos horizontales modificados

- 5.1. Parámetros de ajuste del dispositivo
- 5.2. Ensayos con junta horizontal de cantos acanalados
 - 5.2.1. Resultados e interpretación
 - 5.2.2. Conclusiones parciales
- 5.3. Ensayos con junta horizontal de cantos biselados
 - 5.3.1. Resultados e interpretación
 - 5.3.2. Conclusiones parciales
- 5.4. Ensayos para junta horizontal de cantos rebajados
 - 5.4.1. Resultados e interpretación
 - 5.4.2. Conclusiones parciales
- 5.5. Comparación de resultados para todos los diseños de canto
 - 5.5.1. Fachadas ventiladas con cámara no confinada
 - 5.5.2. Fachadas ventiladas con cámara confinada
- 5.6. Conclusiones del capítulo

6 Ensayos combinados para canto vertical recto y varios tipos de canto horizontal

- 6.1. Características y parámetros de ajuste del dispositivo
- 6.2. Ensayos combinados de junta horizontal recta y junta vertical recta
 - 6.2.1. Resultados e interpretación
 - 6.2.2. Conclusiones parciales
- 6.3. Ensayos combinados de junta horizontal biselada y junta vertical recta
 - 6.3.1. Resultados e interpretación
 - 6.3.2. Conclusiones parciales
- 6.4. Ensayos combinados de junta horizontal rebajada y junta vertical recta
 - 6.4.1. Resultados e interpretación
 - 6.4.2. Conclusiones parciales
- 6.5. Conclusiones del capítulo

7 Conclusiones y recomendaciones

8 Referencias y Bibliografía

9 Índice de figuras y tablas

Anexos

- I. Comunicaciones en congresos y publicaciones derivados de esta tesis
- II. Listado de datos de lectura de caudal de agua

1 Introducción

Esta tesis doctoral se enmarca en una línea de investigación del Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de La Coruña, coordinada por el profesor Fernández Madrid, que pretende verificar el comportamiento real de las fachadas ventiladas de aplacados de piedra.

Fruto de esta línea de investigación son las tesis doctorales de López Rivadulla sobre la colonización biológica en fachadas ventiladas en Galicia (2011), y la de Míguez Rey sobre los patrones de ensuciamiento en aplacados ventilados de piedra en Galicia (2015).

El hecho de centrar el estudio en los aplacados ventilados de piedra se debe a que es este material el más frecuentemente utilizado tanto en rehabilitación como en obra nueva que recurren a fachadas ventiladas, al ser una materia prima abundante y económica en la región.

En la bibliografía técnica¹ acerca de las fachadas ventiladas se afirma que éstas minimizan o evitan la entrada de agua por las juntas.

Garden (1963)², el primero en caracterizar este tipo de fachada, establece que la pantalla pluvial logra evitar la entrada de agua en un revestimiento de fachada con juntas abiertas,

1 López Díaz, M.; Pérez González, M. J.; Ramos Méndez, I. Estudio de la influencia de la superficie de ventilación en la equalización de la presión de una fachada ventilada, Trabajo de investigación tutelado por el catedrático Fernández Madrid, Joaquín, 2007.

2 Garden, *Rain Penetration and its Control*, National Research Council Canada. Canadian Building Digests 40 (<http://archive.nrc-cnrc.gc.ca/eng/ibp/irc/cbd/building-digest-40.html>), 1963.

si se consiguen neutralizar las seis fuerzas que tratan de introducirla: fuerza gravitatoria, cinética, tensión superficial, capilaridad, ráfagas de viento y diferencias de presión.

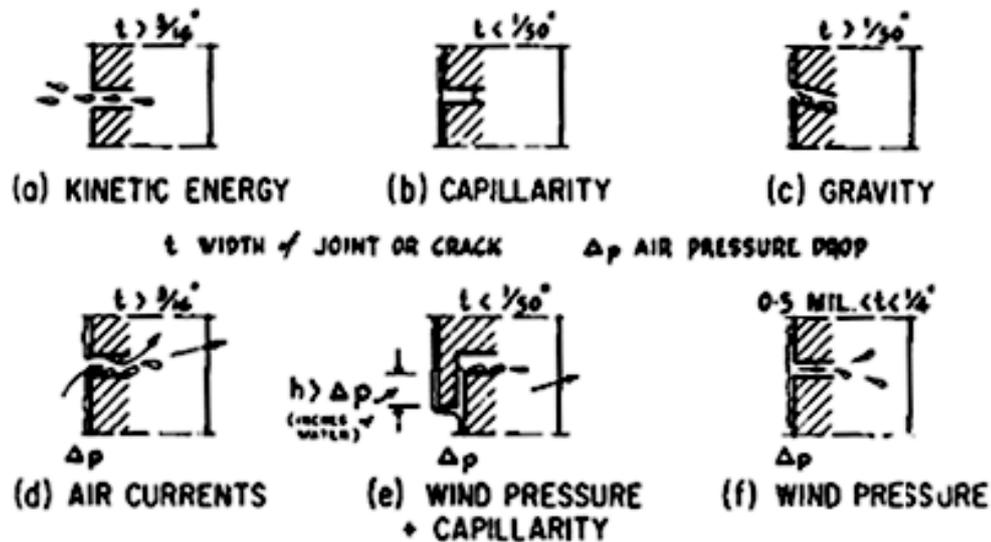


Figura 1-1 Fuerzas que intervienen en la entrada de agua en la cámara definidas e ilustradas por Garden, 1963.

Afirma que esa pantalla pluvial se consigue si tras la cámara de aire existe una capa estanca al aire. Es conveniente matizar esta afirmación, ya que como veremos, lo que habría que decir es que no sólo ha de haber una capa estanca al aire sino que la presión de la cámara ha de estar ecualizada con la del exterior, esto es, que esté confinada, de tal modo que entonces sí que se anularán las fuerzas actuantes.

En la figura 1-2 se esquematiza el confinamiento de la cámara, donde P_e es la presión exterior, o atmosférica, y P_c la presión en la cámara.

En el primer caso la cámara está confinada y $P_e = P_c$, mientras que en el segundo caso, con la cámara no confinada o ventilada, $P_e \neq P_c$.

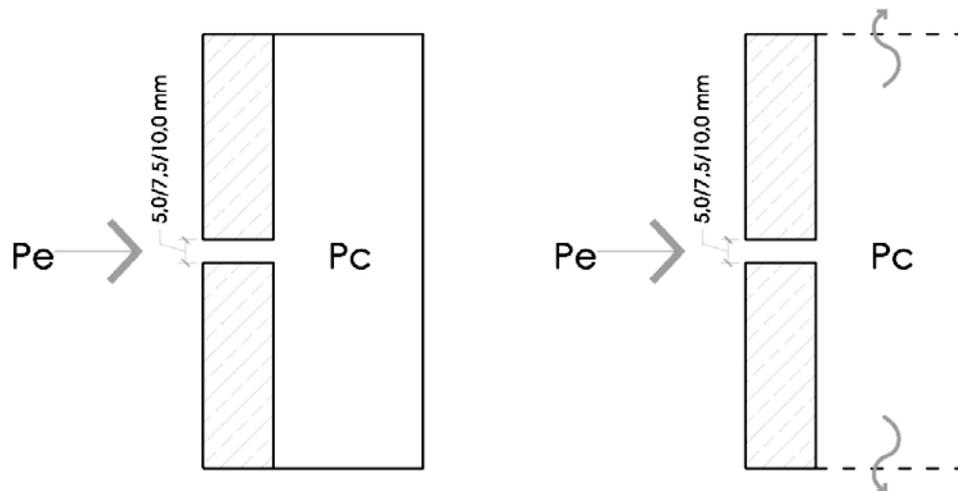


Figura 1-2. Esquema de confinamiento de la cámara.

Teóricamente estamos hablando de un sistema constructivo que anula la entrada de agua. Lo que ocurre es que la mayor parte de las fachadas ventiladas en España no tienen la cámara confinada por lo que entra agua en la misma ya que se inducen corrientes de aire que la infiltran.

Generalmente se suele concentrar el esfuerzo en resolver las ráfagas de viento y las diferencias de presión, dando por supuesto que las cuatro restantes ya están neutralizadas por el propio diseño de las piezas de revestimiento de la fachada ventilada.

Esto puede suponerse en fachadas de paneles metálicos y otras soluciones constructivas semejantes que permiten mayor complejidad en el diseño del borde de sus piezas.

Sin embargo no es así en las fachadas ventiladas con aplacados de piedra, pues sus cantos suelen ser rectos, y nada impide que las otras fuerzas restantes sigan actuando, con la salvedad de la fuerza gravitatoria que se supone que siempre estará resuelta por diseño.

En el caso concreto de aplacados de piedra ventilados, y a modo de resumen, podemos suponer que de las seis fuerzas posibles:

- la fuerza gravitatoria está anulada por el propio diseño de los cantos de las placas, y sólo habría que tenerla en cuenta en cambios de plano, balcones, repisas, etc.
- la fuerza cinética y la tensión superficial siempre actuarán.
- la magnitud de la fuerza de capilaridad comienza a ser relevante a partir de amplitudes de junta en torno a 5 mm, por lo que con juntas de mayor amplitud podemos considerarla como no actuante.
- las fuerzas originadas por ráfagas de viento y diferencia de presión se pueden asimilar una a otra, pues ambas se convierten en masas de aire que, al infiltrarse por la junta, arrastran gotas de agua al interior de la cámara.

En la tabla siguiente se resumen las fuerzas actuantes en nuestro estudio:

<i>Tipo de fuerza</i>	<i>Acción</i>	<i>Condición</i>
Gravitatoria	Anulada	Por diseño de la junta horizontal
Cinética	Siempre	-
Tensión superficial	Siempre	-
Capilaridad	Sólo si	Amplitud de junta ≤ 5 mm
Ráfagas de viento	Sólo si	La cámara no está ecualizada
Diferencia de presión	Sólo si	La cámara no está ecualizada

Tabla 1-3. Fuerzas que intervienen en la entrada de agua por las juntas de un aplacado ventilado de piedra.

La fachada ventilada se presenta como un sistema envolvente que a priori minimiza o anula la entrada de agua por las juntas. Sin embargo, investigaciones recientes y la propia experiencia nos dice que sí que entra el agua por las juntas hacia la cámara.

De acuerdo con el objetivo general de la línea de investigación acerca de la verificación del funcionamiento de la fachada ventilada, parece oportuno cuantificar con precisión la entrada de agua por las juntas y analizar los factores que condicionan dicha entrada.

La investigación es relevante, pues – si bien la cámara se ofrece como un freno al agua por estar ventilada y drenada - no obstante, se sabe que las ráfagas de viento y las diferencias de presión lanzan el agua contra el aislante y esta ulterior situación pone a prueba la estanquidad del resto de la fachada.

Los procesos por los que el agua infiltrada hasta el aislante pondrán a prueba a la envolvente comienzan por la capacidad de absorción del propio aislante (poliuretano, lana de roca sin protección hidrófuga, etc.) que de ser elevada los convierte de materiales aislantes en conductores, al pasar de tener los poros llenos de aire, por tenerlos llenos de agua, que es del orden de diez veces mejor transmisora térmica que el aire.

Así mismo, si la fachada ventilada no tiene la cámara confinada el agua infiltrada puede ser empujada por la cámara en todas las direcciones, poniendo a prueba cualquier falla interior.

Además, se puede producir entrada de agua por las discontinuidades en el resto de las capas, tales como fisuras, ranuras de ventilación, fallos de sellado en las carpinterías de los huecos, etc.

Estando así las cosas, entendemos que queda suficientemente razonada la oportunidad de la verificación de esta cualidad teórica de la fachada ventilada con aplacados de piedra, en concreto su estanqueidad al agua.

Dado que somos varios los participantes en dicha línea de investigación, el coordinador de la investigación plantea abordar la cuantificación en relación con el diseño de las juntas en dos modalidades:

- Una primera investigación que cuantificaría el agua infiltrada por la junta horizontal en función del diseño de los cantos, que es la que se discute en esta tesis doctoral, y,
- Otra segunda investigación que aborda la misma cuestión centrándose en las juntas verticales, que desarrolla la investigadora M^a Belén Bouza Cora.

En ambos casos los puntos de partida y el estado de la cuestión son comunes, si bien cada uno desarrollará el trabajo independientemente y obtendrá sus propias conclusiones.

2 Estado del arte

En este apartado se aborda la revisión bibliográfica del estado de conocimientos acerca de la cuantificación de la entrada de agua por las juntas de los aplacados de una fachada ventilada. Parece innecesario incluir autores que hayan escrito sobre fachadas ventiladas en general, ya que no es el tema debatido.

Para clarificar aún más las aportaciones reseñadas se decide ordenar los autores que han abordado el tema de la entrada del agua en este tipo de fachadas, ordenados cronológicamente.

Dejando a un lado a Garden³, que en 1963 afirma que no entrará agua por las juntas abiertas de una fachada ventilada siempre que se controlen adecuadamente las fuerzas que tratan de infiltrarla, hay autores que siendo conscientes de que sí entra agua cuando la cámara no está confinada abordan esta cuestión tratando de cuantificar dicha entrada.

- Gubas (1968)⁴ publica una comunicación al Symposium on Weathertight Joints for Walls, celebrado en Oslo, que lleva por título *Experience in the promotion and application of the open joint technique for wall cladding in U.K.* En ella analiza las posibilidades constructivas de fachadas con revestimiento ventilado de planchas de asbesto cemento pero sin entrar en profundidad a evaluar la cantidad de agua que resbala por el trasdós de dichas placas.

3 Garden, G. K. (1963), Rain Penetration and its Control, National Research Council Canada. Canadian Building Digests 40 (<http://archive.nrc-cnrc.gc.ca/eng/ibp/irc/cbd/building-digest-40.html>).

4 Gubas, G. A. (1968). *Experience in the promotion and application of the open joint technique for wall cladding in U.K.* Symposium on Weathertight Joints for Walls; International Council for Building Research. Oslo, Norwegian Building Research Institute.

- En ese congreso Isaksen (1968)⁵ presenta una comunicación titulada *Rain leakage tests on open joints in ventilated cladding* en la que analiza el comportamiento al agua de juntas de diversos revestimientos: paneles prefabricados de hormigón, placas de piedra, planchas de asbesto cemento, tableros de madera, etc. En todos ellos apunta diversas recomendaciones constructivas (espesor de placa y ancho de junta) pero sin evaluar la cantidad de agua infiltrada.
- Más próximos a la actualidad, Sánchez-Ostiz (1996)⁶ publica un artículo *Fachadas. Transición e innovación tecnológica* en el que muestra las ventajas de la fachada ventilada frente a las fachadas con revestimiento amortiguado, sin incidir en aspectos que puedan resultar negativos
- Entre los autores que han investigado sobre la fachada ventilada y su relación con la entrada del agua tenemos a Avellaneda (1997)⁷ que en los resultados de su trabajo recogidos en una comunicación presentada en el *I Congreso de Ventanas y Fachadas Ligeras* dice que:

“El tipo constructivo genérico constituido por placas de espesor reducido, separadas entre sí por juntas abiertas, cámara de aire no confinada o de igualación de presión, aislamiento y soporte interior está siendo utilizada muy frecuentemente como alternativa a las clásicas fachadas de fábrica vista o revestida. A pesar de ello no se han realizado suficientes estudios que expliquen el comportamiento real de la misma

5 Isaksen T. (1968). *Rain leakage tests on open joints in ventilated cladding*. Proceeding Of International Symposium Held Oslo. CIB Report Nº11.

6 Sanchez-Ostiz, A. (1996). *Fachadas. Transición e innovación tecnológica*. Revista de Edificación, 22.

7 Avellaneda Díaz-Grande, J. *Impermeabilidad al agua en fachadas de placas ligeras con juntas abiertas*. I Congreso de Ventanas y Fachadas ligeras, 1997. Centro de Investigación Tecnológica, CIDEMCO.

en relación a las principales que debe cumplir: impermeabilidad al agua, aislamiento acústico y resistencia mecánica a las acciones eólicas”.

Con esta introducción el profesor Avellaneda aborda este trabajo, que en gran medida será el inspirador de esta tesis, planteando una serie de ensayos para verificar el comportamiento de un aplacado ventilado y la entrada de agua en la cámara.

Los ensayos se realizan con juntas de diversas amplitudes, con cámara confinada y no confinada y con distintas intensidades de precipitación.

Una vez analizados los resultados de los ensayos pasa a pronunciarse en los siguientes términos en sus conclusiones:

“En caso de lluvia real los fenómenos ensayados se superponen, existe viento y aunque la cámara de aire se construya para que sea de igualación de presión éstas difícilmente pueden alcanzar un 100% de efectividad, por ello debemos contar que una fachada construida con placas con juntas abiertas permitirá la entrada de agua por los fenómenos anteriormente mencionados, la cual circulará por su intradós, y al mismo tiempo mojará la cara interior de la cámara. Este comportamiento implica que se debe ser muy cuidadoso con el diseño conjunto de la fachada: deben disponerse drenajes en las zonas donde la cámara que interrumpida, ya que por ella circula el agua, al mismo tiempo el aislamiento debe ser hidrófugo (se moja y actuar de impermeabilizante del soporte interior”.

Como toda primera investigación de verificación de un sistema constructivo, el trabajo realizado por Avellaneda tiene logros notables para lo limitado de los medios materiales disponibles.

No se explica en su artículo cómo se materializó en el dispositivo la ecualización o no de la cámara. Nos parece que, al presentar sus dos hipótesis de viento a la hora de hacer los ensayos (con viento y sin viento), estas dos situaciones emulen la configuración de cámara no ecualizada y ecualizada, respectivamente.

Nuestra investigación da un paso más allá ya que superpondremos a las dos configuraciones indicadas (cámara ecualizada y no ecualizada), la proyección de agua con y sin viento, así como tres amplitudes de junta. Además se completará la verificación con la cuantificación del agua infiltrada en la cámara en relación a diversos diseños de cantos modificados.

- También Avellaneda junto a Paricio (1999)⁸, en el libro *Los revestimientos de piedra*, analizan desde un punto de vista funcional y constructivo los distintos tipos de revestimientos pétreos en fachada. Al estudiar la estanqueidad de la fachada en condiciones difíciles señalan que ésta solo se podría garantizar mediante una fachada ventilada, es decir, una fachada provista de una cámara de aire no confinada.

“Se trata de disponer una pantalla separada de la construcción propiamente dicha por una cámara no confinada. Se forma así una buenísima protección frente al agua. Curiosamente no es necesario que la pantalla sea absolutamente estanca. Por las juntas de la hoja exterior o por los cuatro centímetros de grueso del tabique pluvial de

⁸ Avellaneda, J; Paricio, I. *Los revestimientos de piedra*. Bisagra Barcelona, 1999.

cerámica, al fin y al cabo porosa, el agua puede llegar a pasar a la cámara interior. Pero en ella, sin la presión del viento las gotas se detendrán y evaporarán por la ventilación, o descenderán por el intradós de la pantalla y se evacuarán por la parte inferior. Las placas de piedra son una perfecta solución para formar esa hoja exterior que cierra la cámara no confinada. Las placas se sujetan con unas fijaciones puntuales y sus juntas suelen que dar abiertas.

La preocupación por la estanqueidad de la pantalla se hace pues menos importante. Las piezas pueden incluso colocarse absolutamente separadas”.

Con respecto a la impermeabilidad de la fachada ventilada dicen:

“El paramento exterior de placas de piedra actúa como barrera semi-impermeable al agua.

En Europa, a diferencia de Estados Unidos, las juntas entre placas no se sellan, lo que facilita la ventilación de la cámara y el secado rápido de las piedras después de una precipitación. Esta opción, no obstante, permite el paso de cierta cantidad de agua al interior de la cámara. El paramento exterior no consigue la impermeabilización total de la solución constructiva, es solamente una primera barrera de agua, ésta desciende por la cámara que debe disponer de un drenaje en sus discontinuidades, sobre todo en dinteles, al objeto de que el agua no alcance el revestimiento interior.

Concretamente el agua penetra a través de las juntas principalmente por tres fenómenos:

Tensión superficial. El agua de lluvia se desliza por el trasdós de la placa hasta alcanzar la junta de ésta con la placa inferior, allí y en función del ancho de dicha junta se infiltra hacia el interior resbalando a continuación por el intradós de la placa.

Diferencia de presión entre el exterior y la cámara. La cámara de aire si no está fragmentada en compartimentos estancos, lo que constructivamente tiene cierta dificultad, puede tener una presión inferior a la del exterior. En estas condiciones el agua que alcanza la junta es absorbida fácilmente hacia el interior de la cámara.

Energía cinética de la gota de lluvia. La gota de lluvia desciende con una determinada velocidad y debido al viento forma un cierto ángulo con la fachada. La gota de lluvia al incidir sobre los bordes de una junta horizontal se rompe salpicando el interior de la cámara alcanzando a la capa aislante. El mismo fenómeno se produce cuando la gota de lluvia incide sobre una junta vertical.

En todos los casos el ancho de la junta es determinante en su comportamiento frente a la entrada de agua; en juntas de 5 mm o menos, difícilmente realizables por motivos constructivos, los fenómenos de entrada de agua por tensión superficial o energía cinética de la gota de lluvia son insignificantes, mientras que en juntas de 10 mm la entrada de agua puede ser abundante. En general el ancho de junta que suele utilizarse es de 6 a 8 mm por lo que hay que contar que cierta cantidad de agua penetrará en la cámara.

Este comportamiento incompleto de la fachada en lo referente a la impermeabilidad al agua implica que la capa de aislamiento térmico de esta solución constructiva es

susceptible de mojarse siempre que el agua de lluvia incida con un cierto ángulo sobre la fachada. Es preciso por tanto utilizar aislamientos hidrófugos y en caso de que éste estuviera constituido por paneles tratar las juntas entre ellos a fin de evitar la infiltración del agua hacia el soporte.

Hay que decir que la ventilación de la cámara favorece su secado. Esta característica de la solución constructiva la hace especialmente adecuada en este caso, ya que la ventilación desecará la placa de piedra también por su cara interior disminuyendo el riesgo de degradación de la misma. Esto no ocurre cuando las placas van directamente fijadas a un soporte con ayuda de anclajes y mortero”.

Como se puede observar, en esta publicación los autores muestran un recorrido histórico de los revestimientos pétreos y dejan constancia de las limitaciones que frente a la entrada de agua tiene la solución constructiva de aplacados de piedra ventilados, dejando claros los riesgos de este sistema e indicando algunos consejos constructivos. La publicación no se introduce en ulteriores investigaciones acerca de la infiltración de agua en la cámara.

- Sánchez-Ostiz (2003)⁹ publica un artículo en el que define y analiza las fachadas con cámaras ventiladas. En dicho artículo establece criterios y consejos para la correcta utilización de este sistema, aunque no entra en cuestiones concretas referidas a la infiltración de agua en la cámara.

⁹ Sanchez-Ostiz, A. (2003). *Fachadas. Cámaras ventiladas, piles transpirables*. Revista Detail.

- Pardal y Paricio (2006)¹⁰ en el libro que lleva por título *La fachada ventilada y ligera*, abordan el estudio genérico del sistema constructivo de fachada ventilada, para luego explicar las soluciones específicas de los distintos tipos de revestimiento (pétreos, cerámicos, metálicos, etc.).

Refiriéndose a la hoja exterior ligera de una fachada ventilada, afirman que no garantiza la estanqueidad, pero que supone un primer obstáculo para la gota de agua, y hacen una enumeración de las maneras que tiene el agua de lluvia de penetrar a través de la **junta**:

“La gota directa. La cámara no sirve de nada si las gotas de agua, impulsadas por la energía cinética que han adquirido empujadas por el viento, pueden atravesar la pantalla exterior por sus juntas, salvar la cámara y llegar hasta la parte interior de ésta. Para evitarlo, la junta de la hoja exterior debe diseñarse de manera que impida esa penetración, mediante juntas laberínticas, sesgadas hacia arriba, etc., o dificultarla de tal manera (por su estrechez), que el caudal total que atraviesa sea mínimo.

La gota empujada por las diferencias de presión. La diferencia de presión entre el exterior y la cámara puede empujar a la gota de agua hasta llevarla a la cara interior de la hoja exterior. Si el aporte de agua por este mecanismo no es excesivo y ese intradós está bien diseñado [...] esa entrada de agua no es peligrosa. Recuérdese que la hoja exterior es sólo una primera barrera.

El primer punto exigirá que la anchura, profundidad y geometría de las juntas dificulte en todo lo posible el paso directo de la gota. Esa anchura debe garantizar siempre el

¹⁰ Pardal, C.; Paricio, I. *La fachada ventilada y ligera*. Bisagra Barcelona, 2006.

libre movimiento de las piezas y no debe impedir que se cumpla el punto dos. Una junta demasiado estrecha no permite la entrada del agua directa pero puede facilitar su ingreso por capilaridad. Por ello, la mejor solución para evitar la entrada directa sin poner límite a la deformabilidad de las piezas es la junta laberíntica.

Cada material tiene unas posibilidades de conformación muy concretas que establecen, entre otras cosas, cuál va a ser el posible diseño de la junta. Las chapas permiten el doblado y, en muchos casos, el engatillado de unas con otras, además la madera es fácilmente tallada para conformar juntas por machihembrado... Hasta el momento, los tableros aglomerados, ya sea con cemento o bien con resinas, sólo permiten realizar formas planas o curvadas pero con amplios radios de curvatura, por lo que dan poco juego a la geometría de la junta.

En el caso de uniones engatilladas, éstas se cierran por geometría generando una hoja exterior prácticamente estanca al agua. Salvo en el caso de la junta engatillada, no podemos ni debemos buscar la resolución de juntas absolutamente estancas al agua con los materiales que habitualmente se utilizan para ejecutar la hoja exterior en fachadas ventiladas.

El posible sellado de juntas no puede sustituir a la eficiencia de la cámara puesto que ese sellado está expuesto a los rayos ultravioleta y sometido a fuertes tensiones mecánicas. Deben evitarse esas soluciones confusas que, aunque parecen corresponder al diseño de una fachada ventilada, en realidad confían la estanqueidad al sellado de las piezas de la hoja exterior”.

Y continúan:

“Existe una relación directa entre el ancho que debe tener la cámara ventilada y el diseño de la junta. Si la cámara tiene un ancho suficiente podemos suponer que la fuerza del viento no hará llegar la gota hasta la hoja interior, por lo que la junta puede ser de sección recta. En el caso de disponer de poco espacio para la cámara, es mejor garantizar la obstrucción de la fuerza del viento diseñando juntas laberínticas o colocando perfiles auxiliares.

Refiriéndose a la cámara afirman que es la hoja más importante de entre la sucesión de hojas de materiales diversos con un alto grado de especialización, ya que es el *material* más eficaz para satisfacer el objetivo prioritario: la estanqueidad.

“El agua puede llegar a la cámara. En ella la componente horizontal del vector de fuerza que provoca su desplazamiento debe desaparecer por completo. El movimiento del agua en el interior de la cámara debe ser únicamente vertical en sentido descendente. Los problemas a evitar son:

La gota directa. En muchos casos no podremos evitar que alguna gota penetre en la cámara, impulsada por la energía acumulada en su movimiento en exterior del edificio. Para que esa gota no llegue a la cara exterior de la hoja interior, la cámara deberá tener una anchura suficiente como para agotar la energía cinética y llevar la trayectoria de la gota hasta una perfecta vertical.

Los estudios de Jaume Avellaneda determinan que, entre los 7 y los 29 cm, la anchura de la cámara no es determinante en la cantidad de agua que alcanza la hoja interior

[...]. Cuanto menor es la cámara de aire, más importancia cobra el buen diseño de la junta para evitar la entrada directa del agua a causa del empuje del viento o la energía cinética.

La gota empujada por las diferencias de presión. La cámara equipresurizada. La diferencia de presión entre el exterior y la cámara entre diversas zonas de la cámara no puede ser excesiva. De esta manera se evita que se produzcan turbulencias que hagan que la gota de agua *vuele* por el interior de la cámara y llegue a mojar la cara exterior de la hoja interior. La fuerza más importante de todas las que actúan sobre el agua en la cámara debe ser siempre la gravedad.

Para equilibrar las presiones tendrá que cuidarse el diseño de la junta exterior y, si es necesario, la compartimentación de la cámara entre zonas de presiones muy diferentes [...].

La gota mal conducida por gravedad. Siendo la gravedad prácticamente la única fuerza que actúa sobre la gota de agua dentro de la cámara, tendremos que estar seguros de que su acción la conduce hacia las zonas de evacuación hacia el exterior.

Los elementos que conectan la hoja exterior y la interior no deben ser puentes por los que el agua se mueva hacia el interior. Para ello, las fijaciones deben tener goterón o tener pendiente hacia fuera. Es básico que este goterón quede en la cámara, y no oculto en el grueso del aislamiento térmico, ya que de ser así perdería su función.

Los planos horizontales, como los baberos de evacuación, deben ser estancos y los planos verticales no deben permitir que unas gotas de descenso dubitativo se muevan hacia el interior empujadas por la tensión superficial o una mínima depresión.

Lamentablemente aún resultan frecuentes los casos de fachadas ventiladas donde no se ha entendido la función drenante de la cámara y el cuidado que requieren la resolución de cualquier elemento que se aloje dentro de ella.

El ancho de la cámara está directamente relacionado con las exigencias dimensionales del sistema de anclajes que se dispone en su interior con el fin de soportar la hoja exterior. Es evidente que parte de este sistema quedará embebido en el grueso del aislamiento térmico”.

El planteamiento del texto es teórico, y aborda la explicación de los principios físicos que introducen agua por las juntas de una fachada ventilada, sin entrar en un estudio más profundo acerca de otros factores que condicionan este fenómeno, ni en su cuantificación.

Todas estas cuestiones serán tenidas en cuenta a la hora de plantear los objetivos y metodología de nuestra investigación

- Montero (2007)¹¹ en el *Manual Básico de Fachadas ventiladas y aplacados. Requisitos constructivos y estanqueidad* hace un estudio conceptual de la fachada ventilada, recorriendo el origen, las funciones, ventajas e inconvenientes, especificaciones, tipologías, cálculos, etc.

¹¹ Montero, E. *Manual Básico de Fachadas ventiladas y aplacados. Requisitos constructivos y estanqueidad*. Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Transporte de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, 2007.

Con respecto a la entrada de agua dice que:

“Para que el agua sólo atravesase un cerramiento tienen que darse tres factores simultáneamente:

- Presencia de agua.
- Existencia de discontinuidades o aperturas.
- Acción de una fuerza que empuja al agua entrar.
 - Viento
 - Diferencia de presiones
 - Gravedad
 - Capilaridad
 - Tensión superficial

Si se consigue anular uno de los tres factores el agua no penetra en el interior de la cámara. Para eliminar alguno de los efectos que originan las fuerzas que empujan el agua se puede utilizar alguno de estos recursos:

- Junta abierta al exterior. Funciona en condiciones no muy expuestas y no lo hace en condiciones extremas.
- Cámara ecualizada con la presión exterior de recogida de agua y evacuación por gravedad.
- Goterón, diseño que emplea la gravedad para evitar la entrada de agua.
- Barrera estanca interior, que asegura la continuidad de las diferencias de presiones entre el interior y el exterior.

- Recogida y evacuación del agua que acceda al interior de la cámara.

Las juntas son normalmente permeables –abiertas– lo que no permite que se igualen las presiones entre la cámara y el ambiente exterior, favoreciendo la entrada de agua. La estanquidad de la fachada no es un parámetro importante en situaciones normales, es decir, en edificios de alturas habituales en una trama urbana.

Tal como indican J. Avellaneda y I. Aparicio el ancho de la junta es determinante en su comportamiento frente a la entrada de agua. En juntas de 5 mm la entrada de agua es insignificante, mientras que en juntas de 10 mm la entrada de agua puede llegar a ser abundante. En general el ancho de junta que suele utilizarse es de 6 a 8 mm por lo que se debe contar que cierta cantidad de agua penetra por la cámara. No obstante, no existe unanimidad sobre la necesidad de que las juntas sean abiertas o cerradas.

En Norteamérica las juntas se sellan en los edificios de gran altura. Si se quiere adoptar este sistema, hay tres opciones:

- Asentar la placa en un lecho de silicona y retirar, posteriormente, el material sobrante.
- Achaflanar las aristas de las placas y sellar con silicona.
- Hacer un rebaje de 6x6 mm en dos de las aristas de la placa y sellar.

Dado lo anterior, este tipo de revestimiento debe tratarse como un drenaje. Se debe cuidar en el diseño que no se acumule agua en los dinteles y en la planta baja, consiguiendo que el agua se evacúe. Estos puntos son críticos a efectos de estanquidad. Los revestimientos con juntas selladas pueden considerarse estancos.

El agua entra en la cámara dado que las presiones no están igualadas entre el exterior e interior, sobre todo en condiciones de viento racheado.

En zonas lluviosas este dato se debe tener en cuenta, ya que favorece la entrada de agua.

Existen sistemas que igualan las presiones, las llamadas “pantallas frente a la lluvia” (*rain screen*) pero no se conoce su funcionamiento correctamente, lo que hace que cuando se decida emplearlos se ensayen las soluciones previamente en el túnel del viento. Para igualar la presión una solución es compartimentar el canal y ventilar los módulos con aberturas superior e inferior, que en el caso de esta última además valen como drenaje.

Las fachadas expuestas al empuje de viento, presentan un mayor riesgo de entrada de agua, pues en el interior del edificio siempre hay una menor presión debido a la succión indicada en la fachada opuesta. En la situación descrita, cualquier rendija, junta abierta, hará que el agua entre arrastrada por el aire, debido a la succión creada por la diferencia de presión.

Si conseguimos igualar las presiones de la cara expuesta del aplacado y la cámara, podemos realizar fachadas con juntas abiertas.

[...] El agua no tiene por qué suponer un riesgo, ya que desliza por la cara interior de la placa, no siempre se puede asegurar la estanquidad en los huecos, sobre todo en los dinteles o jambas, tal como ya se ha indicado.

La solución es confinar la cámara, lo que supone su sectorización. Las especificaciones de la sectorización son:

- Debe ser eficaz. Sin que existan rendijas que permitan el escape de aire y modifiquen la presión interior.
- Permitirá la salida de agua, aunque sea poca la que penetre por las juntas.
- Siempre existirá cámara entre el soporte y el aplacado para permitir su rápido secado.
- Debe impedir las infiltraciones en los encuentros de la cámara con los huecos”.

Resulta de sumo interés el esfuerzo realizado en lo que pretende ser la caracterización de los diferentes aspectos de la fachada ventilada.

En el documento se plantean posibles estudios a desarrollar referidos a la misma, concretamente sobre el porcentaje de ahorro energético, pero no se aportan datos concretos de entrada de agua, ni de ensayos realizados al respecto.

- Pardal (2009) en su tesis doctoral¹², *La hoja interior de la fachada ventilada*, hace referencia al grado de especialización de la función de estanqueidad al agua inherente a la fachada ventilada:

“La fachada ventilada es aquel cerramiento caracterizado por resolver la estanquidad al agua por medio de una cámara drenante continua en todo su plano. Para la

¹² Pardal, C. *La hoja interior de la fachada ventilada*. Tesis doctoral, 2009.

definición de dicha cámara se precisan dos hojas que la limiten: la exterior, normalmente de juntas abiertas, y la interior.

Dado que los requerimientos que debe satisfacer el cerramiento de cara a la obtención del adecuado nivel de confort no se pueden reducir, las funciones exigidas a cada una de estas hojas son varias.

Salvo la estanqueidad al agua, una cierta aportación a la atenuación acústica y a la disipación de la radiación directa del sol por convección en el interior de la cámara; el resto de requerimientos quedan delegados a la hoja interior”.

El desarrollo de la investigación de esta autora se centra en la hoja interior de la cámara de la fachada ventilada, mientras que nuestra investigación se centrará en la hoja exterior y su relación con la entrada del agua en la cámara

- Más recientemente Huedo (2010)¹³ lleva a cabo un estudio muy similar al que ahora se presenta, acerca de la entrada de agua en el interior de la cámara de las fachadas ventiladas en función del tamaño de las juntas horizontales abiertas de unión entre placas.

En dicho trabajo se afirma que:

“Prácticamente en todas las juntas abiertas se produce la entrada de agua, y que ésta en algunos casos discurre por el intradós de la hoja exterior, mientras que en otros

¹³ Huedo, P. *Entrada de agua en las juntas de las fachadas ventiladas*. Castellón, Qalicer, 2010.

alcanza el aislamiento térmico, en cuyo caso deberemos imponerle a este una baja o nula absorción de agua”.

Concluye que:

“Con los diferentes ensayos realizados se demuestra que, aunque el espesor de la junta sí influye en la cantidad de agua que puede penetrar en la fachada ventilada, para juntas de 3 mm y 5 mm, la entrada de agua puede ser importante, además en ningún caso se garantiza la estanqueidad ni aun reduciendo la junta a 1 mm.

No se ha analizado la influencia de las diferencias de presión entre la cámara y el exterior, pero a priori se puede deducir que aun teniendo influencia, no serán garantía completa para evitar la entrada de agua, sino más bien lo contrario.

Tampoco se han analizado las juntas con pendiente hacia el exterior que faciliten la entrada de agua, pero si se puede deducir que será necesario un espesor, profundidad y pendiente importantes para evitar la entrada de agua”.

El planteamiento de este trabajo se ciñe a la realización de observaciones visuales de la entrada de agua y en qué proporción aproximada, sin entrar en su cuantificación ni en el grado de confinamiento de la cámara.

- López Rivadulla (2011)¹⁴ en las conclusiones su tesis doctoral de sobre la colonización biológica en fachadas ventiladas de granito en Galicia dice que:

¹⁴ L. Rivadulla, F.J. *Estudio transversal de la colonización biológica en fachadas ventiladas de granito en Galicia*. Tesis doctoral, 2011.

“Sería muy interesante utilizar aplacados ventilados de piedra con cámara sectorizada, pues en este caso la cámara tendría ecualización de presión y el agua que entraría por las juntas sería mínima. En todo caso se propone diseñar el canto de los aplacados de forma que se anulen las fuerzas de tensión superficial, capilaridad y ráfagas de viento que tratan de introducir agua a través de las juntas (canto a media madera, canto ranurado), así como evitar la deposición de partículas (cantos biselados)”.

A la vista del grado de conocimiento existente acerca de la entrada de agua por las juntas de los aplacados de piedra ventilados, deducimos que todos apuntan a que entra agua por las juntas, pero:

- No se analiza la contribución de agua infiltrada en relación a cada una de las seis fuerzas actuantes.
- No se cuantifica el agua infiltrada en función de la amplitud de las juntas ni del grado de confinamiento de la cámara.
- Los estudios anteriores se centraron en aplacados con cantos rectos sin haber entrado a analizar otros diseños de cantos

Todas estas cuestiones que aún no han sido abordadas serán precisamente las que se estudien en esta investigación.

3 Objetivos y metodología

Como hemos visto anteriormente apenas hay autores que hayan cuantificado la entrada de agua por las juntas horizontales de las fachadas ventiladas, en relación con su amplitud, con el confinamiento o no de la cámara y aún menos con diseños de cantos distintos a los habituales cantos rectos.

Esta investigación parte de las siguientes hipótesis que habrán de ser corroboradas y/o demostradas:

- Que entra abundante agua por las juntas horizontales.
- Que es posible reducir esa cantidad con nuevos diseños de canto horizontal.
- Que la entrada de agua es proporcional a la amplitud de junta (a mayor amplitud mayor infiltración).
- Que la entrada será mínima con la cámara confinada.

Para poder confirmar estas hipótesis nos planteamos los objetivos que se enumeran en el siguiente apartado.

3.1. Objetivos de la investigación

Se toma como punto de partida el caso de aplacados con cantos rectos horizontales, dado que es la solución constructiva ordinaria.

Para este tipo de cantos se pretende:

- a. Discriminar la porción de agua infiltrada a causa de cada una de las fuerzas que tratan de introducir agua por las juntas.
- b. Cuantificar el agua que se infiltra por las juntas horizontales en relación con la amplitud de éstas.
- c. Cuantificar el agua infiltrada en relación con los diferentes grados de confinamiento de la cámara.

A partir de estos datos se propondrán nuevos diseños de juntas horizontales para minimizar el efecto de la tensión superficial y la diferencia de presión, y así tratar de reducir la entrada de agua.

Para cada uno de estos nuevos diseños de canto se tratará de:

- d. Cuantificar el agua que se infiltra por las juntas horizontales en relación con la amplitud de éstas.
- e. Relacionar dicha información con los diferentes grados de confinamiento de la cámara.

Una vez analizados todos estos resultados se buscará:

- f. Comparar los resultados de cantidad de agua infiltrada para cada uno de los distintos diseños y amplitudes de junta.
- g. Determinar si existe algún diseño de canto de aplacados de piedra que minimice la entrada de agua por las juntas.

Y finalmente, para complementar los resultados obtenidos de entrada de agua por las juntas horizontales se analizará el comportamiento de un aplacado ventilado completo, es decir, con juntas verticales y horizontales, para:

- h. Estudiar la aportación de infiltración de agua de las juntas verticales con cantos rectos combinados con las juntas horizontales estudiadas.

Suponemos que si se logran estos ocho objetivos se tendrán suficientes datos reales del comportamiento de las juntas horizontales de aplacados ventilados como para poder extraer conclusiones y recomendaciones para minimizar la entrada de agua en la cámara.

3.2. Metodología

Para abordar estos objetivos se nos ofrecen dos posibles métodos: monitorizar un edificio o realizar ensayos en laboratorio.

La monitorización de un edificio con aplacados ventilados de piedra reviste mucha dificultad técnica, ya que no es posible comparar las cantidades de agua infiltrada para las diferentes configuraciones dadas las variaciones meteorológicas cambiantes, ni se podrán ajustar

fácilmente las diferentes amplitudes de junta, o modificar el grado de confinamiento de la cámara.

Por todo ello, se ve más operativo construir un modelo que nos permita realizar las pruebas en laboratorio, donde sí podremos reproducir fidedignamente los mismos parámetros en cada caso ensayado, y por tanto poder establecer comparaciones y obtener resultados fiables.

Para ello se cuenta con el laboratorio del CITEEC de la *Universidade da Coruña*, en el que funciona un banco de pruebas para ensayar la estanquidad de carpinterías de ventanas a viento y lluvia, según la Norma UNE EN 1026:2000.

Esta Norma UNE establece someter cada ventanal a diversas situaciones:

- a) Sucesivos escalones de presión de viento (0-50-100-150-200-250-300-450-600 Pa).
- b) Proyección de agua mediante tres aspersores ubicados en la parte superior.
- c) Ambas condiciones atmosféricas simultáneas.

Este banco de pruebas consiste en un gran panel de vidrio anclado a una subestructura metálica, y conectado a la maquinaria que proyecta agua y viento en las cantidades fijadas.

En el uso cotidiano de este banco de pruebas se ensayan carpinterías (de aluminio o PVC) enmarcadas en un cajón de tablero de madera, de forma que la carpintería quede expuesta a la boquilla que expulsa aire y el cajón totalmente adosado en su perímetro a la superficie de vidrio, de tal modo que no pueda haber escapes de aire. Los aspersores de agua se conectan

a una manguera y se anclan al cajón orientando su flujo hacia la cara expuesta de la carpintería.



Figura 3.2-1. Vista de la cara no expuesta de una carpintería colocada en el banco de pruebas.

A la vista de lo expuesto nos pareció que podríamos reutilizar dicho banco de pruebas de tal modo que se recrease un sector de fachada ventilada.

Con el fin de poder alcanzar los objetivos marcados en esta investigación, se plantea la necesidad de diseñar y construir un dispositivo que cumpla con las siguientes prestaciones:

- Que se le pueda someter a viento y agua, o únicamente a agua, pudiéndose cuantificar la intensidad y cantidad de ambos en cada caso, y recrear exactamente dichos

parámetros de forma que podamos establecer comparaciones fiables entre los distintos ensayos.

- Que permita pasar con facilidad de un estado de confinamiento a no confinamiento de la cámara.
- Que permita modificar la amplitud de la junta formada por las placas que componen la fachada sin necesidad de desmontar todo el dispositivo para cada caso ensayado.

La primera premisa, como ya hemos explicado, la cumple el propio banco de pruebas. El resto habrá que conseguirlas con el dispositivo que ideemos. En el siguiente apartado se explicarán pormenorizadamente sus características.

El modelo inicial tratará de reproducir el tipo de fachada ventilada más usual en Galicia, que es con aplacados de granito 30 mm de espesor, con los cantos rectos formando un ángulo de noventa grados con su cara frontal.

Se someterá la fachada dentro del dispositivo a proyección de agua y viento, con las distintas condiciones enumeradas: variables de confinamiento de cámara, presión de agua con y sin viento y separación de las placas de piedra, y se cuantificarán los valores de infiltración de agua en la cámara de aire.

Para poder establecer una comparación de los resultados, se aplicarán los mismos parámetros en cada caso: flujo de agua constante (cuyo dato es registrado en el ordenador conectado al banco de pruebas para cada ensayo) y tiempo de proyección de agua constante, de tal forma

que sea comprable la proporción de agua infiltrada con respecto a la proyectada para cada caso.

En la siguiente tabla se recogen las variables de los casos a ensayar para cada diseño de junta, lo que hará un total de 12 casos por tipo:

<i>Amplitud de junta</i>	<i>Ventilación cámara</i>	<i>Con Agua y Viento</i>	<i>Con sólo Agua</i>
5,0 mm	No Confinada	CASO 1	CASO 2
5,0 mm	Confinada	CASO 3	CASO 4
7,5 mm	No Confinada	CASO 5	CASO 6
7,5 mm	Confinada	CASO 7	CASO 8
10,0 mm	No Confinada	CASO 9	CASO 10
10,0 mm	Confinada	CASO 11	CASO 12

Tabla 3.2-2. Casos a ensayar para cada diseño de fachada en función de su tipo de junta.

Se ensayan 3 amplitudes de junta horizontal. Para cada amplitud de junta (5 – 7,5 – 10 mm) se realizan cuatro ensayos: dos proyectando únicamente agua a presión atmosférica y otros dos proyectando agua pero aplicándole además los escalones de presión de viento que marca la norma, cada uno de ellos con la cámara confinada y sin confinar.

En el caso de los ensayos con sobrepresión de viento, es decir, aquellos ensayos en los que se somete simultáneamente al dispositivo a proyección de agua y viento se establecen 24 min, al ser el tiempo que tarda en alcanzar el mayor escalón de presión (600 Pa) en el ensayo normalizado.

El tiempo de proyección de agua en los ensayos en los que no se aplica sobrepresión de viento se establece en 10 min, que con respecto a los ensayos con saltos de presión es menor, al ser

suficiente para obtener resultados comparables, ya que no hay variación en las condiciones ensayadas en tales circunstancias.

La ventilación de la cámara se indica en relación al porcentaje de superficie de huecos de exfiltración de aire en el perímetro lateral de la cámara con respecto a la superficie total del mismo.

El confinamiento de la cámara permite la ecualización de su presión interna con la del ambiente exterior. Los ensayos se llevan a cabo con ambas situaciones, como se muestra en la figura, para analizar las posibles diferencias de infiltración de agua.

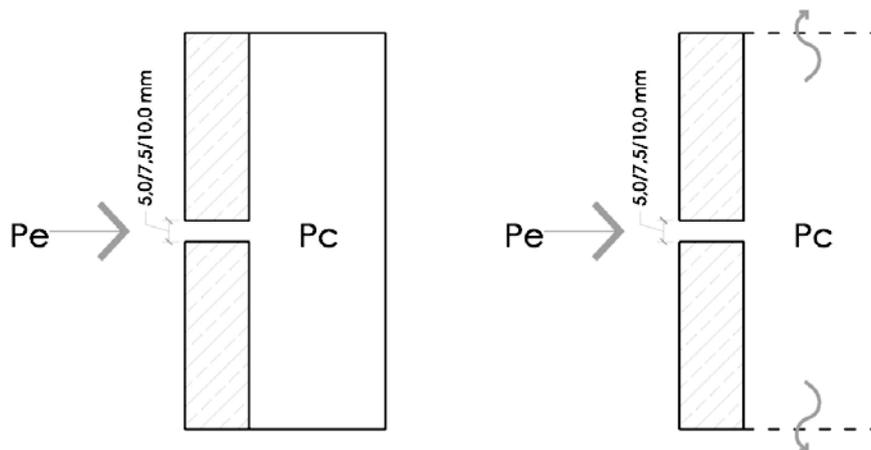


Figura 3.2-3. Esquemas de confinación de la cámara.

Indicábamos antes que el banco de pruebas permite realizar ensayos según la Norma UNE EN 1026:2000, que nos permitirá someter a nuestro dispositivo a saltos de presión y agua simultáneamente.

En la figura 3.2-3 se muestra la equivalencia entre Presión (Pa) y Velocidad de viento (Km/h). La máxima presión de prueba que alcanza el ensayo (600 Pa) corresponde a velocidades de viento de 120 Km/h.

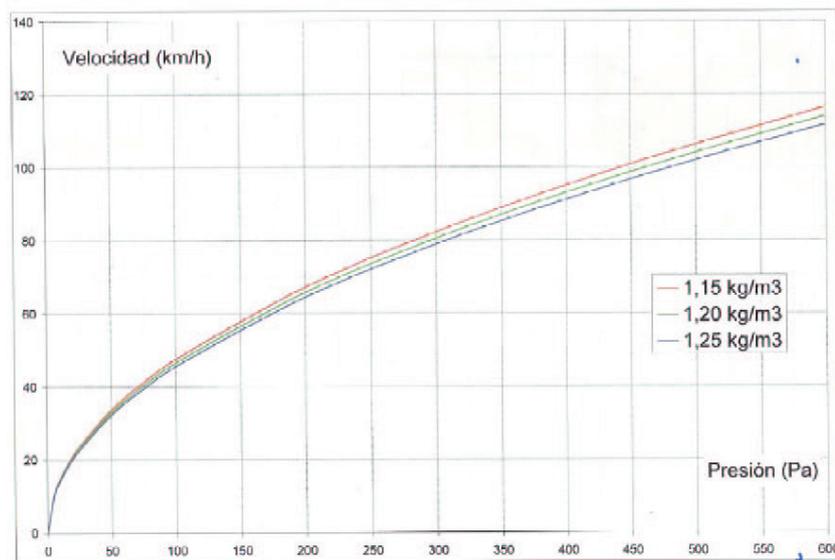


Figura 3.2-4. Equivalencia entre Presión y Velocidad de agua proyectada.

Durante el ensayo del dispositivo en el banco de pruebas se recogen los datos de presión de aire y flujo de agua proyectada, con registros de dichas lecturas cada cinco segundos.

Hay cuatro canales de recogida de datos, que quedan registrados en la computadora y nos permitirán para cada ensayo conocer la lectura de distintos parámetros.

A continuación enumeramos dichos canales con los parámetros que recogen:

- Canal 0: Presión del aire proyectado (en Pascales, Pa). En los ensayos a presión atmosférica este canal arrojará datos constantes.

- Canal 1: Fuga de aire. Recoge en m³/h el aire exfiltrado por las juntas y orificios de la fachada ensayada.
- Canal 2: Presión de agua proyectada (en bares, bar).
- Canal 3: Caudal de agua proyectada (l/min). Este es el dato imprescindible para nuestro estudio, sin el cual no podríamos cuantificar el agua proyectada.

En las siguientes figuras se muestra el interfaz con la lectura en tiempo real de los cuatro canales durante sendos ensayos, a con agua y con agua y viento, respectivamente. En ambos casos la presión y el caudal de agua son prácticamente constantes.

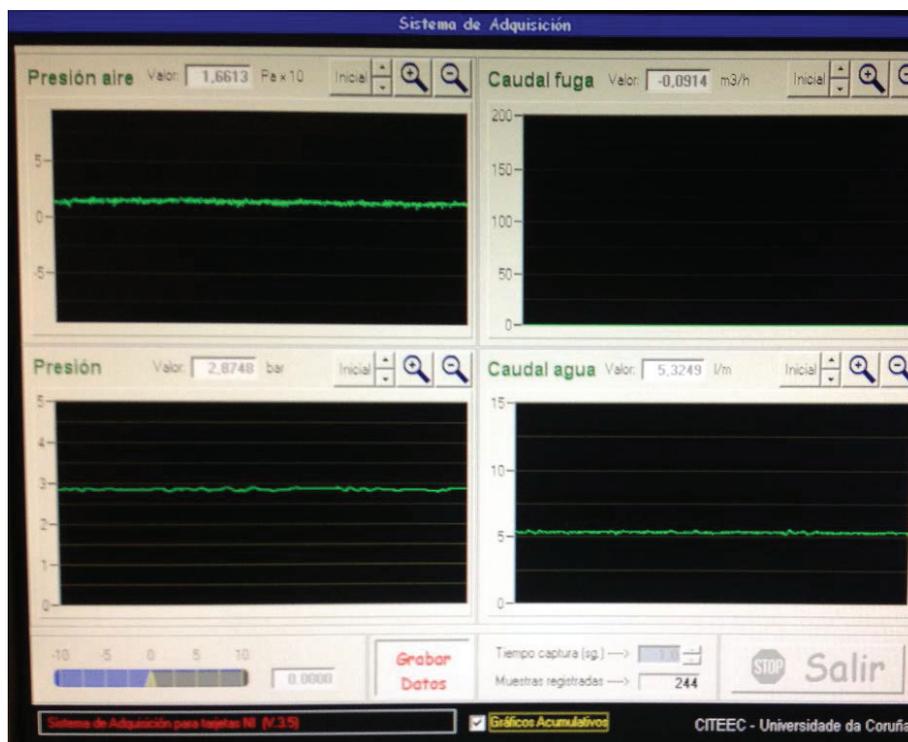


Figura 3.2-5. Interfaz de captura de datos para ensayo con proyección de agua.

En este primer caso se puede observar cómo en el canal 0 la gráfica acumulativa de la presión del aire es esencialmente constante, asumiendo las oscilaciones inevitables que se dan.

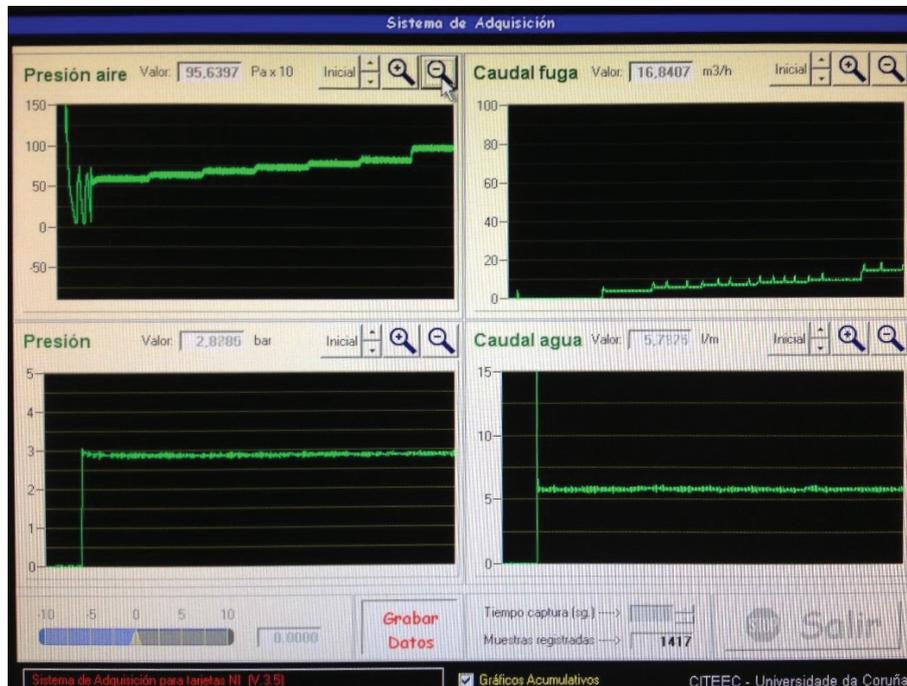


Figura 3.2-6. Interfaz de captura de datos para ensayo con proyección de agua y viento.

En este otro caso se recoge la lectura para ensayos con sobrepresión de viento (con agua y viento), donde se aprecia la gráfica escalonada a medida que se va desarrollando el ensayo.

En la siguiente figura se muestra una vista general del banco de pruebas durante el desarrollo de uno de los ensayos. Al fondo se encuentra el dispositivo ubicado en la posición de los ensayos, adosado al panel de vidrio (con carpinterías amarillas) y conectado a la máquina que proyecta aire y agua.

En primer término se puede observar parte del armazón de la maquinaria, así como los recipientes y la báscula donde se pesará el agua infiltrada en la cámara.



Figura 3.2-7. Vista general del banco de pruebas.

Todos los datos registrados en cada uno de los ensayos vienen recogidos en largos listados, que son exportados a un programa para poder obtener el promedio de caudal de agua proyectada, expresado en litros/minuto. Multiplicando este valor (su promedio) por el tiempo de cada ensayo (24 min para ensayos con agua y viento; 10 min para ensayos con agua) obtendremos

el total de agua proyectada, que nos permitirá establecer los porcentajes de infiltración de agua en cámara, de tal modo que:

$$\text{Porcentaje de infiltración en Cámara [\%]} = (\text{Agua Infiltrada [litros]} / \text{Agua Proyectada [litros]}) \times 100$$

3.3. Características del dispositivo de ensayo

Decíamos en el apartado anterior que para lograr nuestros objetivos necesitaremos un modelo o dispositivo que cuente con una serie de prestaciones concretas.

Para ello se diseña un modelo real de una fachada ventilada con aplacados de piedra de 30 mm de espesor, que es una dimensión habitual en este tipo de cerramientos.

Por otra parte las placas de piedra suelen tener unas dimensiones de 60x120 cm o 50x100 cm. Tomando dos placas dispuestas una encima de otra nos vamos a unas dimensiones de 1x1 m, considerando que 1 m² de fachada puede ser suficiente para emular lo que ocurre en una superficie mayor, al tiempo que facilita los ajustes y traslados al banco de pruebas (un dispositivo de 2x2 m, de 4 m², llegaría a pesar unos 360 Kg, del orden de 250 Kg más que con la opción elegida).

Por otra parte, y no menos interesante, adoptar estas dimensiones nos permite asociar directamente los datos de entrada de agua por metro cuadrado de fachada o metro lineal de junta horizontal.

Tratando de adaptar a nuestras necesidades la mecánica de funcionamiento del banco de pruebas con los ensayos para carpinterías se construye un modelo a escala real de una fachada ventilada con aplacados de piedra.

En dicho modelo el revestimiento exterior de la fachada ventilada sustituirá lo que sería la carpintería, y como en la realidad, se montará con una subestructura metálica de angulares de aluminio y anclajes para la sustentación de las dos placas de piedra que formarán la capa expuesta.

Todo el conjunto está enmarcado por un cajón de tablero fenólico de alta densidad (Trespa) de dimensiones 1.160 x 1.116 x 380 mm y espesor de 30 mm.

Las capas que cierran interiormente la cámara de aire (habitualmente de fuera a dentro, aislamiento térmico y fábrica de ladrillo u hormigón armado) se materializan en el dispositivo con una luna de vidrio laminado, de modo que se pueda visualizar el desarrollo de la prueba y el proceso de entrada de agua en la cámara.

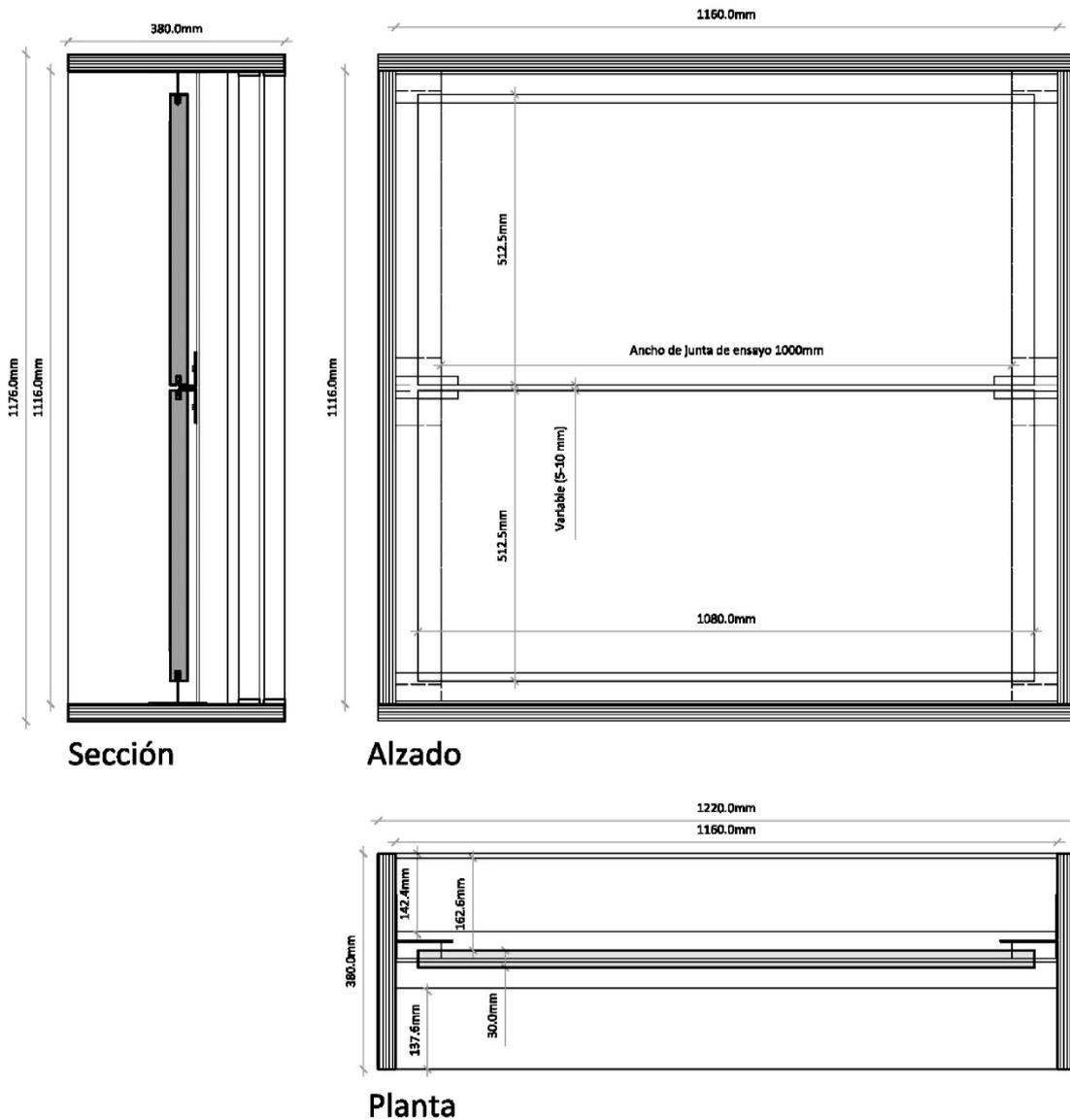


Figura 3.3-1. Plano de dispositivo con junta horizontal de cantos rectos.

La pieza inferior del aplacado permanecerá fija. Inferiormente se asienta sobre un perfil de aluminio de sección en T que coincide con el eje vertical de las placas de piedra, y en la parte de la junta horizontal la sujeción se realiza mediante uñas que evitan el vuelco y mantienen el plano vertical en su eje, no quedando expuestas a la zona de proyección de agua, ya que todo el perímetro de la cara expuesta en contacto con el cajón de tablero es cubierto con una lámina

impermeable y adhesiva de EPDM con el fin de garantizar que el agua que se infiltre sea únicamente a través de las juntas.

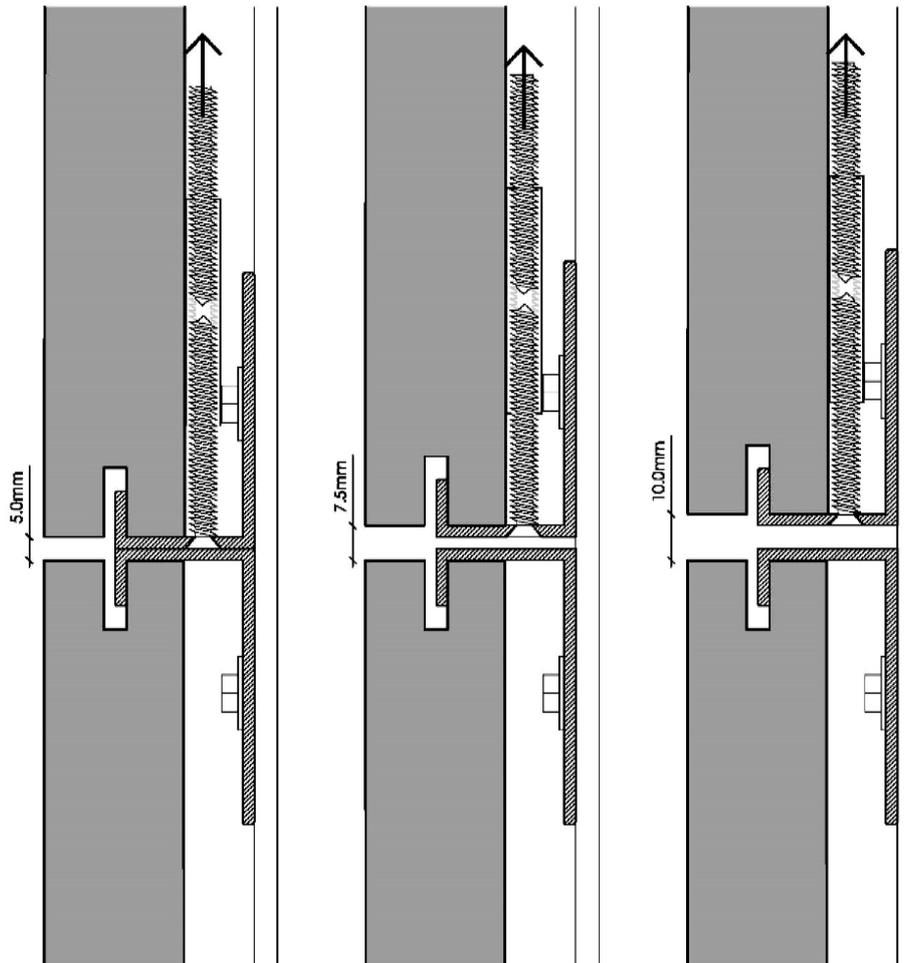


Figura 3.3-2. Detalle de anclaje regulable de las placas de piedra con amplitudes de junta de 5, 7.5 y 10 mm.

La pieza superior es la que se moverá. En su parte inferior aloja las uñas que han sido mecanizadas y conectadas a una varilla roscada que sale por la parte superior del cajón, cuyo tornillo permite con facilidad el ajuste de la amplitud de la junta deseada, según cada ensayo, como se ilustra en la figura anterior.

Se realiza un corte longitudinal en el canto superior de la pieza de piedra con el fin de que pueda encajar para las distintas amplitudes en el perfil de aluminio en forma de T.

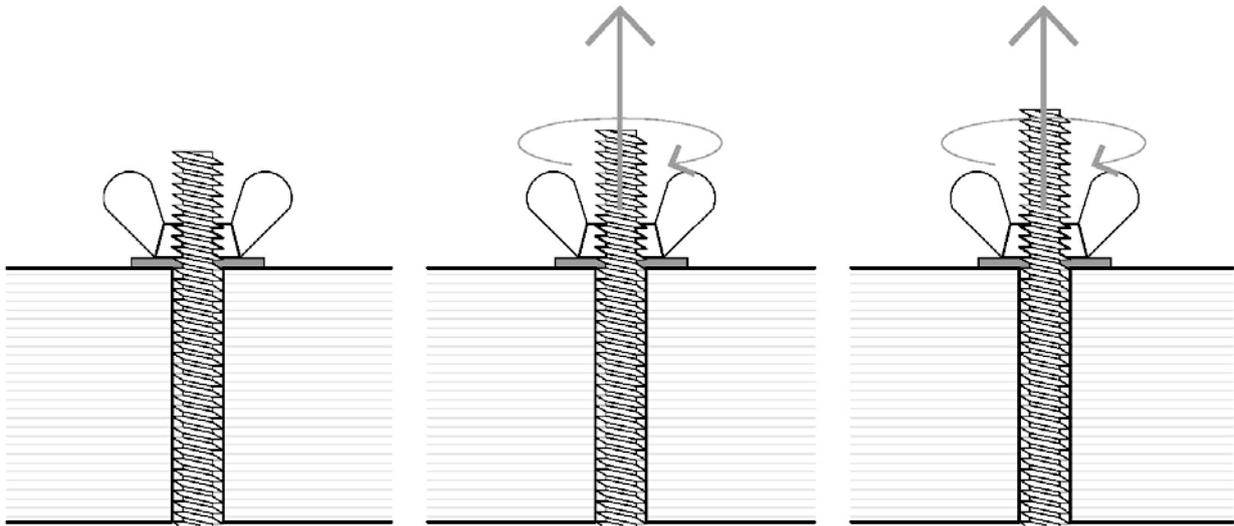


Figura 3.3-3. Detalle de la parte superior del anclaje regulable de las placas de piedra con palomillas en las tres amplitudes ensayadas.

En la figura 3.3-3 vemos cómo en la parte superior del cajón se realiza una perforación para alojar la varilla roscada, de $\varnothing 6$ mm, y sujetarla con una palomilla, que girándola nos permitirá regular la amplitud de la junta horizontal. Se dispone también una arandela de neopreno para garantizar la estanqueidad al aire y no distorsionar en la medida de lo posible los resultados obtenidos.

Con este sistema logramos que la junta horizontal pueda reducirse o ampliarse, con facilidad y sin desmontar las placas, dentro de las dimensiones habituales para este sistema (aberturas entre 5.0, 7.5 y 10.0 mm).

El paso de rosca para la varilla de $\varnothing 6$ mm es de 1 paso=1mm, de tal modo que con 2 vueltas y media de palomilla aumentamos o disminuimos en 2,5 mm la amplitud de la junta, según nuestras necesidades.

A pesar de que las amplitudes de la junta se pueden ajustar sin necesidad de retirar el dispositivo del banco de pruebas teniendo en cuenta el paso de rosca, por precaución se mide en cada caso con calibre digital.



Figura 3.3-4. Calibrado de amplitud de junta.

De esta forma se podrá alcanzar con fiabilidad nuestro objetivo de comparar la cantidad de agua infiltrada en cada una de las configuraciones.

Una vez ajustada la amplitud de junta a la dimensión requerida para el ensayo se ubica y se fija el dispositivo al banco de pruebas, garantizando la estanqueidad perimetral del mismo, de tal modo que la exfiltración de aire se produzca únicamente por los orificios de la cámara, de ser el caso.

Asimismo para cuantificar el agua que se infiltra en la cámara, el dispositivo dispone de un orificio en la parte inferior que conduce el agua a través de una cánula a un depósito estanco previamente tarado (sin que por este conducto se escape el aire de la cámara), en el que se pesará la cantidad de agua infiltrada.

En estas condiciones se inicia la lectura y registro de datos de presión y caudal, y en el momento en que se abre la llave de agua se comienza a contabilizar el tiempo de ensayo: 10 min para los ensayos a presión atmosférica y 24 min para los ensayos con saltos de presión.

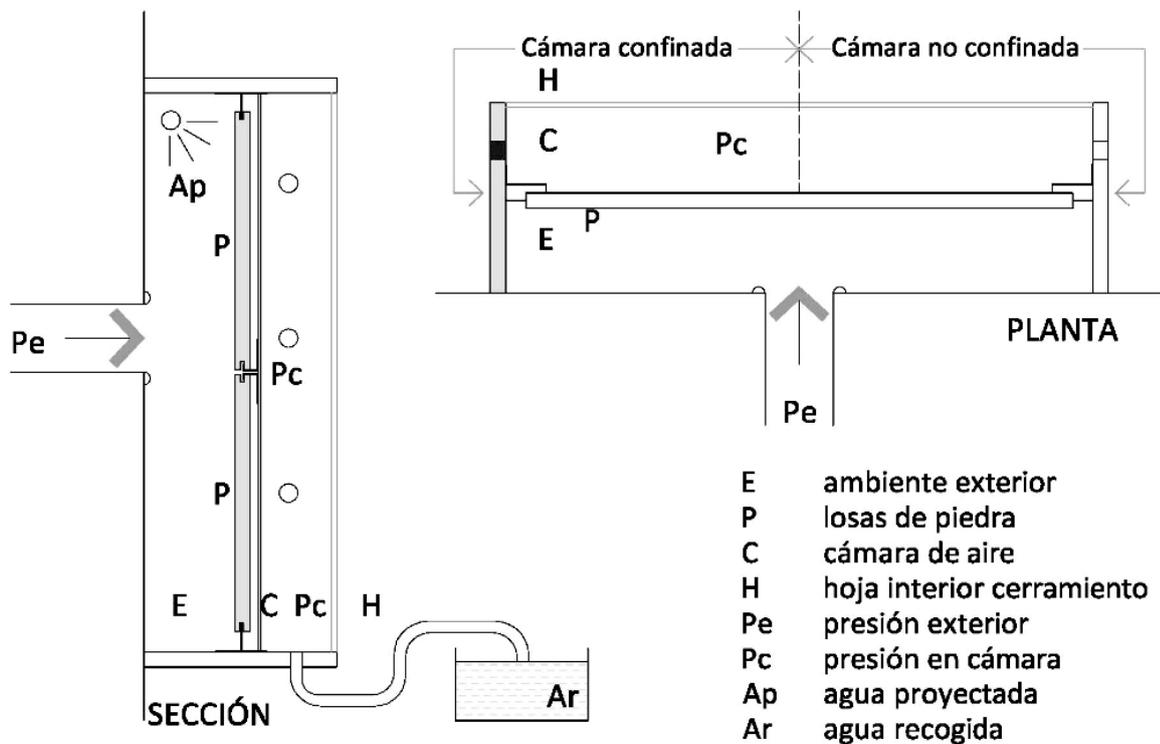


Figura 3.3-5. Esquema del dispositivo de ensayos.

Como se puede observar esquemáticamente en la figura 3.3-5, las placas de piedra dividen el espacio de la caja en dos cámaras: la más amplia (E) emula el exterior del edificio, y la otra (C), cerrada por el interior con un vidrio laminado, emula la cámara de aire de la fachada ventilada.

Para la situación de cámara no confinada se dejan abiertos una serie de orificios practicados en ambos laterales del cajón, cuya superficie equivale a un 24% de la superficie total del mismo.

El confinamiento de la cámara, o lo que es lo mismo, su ecuilización, se conseguirá tapando los orificios con cinta americana.



Figura 3.3-6. Orificios de ventilación de la cámara: a) tapados vistos desde fuera; b) sin tapar vistos desde fuera; c) sin tapar vistos desde dentro.

Esta configuración será en esencia la que se repita en todos los ensayos a realizar en nuestra investigación, sustituyendo los elementos necesarios para ajustar el dispositivo a los parámetros que proceda, según el caso.

En los ensayos de junta horizontal simplemente será necesario sustituir las placas de piedra por las del nuevo diseño. En los ensayos combinando junta horizontal y juntas verticales también será necesario añadir dos perfiles de aluminio a modo de montantes verticales.

En las figuras 3.3-7 y 3.3-8 se muestran las dos caras del dispositivo una vez montado sobre el banco de pruebas.

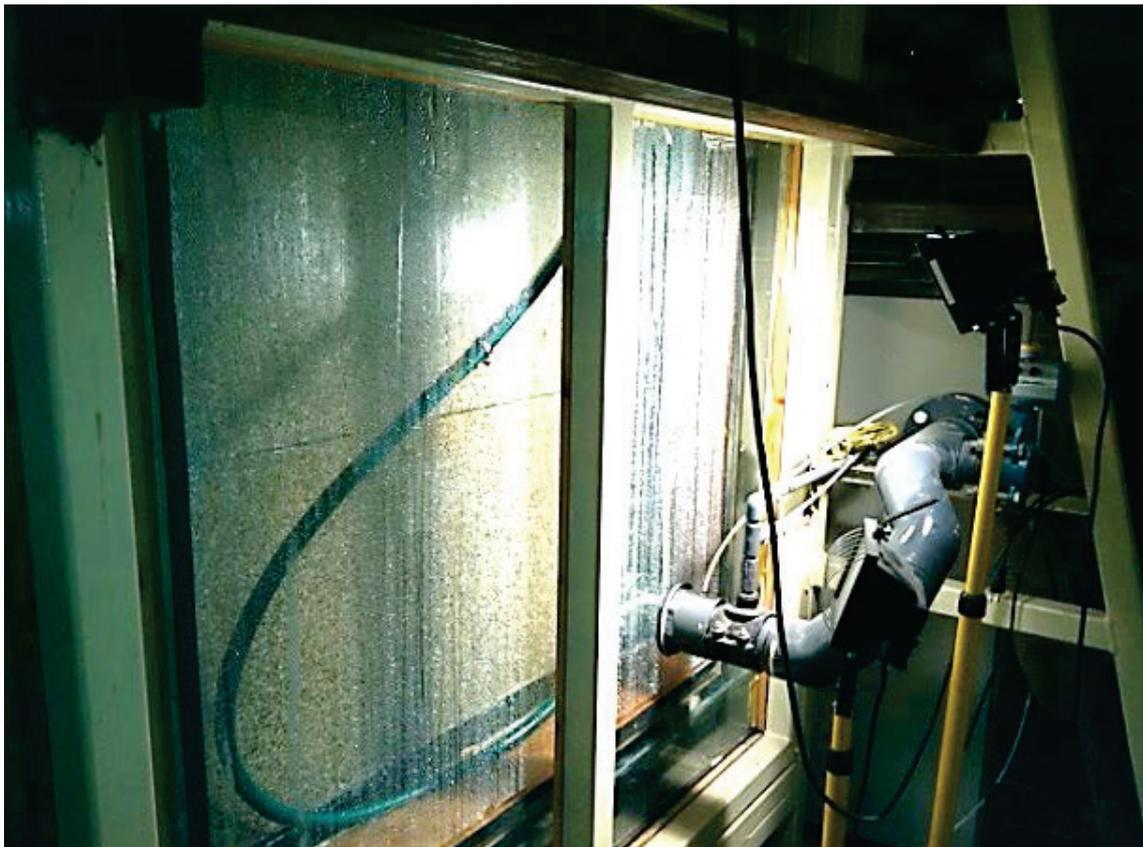


Figura 3.3-7. Cara expuesta de la fachada con junta horizontal.



Figura 3.3-8. Vista interior de la fachada con junta horizontal desde la cámara de aire.

3.4. Parámetros del dispositivo en función de los objetivos

Una vez planteados los objetivos de la investigación y montado nuestro dispositivo de ensayos veremos los parámetros necesarios de configuración del mismo para llevarlos a término.

El objetivo *a*, discriminar la porción de agua infiltrada a causa de las distintas fuerzas que tratan de introducir agua por las juntas, se logra sometiendo el modelo con la cámara

confinada a proyección sólo de agua (durante diez minutos, que es lo que hemos establecido como criterio para este tipo de ensayos). De este modo se anula la acción de la diferencia de presión, las ráfagas de viento y la fuerza cinética, ya que la gravedad y la succión capilar estarán siempre anuladas por el propio diseño de los cantos y al no ensayar amplitudes menores de 5 mm, respectivamente. La única fuerza remanente será la tensión superficial, de tal modo que el agua desciende en régimen laminar por la placa superior hasta alcanzar la junta horizontal, momento en el que una parte se infiltra hacia el interior de la cámara colgada por el canto, debido precisamente a la acción de la tensión superficial, y otra sigue su marcha hacia la placa siguiente. La cantidad de agua recogida será la porción buscada.

Si repetimos el ensayo sólo con agua pero con la cámara sin confinar añadiremos como fuerza actuante la diferencia de presión. La cantidad total infiltrada, Q_t , es la suma de la porción de agua infiltrada por la tensión superficial, Q_{ts} , y la porción debida a la diferencia de presión, Q_{dp} , de tal manera que $Q_t = Q_{ts} + Q_{dp}$, o lo que es lo mismo, si restamos la porción obtenida en el anterior ensayo al valor obtenido en éste conseguiremos la porción de agua infiltrada debido a la diferencia de presión. Llevando a cabo el ensayo con saltos de presión y cámara ventilada obtendríamos la cantidad de agua que infiltran el resto de fuerzas actuantes (cinética y ráfagas de viento).

Para los objetivos b , d y h , cuantificar el agua que se infiltra en función de la amplitud de las juntas horizontales, y en su caso en función también de las verticales combinadas con las horizontales, el dispositivo, ya ha quedado explicado, por su diseño permite modificar la

amplitud de la junta con facilidad. Realizaremos cuatro ensayos para cada amplitud en función de los distintos parámetros (confinamiento de la cámara y proyección de agua y/o viento).

Cuando lo que queremos es determinar el agua infiltrada en función del confinamiento de la cámara, a lo que hacen referencia los objetivos *c*, *e* y *h*, se realizarán también cuatro ensayos, confinando y no confinando la cámara (tapando y destapando respectivamente los orificios laterales del cajón) proyectando agua y agua con viento.

Los restantes objetivos son la comparación de los resultados obtenidos en los diversos ensayos llevados a cabo para alcanzar los anteriores.

En la siguiente tabla se resume la relación descrita en este apartado entre los objetivos definidos y los ensayos necesarios para alcanzarlos:

<i>Objetivo/s a lograr</i>	<i>Ensayo/s necesario/s</i>	<i>Confinamiento cámara</i>
a) Discriminar agua por fuerzas	Proyectando sólo agua Proyectando sólo agua	Confinada No confinada
b), d), h) Cuantificar agua en relación a la amplitud de las juntas	Proyectando sólo agua Proyectando agua y viento	Ambos Ambos
c), e), h) Cuantificar agua en relación al confinamiento de la cámara	Proyectando sólo agua Proyectando agua y viento	Ambos Ambos
f), g) Comparativa y determinación del mejor diseño de canto	Todos los anteriores	-

Tabla 3.4-1. Tabla de relación entre objetivos y ensayos para alcanzarlos.

En los siguientes capítulos se recoge el desarrollo de los distintos ensayos para cada tipo de canto según los ensayos previstos, tratando de dar respuesta a los objetivos planteados en nuestra investigación.

4 Ensayos con junta horizontal de cantos rectos

En este capítulo estudiaremos el comportamiento frente al agua de la fachada ventilada con junta horizontal de cantos rectos, que es el tipo de diseño de junta que más se emplea, por economía y por sencillez constructiva.

Se aplicará la metodología definida en el capítulo anterior para nuestros ensayos, con el fin de alcanzar los objetivos *a*, *b*, *c* y *f*.

4.1. Características y parámetros de ajuste del dispositivo

En la figura 4.1-1 se ilustra el tipo de cantos que se van a disponer en el dispositivo.

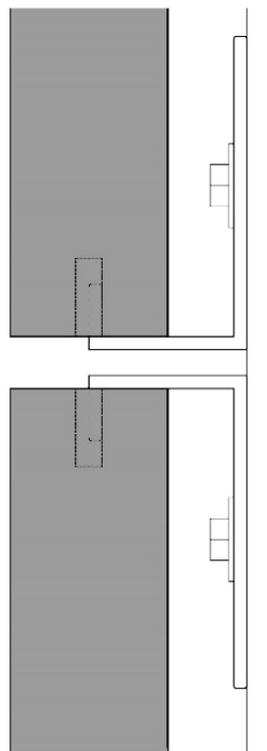


Figura 4.1-1. Detalle de junta horizontal con cantos rectos.

Las placas presentan en los extremos de sus cantos horizontales una pequeña incisión para servir de alojamiento a las uñas de los anclajes, quedando el resto del canto recto y liso

Una vez montado el dispositivo en el banco de pruebas se llevarán a cabo los ensayos que se muestran en la siguiente tabla:

CASOS ENSAYADOS PARA CANTOS HORIZONTALES RECTOS			
<i>Amplitud de junta</i>	<i>Ventilación cámara</i>	<i>AGUA y VIENTO</i>	<i>Sólo AGUA</i>
5,0 mm	No Confinada	CASO 1	CASO 2
5,0 mm	Confinada	CASO 3	CASO 4
7,5 mm	No Confinada	CASO 5	CASO 6
7,5 mm	Confinada	CASO 7	CASO 8
10,0 mm	No Confinada	CASO 9	CASO 10
10,0 mm	Confinada	CASO 11	CASO 12

Tabla 4.1-2. Casos a ensayar para junta horizontal de cantos rectos.

Para ello se irán ajustando las distintas amplitudes de junta, se tapanán o destapanán los orificios laterales para ecualizar o no la cámara y por último se realizarán los ensayos con agua o con agua y viento, según sea el caso.

4.2. Ensayos, resultados e interpretación

A efectos de cuantificación de agua infiltrada se llevan a cabo los ensayos con los aplacados de piedra ya mojados si bien a continuación se muestra una secuencia de imágenes de las fases del proceso de infiltración de agua en un ensayo con sobrepresión de viento (agua y viento) cuando aún están secos para poder explicar de una forma más gráfica y clara el proceso de entrada de agua. A medida que el agua va mojando la cara expuesta de la fachada y cayendo en régimen laminar por la misma se va produciendo cierta infiltración de agua en la cámara.



Figura 4.2-1. Fase 1: aparición de agua infiltrada.

Tras los primeros minutos de proyección de agua se aprecian pequeños canales de infiltración en los laterales y por dos puntos equidistantes en la longitud de la junta horizontal, que coincidirán con la intersección de los haces de proyección de agua.



Figura 4.2-2. Fase 2: aumento de infiltración de agua.

En la figura 4.2-2 se puede apreciar cómo se va incrementando la superficie mojada en torno a esas vías de infiltración iniciales.



Figura 4.2-3. Fase 3: aumenta la infiltración de agua.

La siguiente imagen de la secuencia muestra cómo el agua se va infiltrando por el intradós de la piedra inferior, apreciándose cómo a medida que aumenta la presión del aire se va mojando el contorno de la junta, tanto inferior como superiormente, debido en parte a las burbujas de agua que se crean y explotan, según hemos podido observar en el desarrollo de la prueba.

De igual modo el aire introduce agua directamente en la cámara llegando a mojar la cara interior de la misma, que en nuestro dispositivo es el cristal.



Figura 4.2-4. Fase 4: infiltración a lo largo de toda la junta.

En ésta última figura de la secuencia se observa cómo ha quedado la cámara al final del ensayo.

Se puede apreciar con claridad cómo toda la pieza inferior del aplacado ha quedado empapada, de igual modo que el vidrio de la hoja interior, que también ha recibido gran cantidad de agua.

A la vista de estas imágenes ya podemos constatar fehacientemente que entra agua a través de las juntas horizontales de aplacados ventilados de piedra.

En la tabla 4.2-5 se recogen los resultados obtenidos en los ensayos para los 12 casos definidos en la metodología con cantos rectos.

JUNTA HORIZONTAL DE CANTOS RECTOS									
Amplitud Junta (mm)	Confinam. Cámara	Ensayo CON AGUA Y VIENTO				Ensayo CON AGUA			
		Agua Proyectada (litros) t: 24 min	Agua Infiltrada (litros)	Agua Infiltrada / Agua Proyectada (%)	Caudal de Infiltración (l/min)	Agua Proyectada (litros) t: 10 min	Agua Infiltrada (litros)	Agua Infiltrada / Agua Proyectada (%)	Caudal de Infiltración (l/min)
Ensayo a 5 mm									
5	No Conf.	156,2	52,50	33,60%	2,19	64,8	5,70	8,80%	0,57
5	Confinada	154,8	12,88	8,32%	0,54	64,9	3,72	5,73%	0,37
Ensayo a 7,5 mm									
7,5	No Conf.	153,8	53,08	34,50%	2,21	64,1	7,30	11,39%	0,73
7,5	Confinada	152,4	16,40	10,76%	0,68	64,2	6,24	9,72%	0,62
Ensayo a 10 mm									
10	No Conf.	152,6	53,61	35,12%	2,23	63,5	13,26	20,88%	1,33
10	Confinada	152,4	31,38	20,59%	1,31	63,7	13,06	20,50%	1,31

Tabla 4.2-5. Tabla de valores obtenidos para junta horizontal de cantos rectos.

A la luz de los datos obtenidos podemos colegir diversas consecuencias que nos ayudarán a alcanzar parte de los objetivos inicialmente planteados. A continuación iremos analizando una a una.

Comenzaremos por establecer comparaciones de resultados entre los ensayos de cámara *confinada-no confinada* y con *agua-agua y viento*, para cada una de las tres aberturas ensayadas, de donde obtendremos nuestras primeras conclusiones.

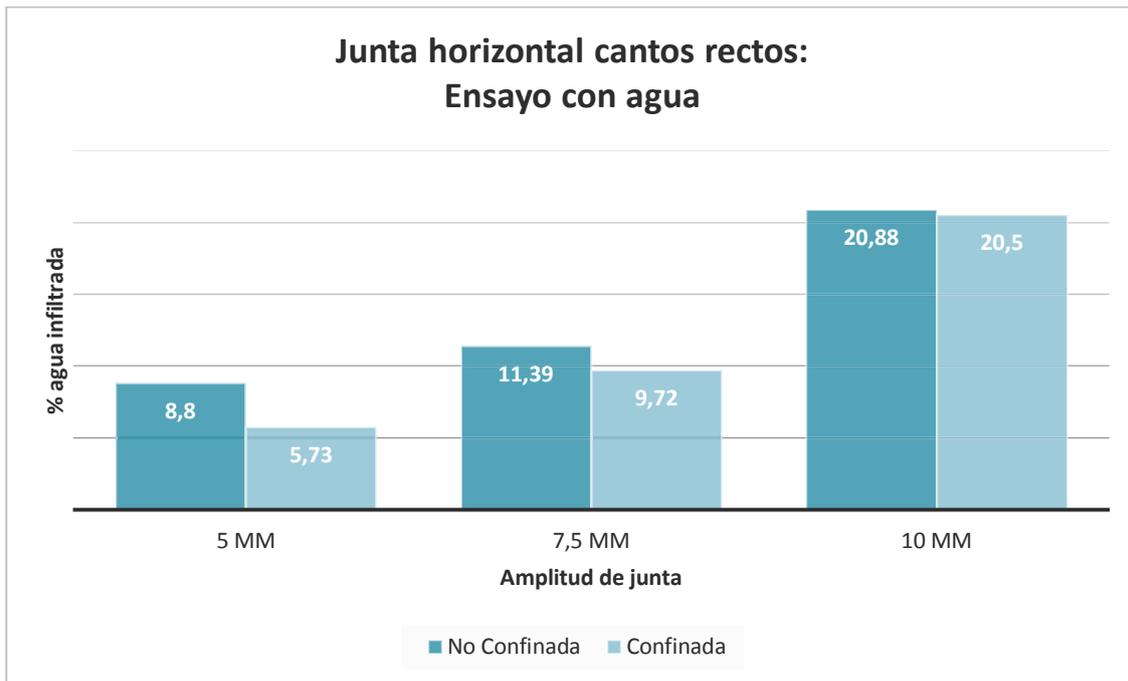


Figura 4.2-6. Porcentaje de agua infiltrada para cámara no confinada y confinada de cantos rectos con proyección de agua.

Lo primero que se observa es que la infiltración de agua es directamente proporcional a la amplitud de la junta. Este punto es un resultado que a priori era esperado.

Otra observación que se puede hacer es que con la cámara confinada la infiltración de agua disminuye en relación a la cámara no confinada. Esto tiene sentido ya que con la cámara confinada, como explicábamos antes, existe eculización entre la presión de aire exterior y de la cámara, por lo que la diferencia de presión no actúa para tratar de introducir agua por la junta.

En el banco de pruebas el aire exterior se emula mediante una cámara de aire de unos 15 cm de anchura, en la que se insufla o no aire a presión y se produce la proyección de agua. Cuando sólo se ensaya con proyección de agua, también se produce un ligero aumento de presión al

introducir un determinado volumen de agua en el reducido volumen de aire de la cámara. Este ligero incremento de presión induce una infiltración de aire por las juntas que conlleva un aumento de entrada de agua con la cámara no confinada. Cuando la cámara está confinada se produce casi instantáneamente la ecualización de presión con el aire exterior por lo que la entrada de agua a la cámara es menor al no inducirse corrientes de aire a través de la junta.

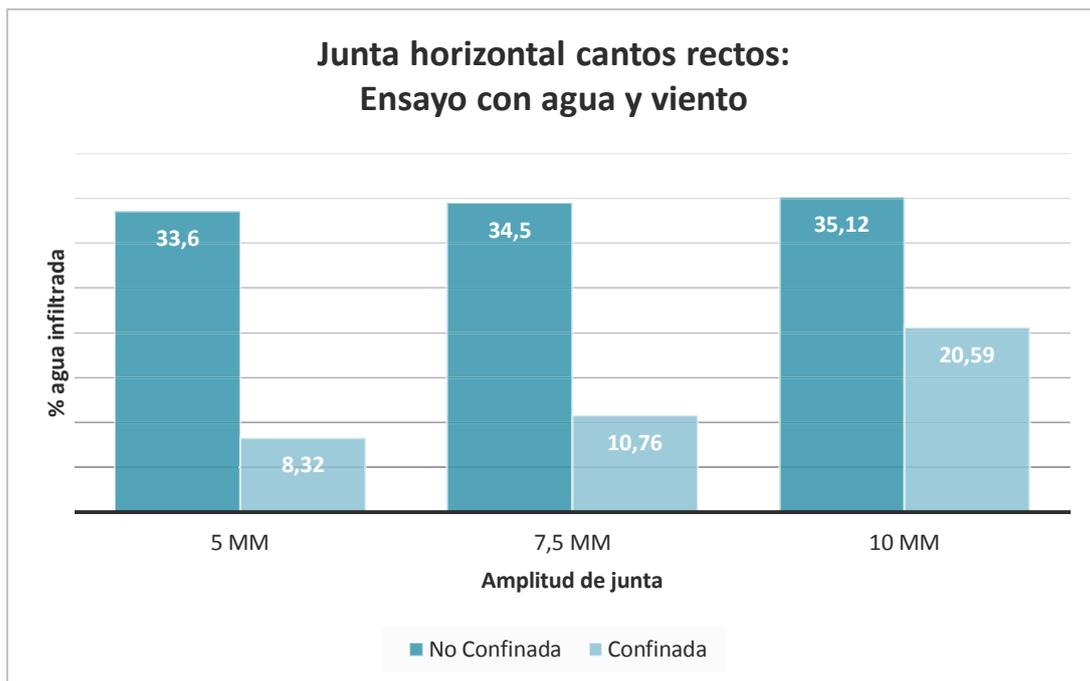


Figura 4.2-7. Porcentaje de agua infiltrada para cámara no confinada y confinada de cantos rectos con proyección de agua y viento.

En el ensayo con proyección de agua y viento la diferencia de amplitud de la junta es prácticamente despreciable cuando la cámara está no confinada y, como era de esperar, considerablemente superior a los resultados de infiltración recogidos en el ensayo con proyección de agua.

Si bien aumenta la infiltración de forma proporcional a la amplitud de junta cuando hay eualización, lo hace en un rango de valores del orden del 20% menor a cuando la cámara no está confinada.

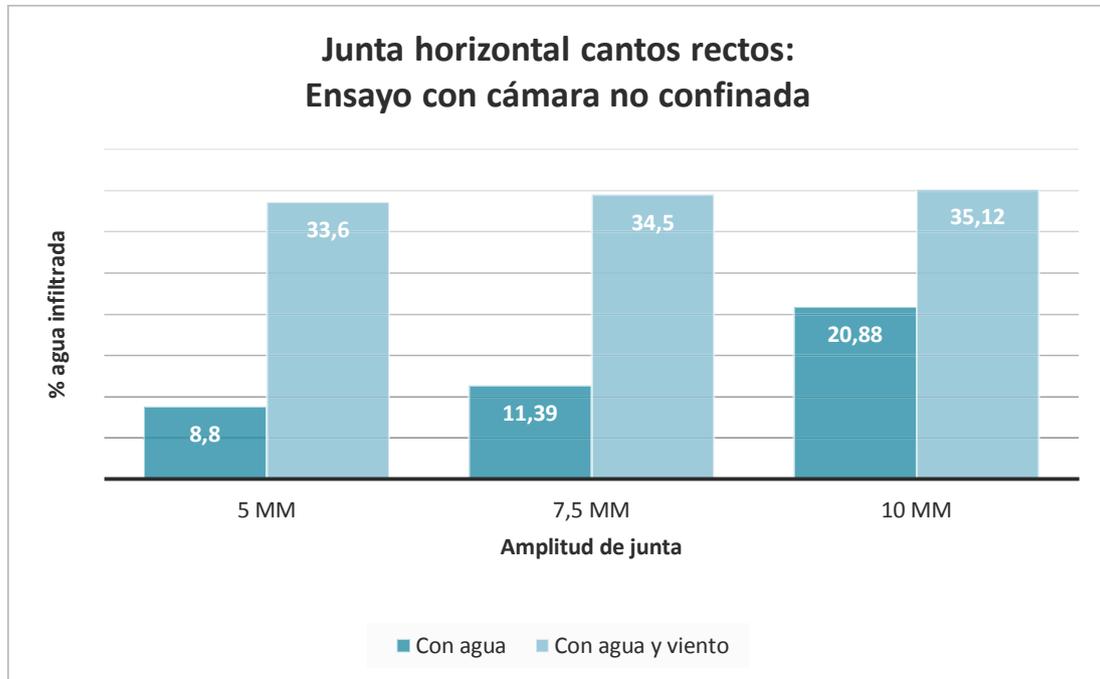


Figura 4.2-8. Porcentaje de agua infiltrada para proyección de sólo agua o agua y viento con cantos rectos y cámara no confinada.

Como acabamos de ver cuando la cámara de aire está no confinada, y por tanto la presión exterior es mayor que la interior, se observa que la infiltración de agua aumenta considerablemente con respecto a cuando la cámara se encuentra confinada.

Por otra parte en esa circunstancia la infiltración de agua se mantiene prácticamente constante con independencia de la abertura de la junta horizontal.

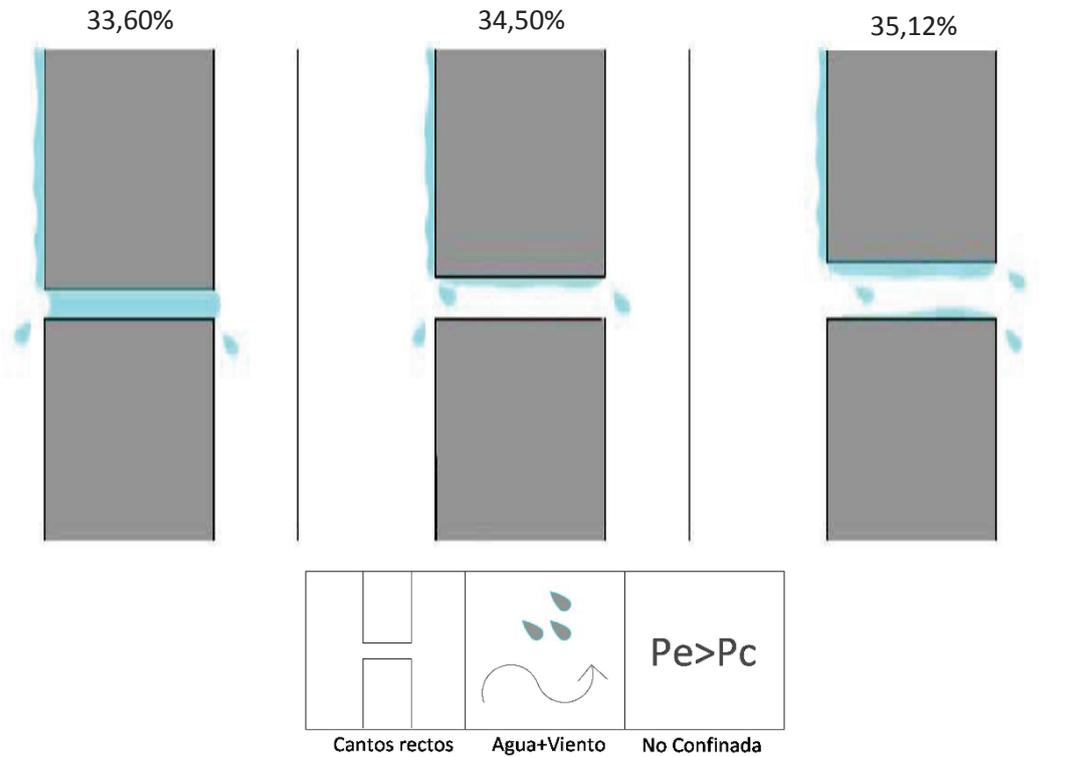


Figura 4.2-9. Esquema interpretativo de entrada de agua por la junta horizontal de cantos rectos con cámara no confinada con proyección de agua y viento.

Se observa que para la amplitud de 5 mm el agua se introduce en la junta por succión capilar hasta llenarla completamente, momento en que se produce un taponamiento que impide la entrada de más agua y dificulta la acción de las otras fuerzas.

A medida que la amplitud aumenta la tensión superficial no consigue llenar el espacio de la junta por lo que se rompe el taponamiento y las gotas de agua penetran con más libertad.

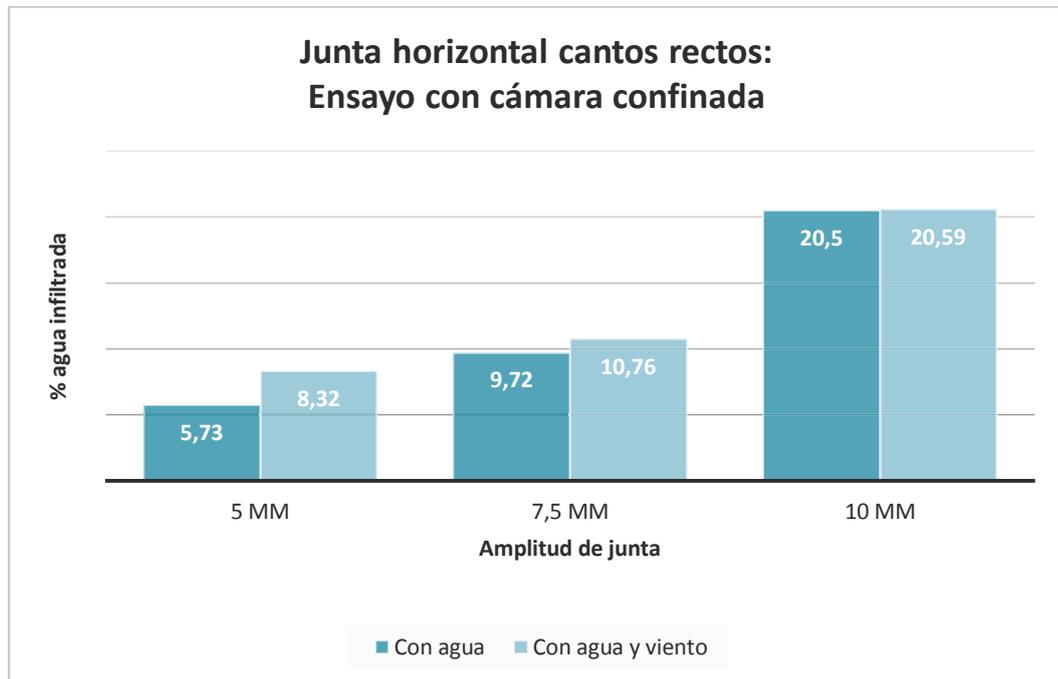


Figura 4.2-10. Porcentaje de agua infiltrada para proyección de sólo agua o agua y viento con cantos rectos y cámara confinada.

Con la cámara confinada la única fuerza que actúa es la tensión superficial por lo que la diferencia de entrada de agua entre el ensayo con proyección de agua y viento y con proyección sólo de agua es despreciable.

Con la cámara no confinada, al actuar también la diferencia de presión, la infiltración es mayor.

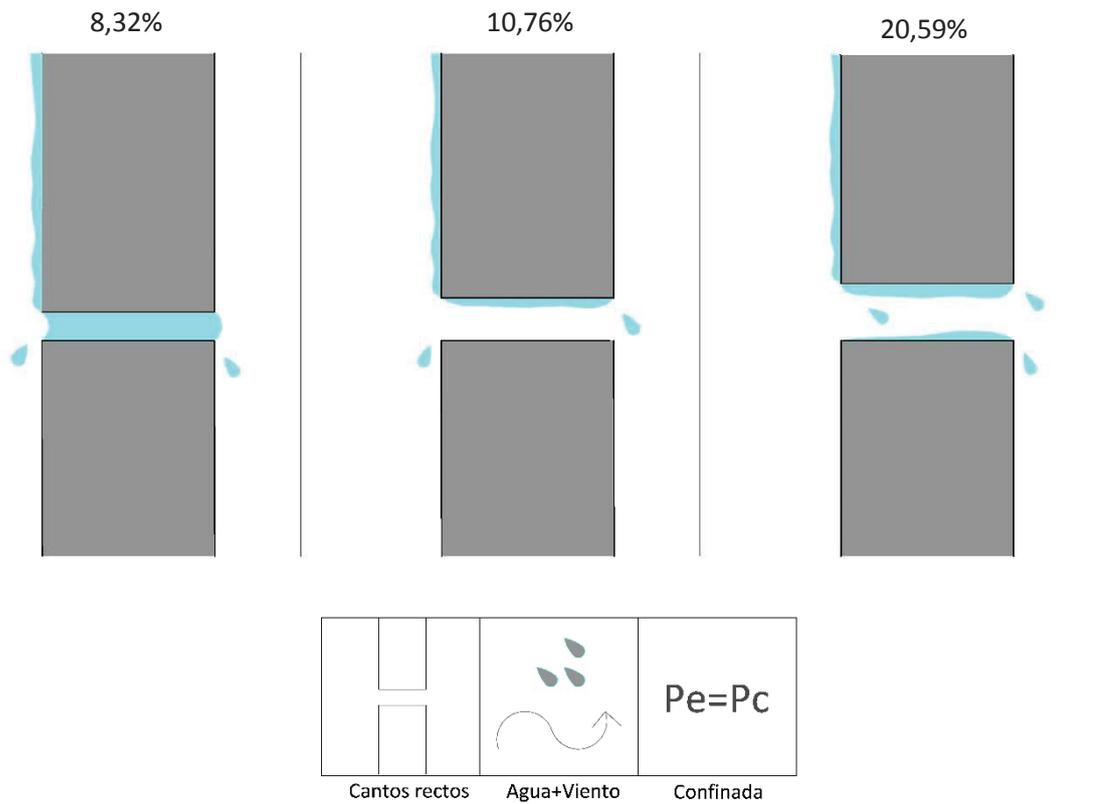


Figura 4.2-11. Esquema interpretativo de entrada de agua por la junta horizontal con cantos rectos en fachadas con la cámara confinada con proyección de agua y viento.

Como se observa en la figura los fundamentos físicos que regulan la entrada de agua son similares, sólo que al estar la cámara ecualizada y no haber diferencias de presión las cantidades infiltradas son menores que cuando la cámara no está confinada.

4.3. Conclusiones del capítulo

En la figura 4.3-1, recordamos, se sintetizan las fuerzas potencialmente causantes de la infiltración en la cámara de la fachada ventilada.

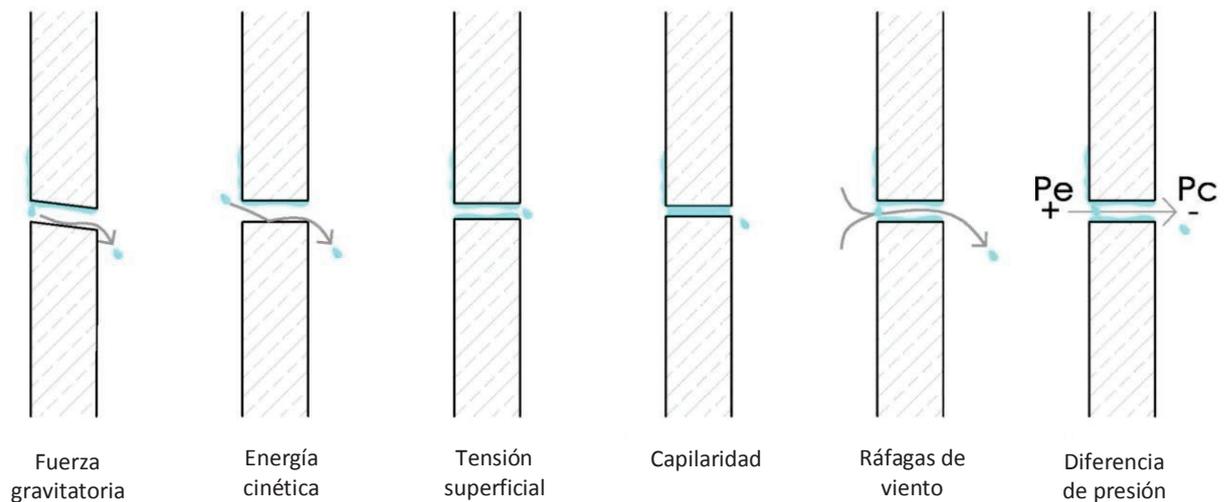


Figura 4.3-1. Fuerzas que intervienen en la entrada de agua en la cámara.

En los ensayos con la cámara confinada y a presión atmosférica, es decir, proyectando únicamente agua con caudal constante, sin sobrepresión de viento, la única fuerza activa es la tensión superficial, dado que el resto de fuerzas están anuladas. La gravedad se anula porque el plano de los cantos rectos de las placas es horizontal; la cinética no infiltra agua porque su componente es vertical ya que la proyección se realiza en la placa superior y se desliza en régimen laminar hacia la placa inferior; la capilaridad no actúa en aberturas de 5 o más milímetros; las ráfagas de viento no actúan al proyectarse únicamente agua, sin aporte de viento; la diferencia de presión no existe ya que la presión del exterior y de la cámara se igualan al estar la cámara confinada.

Es por ello que se puede aislar, y por tanto cuantificar la porción de agua que se infiltra en la cámara debido a la tensión superficial.

Para obtener la porción de agua que introduce la diferencia de presión tendremos que hacer el ensayo con proyección de agua y viento y restarle al valor total de agua infiltrada el valor obtenido anteriormente de agua infiltrada por tensión superficial.

Esta operación la realizaremos para las tres amplitudes de junta estudiadas y con la cámara confinada y no confinada.

En los siguientes gráficos se representa la porción de agua que se infiltra en la cámara de aire en función de las fuerzas que intervienen y para las distintas hipótesis de abertura de junta y condiciones de confinamiento.

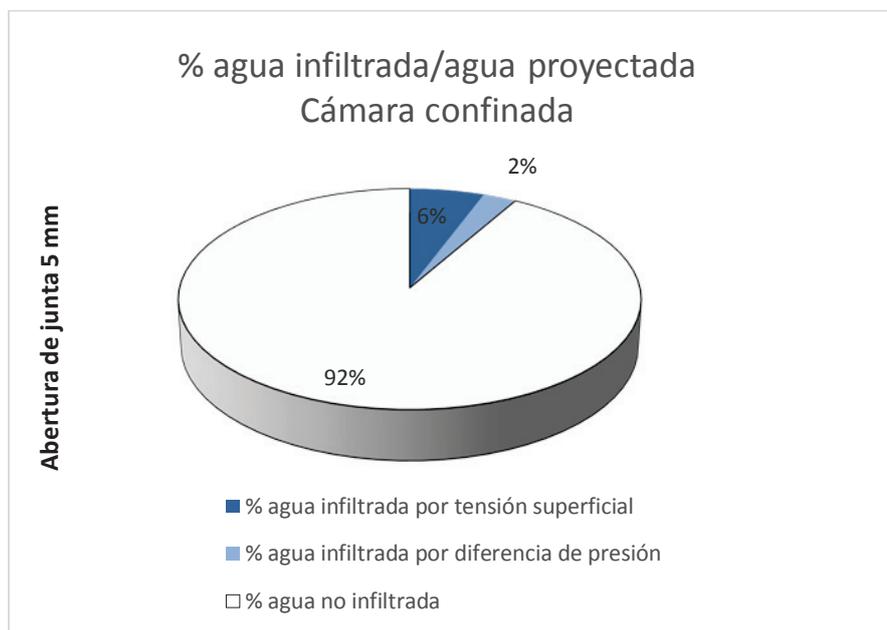


Figura 4.3-2. Porción de infiltración de agua según fuerzas por la junta horizontal de 5 mm de cantos rectos con cámara confinada.

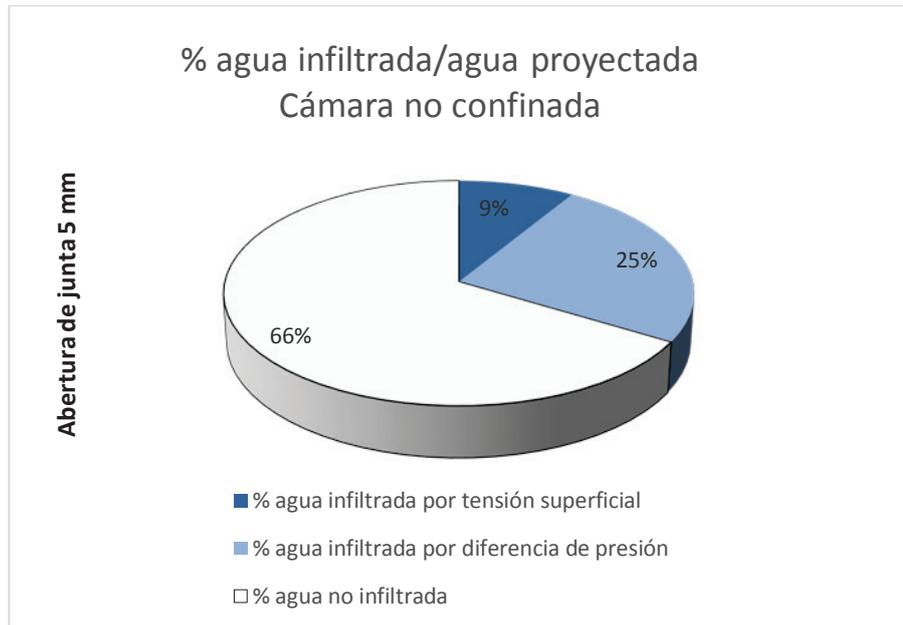


Figura 4.3-3. Porción de infiltración de agua según fuerzas por la junta horizontal de 5 mm de cantos rectos con cámara no confinada.

Se puede constatar que la infiltración de agua debida a la diferencia de presión es prácticamente despreciable cuando se consigue el confinamiento de la cámara, siendo prácticamente la tensión superficial la que mete agua en exclusiva, y para 5 mm de amplitud de junta horizontal en una proporción que no supera el 10%.

Cuando la cámara está no confinada el agua que mete la diferencia de presión es mucho mayor que la infiltrada por la tensión superficial.

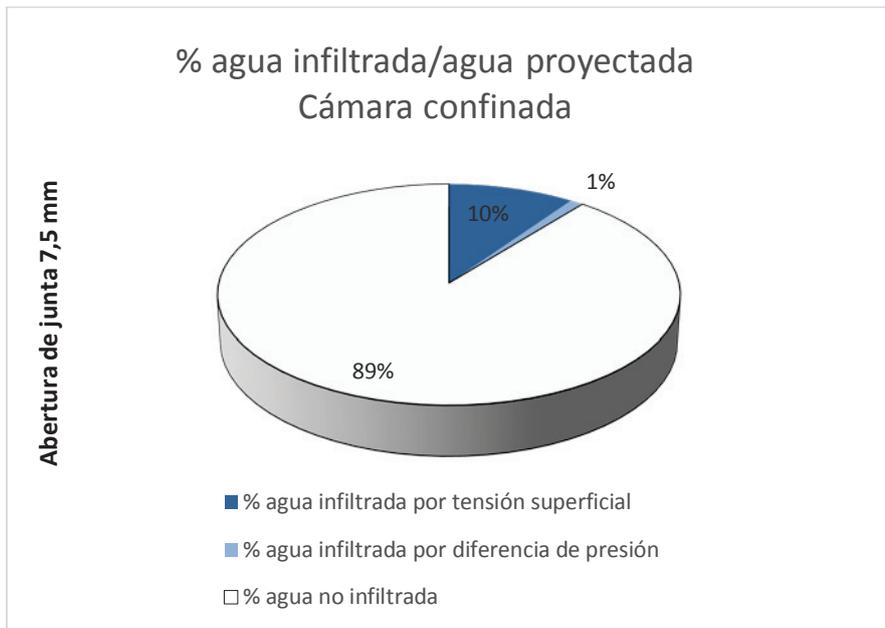


Figura 4.3-4. Porción de infiltración de agua según fuerzas por la junta horizontal de 7,5 mm de cantos rectos con cámara confinada.

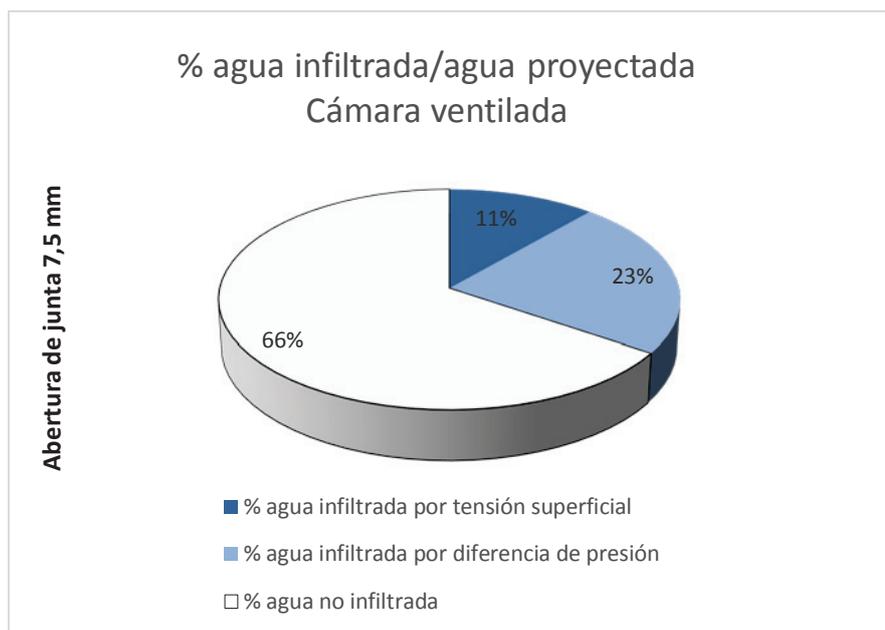


Figura 4.3-5. Porción de infiltración de agua según fuerzas por la junta horizontal de 7,5 mm de cantos rectos con cámara no confinada.

Los ratios de infiltración para 7.5 mm se mantienen similares a los obtenidos para una amplitud de junta de 5 mm.

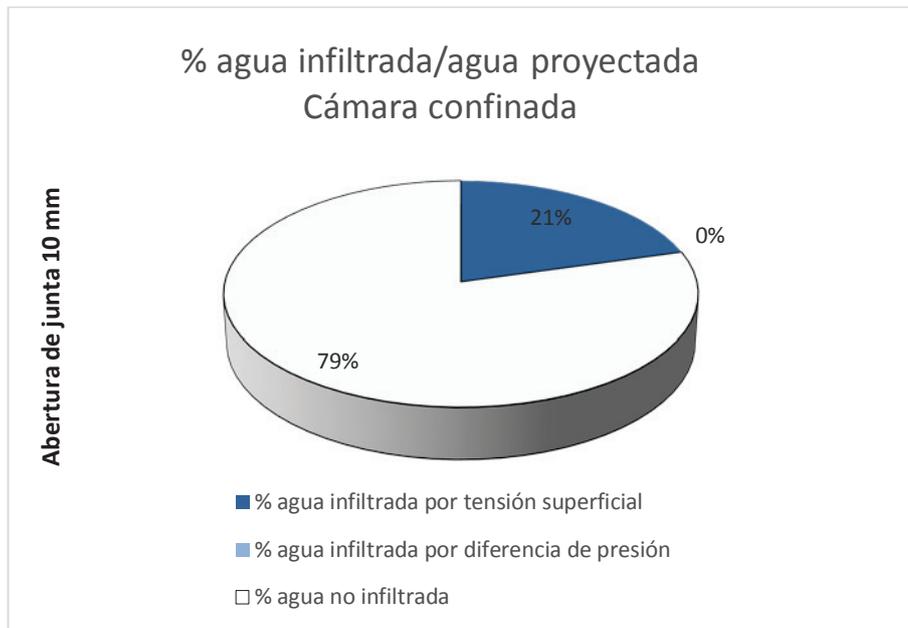


Figura 4.3-6. Porción de infiltración de agua según fuerzas por la junta horizontal de 10 mm de cantos rectos con cámara confinada.

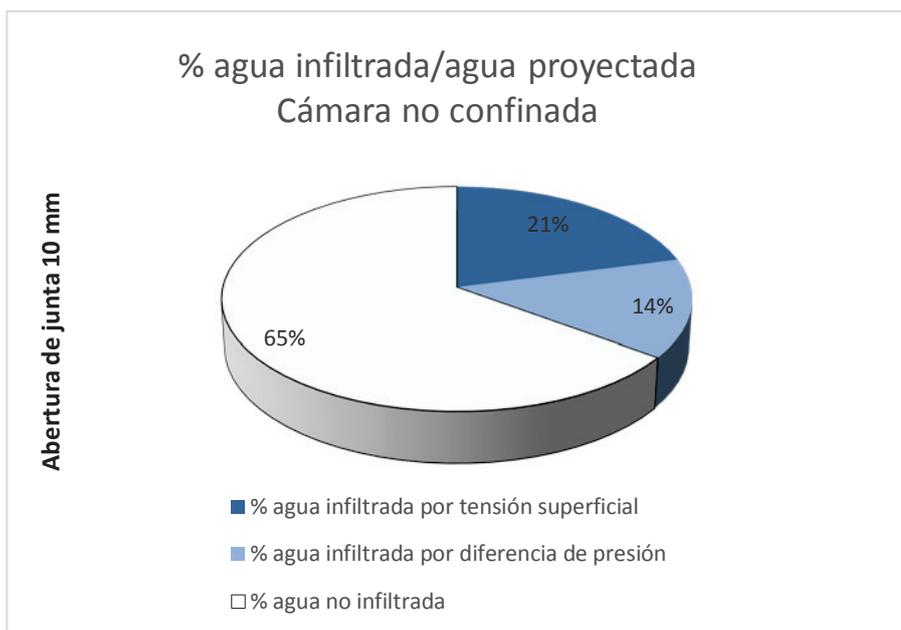


Figura 4.3-7. Porción de infiltración de agua según fuerzas por la junta horizontal de 10 mm de cantos rectos con cámara no confinada.

Con una amplitud de 10 mm el porcentaje de infiltración por tensión superficial alcanza el doble de los valores anteriores, repitiéndose el patrón por el cual con la cámara no confinada empieza a tener relevancia la acción de la diferencia de presión.

De los datos obtenidos se puede afirmar que la entrada de agua por la junta de un aplacado de piedra ventilado está condicionada principalmente por el grado de confinamiento de la cámara, es decir, que la infiltración es menor cuanto mayor es el grado de confinamiento.

En el caso proyección sólo de agua con la cámara no confinada la repercusión de la abertura de la junta horizontal es relevante: las menores tasas de infiltración se consiguen con juntas de 5 mm (9 %), seguidas por las de 7,5 mm (11%) y las de 10,0 mm (21%). La porción de agua infiltrada por causa de la tensión superficial es en todos los casos proporcionalmente muy superior a la que infiltra la diferencia de presión, cuya aportación es prácticamente despreciable.

Otra de las consecuencias que podemos extraer es que en aplacados de piedra ventilados con cámara no confinada sometidos a proyección de agua y viento la tasa de infiltración es más elevada que en aquellos que tienen cámara confinada debido a la acción de las diferencias de presión, y no existen diferencias destacables en la cantidad infiltrada sea cual sea la abertura de la junta.

Por lo tanto concluimos que la infiltración de agua, en una fachada ventilada con aplacados de 3 cm de espesor y cantos rectos, será menor con la amplitud de junta horizontal más pequeña (5 mm) y con la cámara confinada.

Hemos constatado la magnitud de la acción de la tensión superficial en la entrada de agua, lo cual nos señala el camino a seguir en el diseño de junta para tratar de minimizar o anular esta fuerza, cuestión que será abordada en el siguiente capítulo.

Hasta este punto de la investigación hemos alcanzado los siguientes objetivos:

- a. Discriminar la porción de agua infiltrada a causa de cada una de las fuerzas que tratan de introducir agua por las juntas.
- b. Cuantificar el agua que se infiltra por las juntas horizontales en relación con la amplitud de éstas.
- c. Cuantificar el agua infiltrada en relación con los diferentes grados de confinamiento de la cámara.

5 Ensayos para cantos horizontales modificados

A la vista de los resultados obtenidos para cantos rectos en los que se concluye que la fuerza predominante en la entrada de agua es la tensión superficial, se procede a continuación a analizar otras posibles soluciones de cantos que anulen esta acción.

Se tomará como base para el diseño de estos cantos las estrategias ya conocidas para romper la tensión superficial, a saber: goterones, cámaras de reembolso, deflectores, cambios de plano, etc. Al aplicar estas soluciones a los cantos rectos de una placa de revestimiento se nos ofrecen las siguientes soluciones: cantos planos biselados, cantos rectos acanalados y cantos rebajados. En la figura 5-1 se muestran los distintos diseños de cantos horizontales que se ensayan en nuestra investigación.

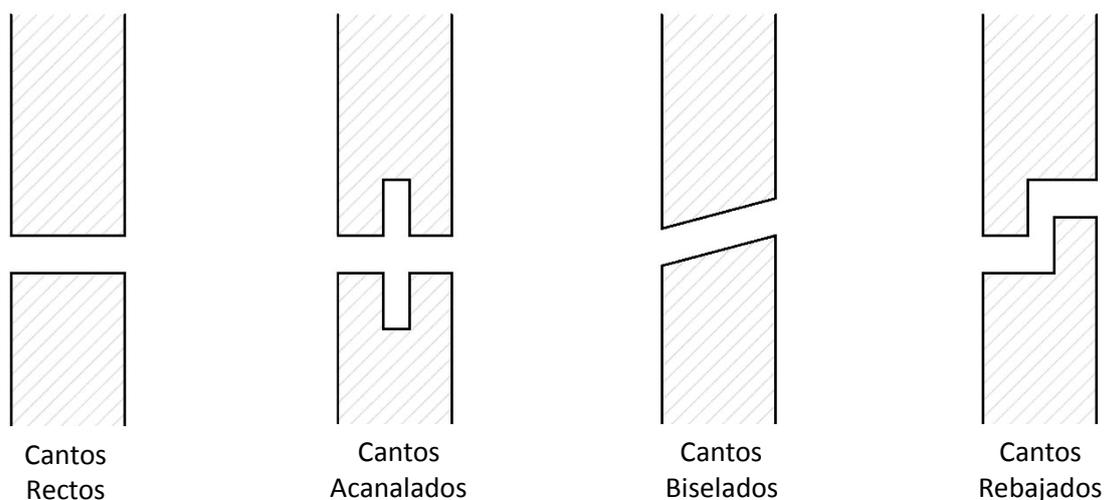


Figura 5-1. Esquema de los cantos de junta horizontal ensayados.

El canto biselado, además de anular la acción gravitatoria, ayuda a minimizar la entrada de gotas de agua que arrastradas por el viento se depositen en su superficie, que al estar inclinada fuerza su salida al exterior

La táctica del goterón está presente en el diseño de canto acanalado, de forma que el agua que por tensión superficial pudiera introducirse pegada al canto inferior de la placa al llegar al canal se desprenderá en forma de gotas al no poder remontar. Asimismo el canal en cantos enfrentados actúa como una cámara de reembolso, haciendo que las corrientes de aire infiltradas pierdan en ella velocidad y presión.

De nuevo el goterón aparece en el borde superior del canto rebajado o a media madera, obligando al agua que se infiltra por tensión superficial a gotear hacia el borde inferior, que por estar peraltado en el dorso ofrece notable resistencia a que el agua pase a la cámara.

5.1. Parámetros de ajuste del dispositivo

Se pasa ahora a plantear los ensayos con placas de cantos modificados, para concluir qué diseño es el mejor con el fin de reducir la infiltración de agua en la cámara de aire de la fachada ventilada.

En este capítulo trataremos de alcanzar los objetivos *d*, *e*, *f* y *g*.

En esta tanda de ensayos los parámetros a tener en cuenta son los mismos que los contemplados en las juntas horizontales de cantos rectos.

Se irán sustituyendo las placas para cada caso, confinando y ventilando la cámara, así como incrementando la amplitud de junta de 5, a 7.5 y a 10 mm, respectivamente, aplicando agua a presión atmosférica (ensayos con agua) o con sobrepresión de viento (ensayos con agua y viento), en función del caso a ensayar.

Así, el desarrollo de las pruebas para cantos modificados sigue el siguiente orden: primero cantos acanalados, después biselados y por último rebajados.

Se proceden a ensayar para cada diseño de canto los casos recogidos en la tabla 5.1-1, cuyos parámetros han sido definidos en la metodología (amplitud de junta, confinamiento o no de la cámara, exposición a sólo agua o a agua y viento), al igual que se ha hecho con cantos rectos.

CASOS ENSAYADOS PARA CANTOS HORIZONTALES MODIFICADOS			
<i>Amplitud de junta</i>	<i>Ventilación cámara</i>	<i>AGUA y VIENTO</i>	<i>Sólo AGUA</i>
5,0 mm	No Confinada	CASO 1	CASO 2
5,0 mm	Confinada	CASO 3	CASO 4
7,5 mm	No Confinada	CASO 5	CASO 6
7,5 mm	Confinada	CASO 7	CASO 8
10,0 mm	No Confinada	CASO 9	CASO 10
10,0 mm	Confinada	CASO 11	CASO 12

Tabla 5.1-1. Casos a ensayar para junta horizontal de cantos modificados.

5.2. Ensayos con junta horizontal de cantos acanalados

Este tipo de junta horizontal se logra realizando sendos canales de 5 mm de anchura y 15 mm de profundidad, en toda la longitud de los cantos. Lo que se pretende con esta modificación es interrumpir el recorrido del agua hacia el interior de la cámara inducido por la tensión superficial.

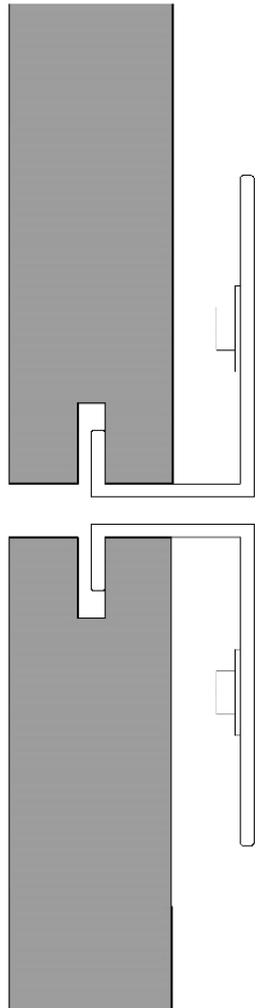


Figura 5.2-1. Detalle de junta horizontal de cantos acanalados.

5.2.1. Resultados e interpretación

En la tabla 5.2.1-1 se recogen los resultados obtenidos en los ensayos para los 12 casos definidos en la metodología con cantos acanalados.

JUNTA DE CANTOS ACANALADOS									
Amplitud Junta (mm)	Confinam. Cámara	Ensayo CON AGUA Y VIENTO				Ensayo CON AGUA			
		Agua Proyectada (litros) t: 24 min	Agua Infiltrada (litros)	Agua Infiltrada / Agua Proyectada (%)	Caudal de Infiltración (l/min)	Agua Proyectada (litros) t: 10 min	Agua Infiltrada (litros)	Agua Infiltrada / Agua Proyectada (%)	Caudal de Infiltración (l/min)
Ensayo a 5 mm									
5	No Conf.	141,3	65,91	46,63%	2,75	58,8	5,18	8,81%	0,59
5	Confinada	141,3	13,77	9,74%	0,57	59,2	5,60	9,46%	0,59
Ensayo a 7,5 mm									
7,5	No Conf.	142,3	61,90	43,49%	2,58	59,1	14,66	24,81%	0,59
7,5	Confinada	140,8	34,88	24,76%	1,45	58,7	14,68	25,01%	0,59
Ensayo a 10 mm									
10	No Conf.	141,8	54,80	38,64%	2,28	58,9	14,66	24,89%	0,59
10	Confinada	142,3	34,84	24,48%	1,45	59,1	14,52	24,57%	0,59

Tabla 5.2.1-1. Datos de los ensayos para junta horizontal de cantos acanalados.

Cuando hay proyección de agua y presión de viento, con los cantos acanalados se producen infiltraciones elevadas, y son mayores cuanto menor es la amplitud de la junta horizontal cuando la cámara está no confinada.

Sin embargo en los ensayos en los que se proyecta sólo agua, la infiltración aumenta con la amplitud de junta.

En las siguientes figuras se analizan comparativamente las distintas condiciones ensayadas.

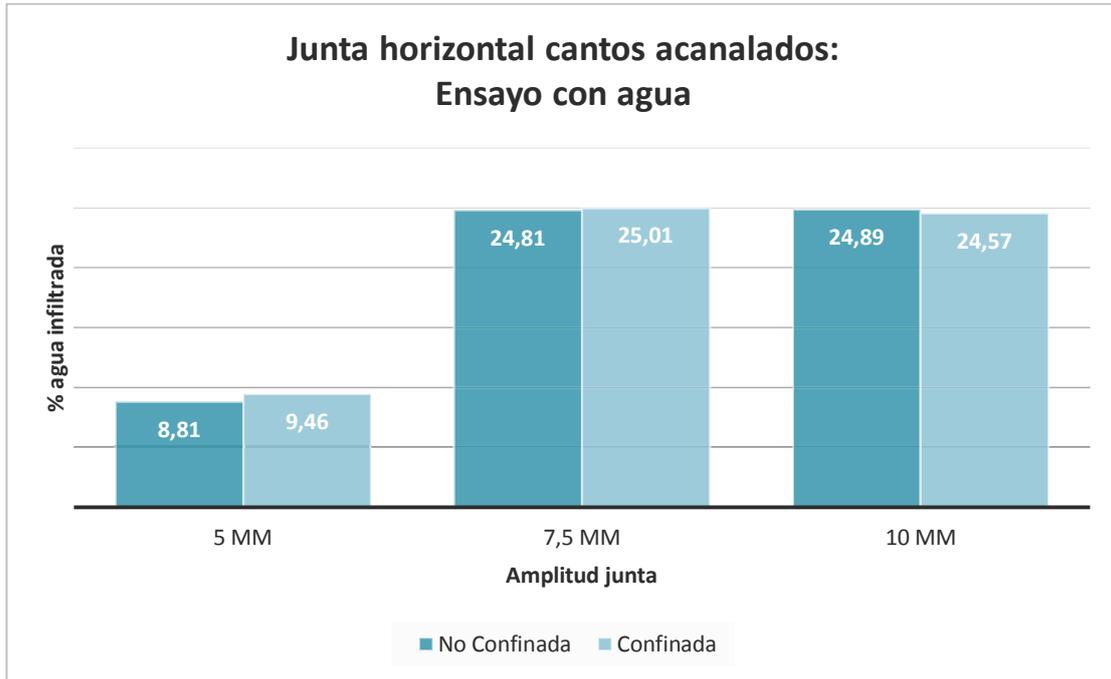


Figura 5.2.1-2. Porcentaje de agua infiltrada para cámara no confinada y confinada de cantos acanalados con proyección de agua.

Con proyección de agua solamente, la infiltración es considerablemente más elevada que con cantos rectos. A priori esto no debería ser así pues el canal superior hace de goterón, pero se supone que el agua que gotea del canal superior se introduce en el canal inferior y al desaguar por sus extremos parte de esta agua se deriva a la cámara. También llama la atención el hecho de que los porcentajes de infiltración con la cámara confinada sean muy similares a los obtenidos con la cámara no confinada.

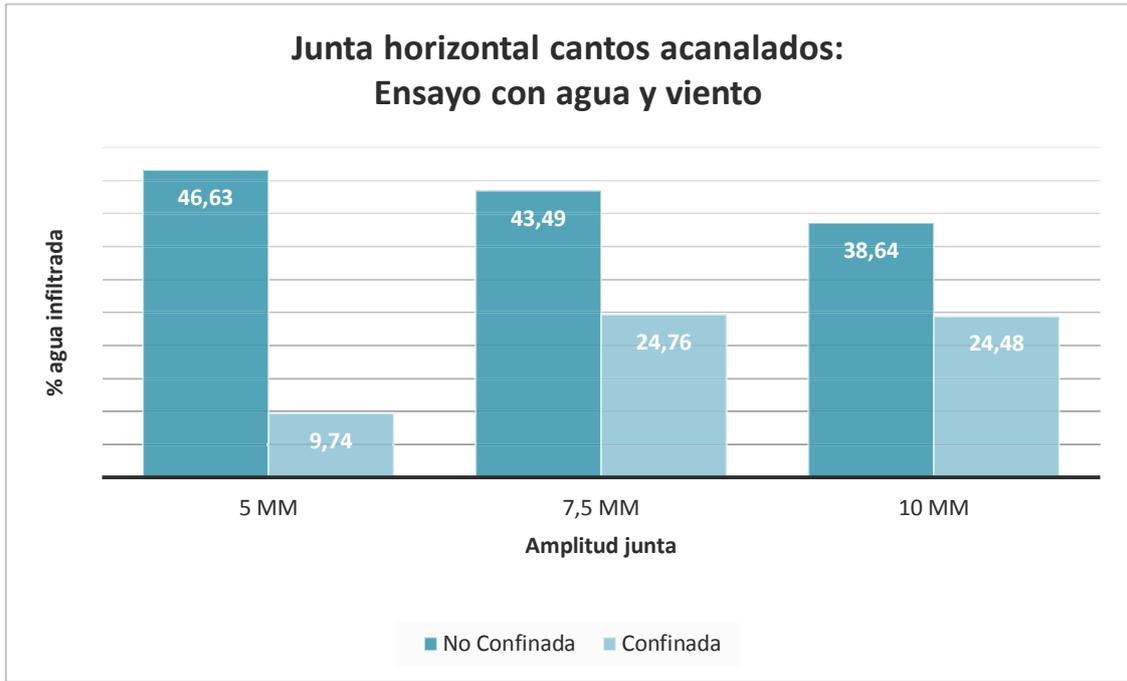


Figura 5.2.1-3. Porcentaje de agua infiltrada para cámara no confinada y confinada de cantos acanalados con proyección de agua y viento.

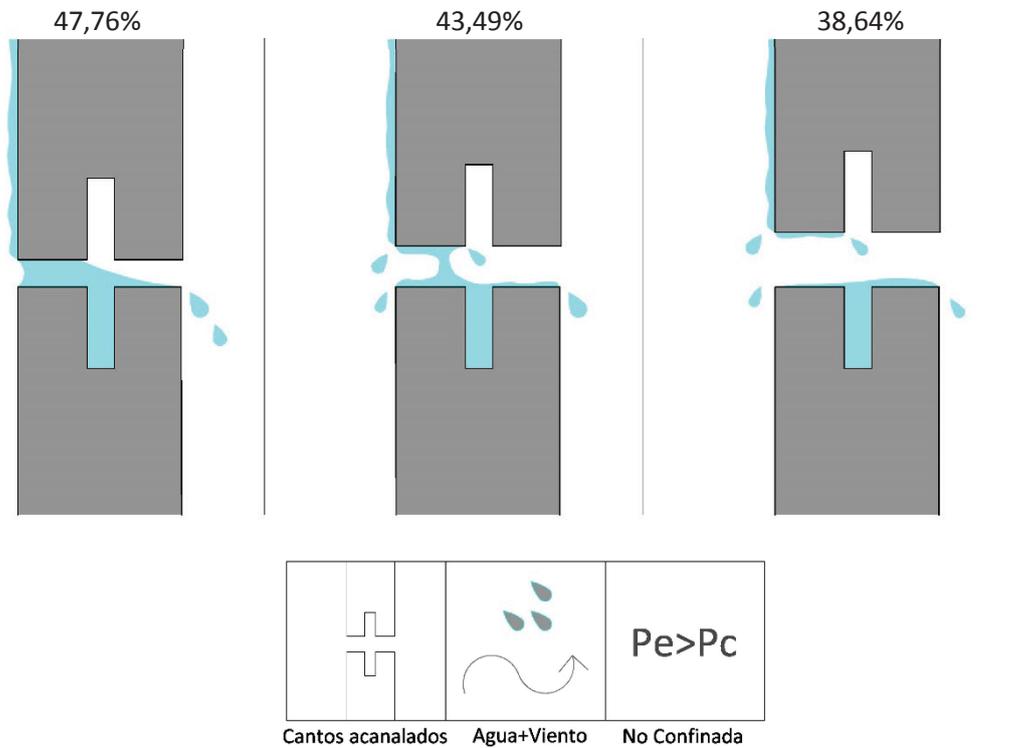


Figura 5.2.1-4. Esquema interpretativo de entrada de agua por la junta horizontal con cantos acanalados en fachadas con la cámara no confinada sometidas a agua y viento.

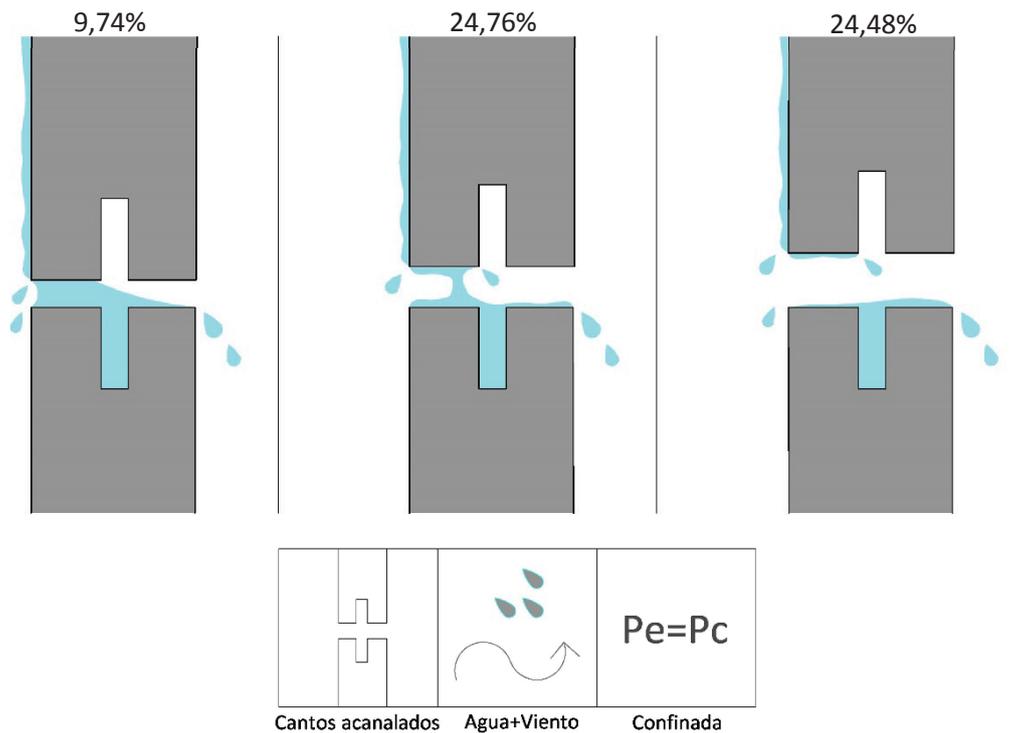


Figura 5.2.1-5. Esquema interpretativo de entrada de agua por la junta horizontal de cantos acanalados en fachadas con la cámara confinada para ensayo con agua y viento.

En el ensayo con proyección de agua y viento se produce una tasa elevada de infiltración, inversamente proporcional a la amplitud de la junta, es decir, a mayor amplitud de junta menos agua entra. En el banco de pruebas, la presión de viento en la cara externa del aplacado se consigue insuflando aire mediante una bomba. El sistema mantiene las tasas de presión insuflando tanto aire como se exfiltra en la fachada ensayada. Ese caudal de aire exfiltrado por la junta producirá un flujo de aire inversamente proporcional a su amplitud (el flujo a través de una junta de 5 mm será el doble que a través de una junta de 10 mm). Esto explica por qué la infiltración en juntas de 5 mm sean mayores que en las de 7.5 y éstas a su vez tengan mayores infiltraciones que en las de 10 mm.

De igual modo ocurre con la cámara confinada, si bien la proporción con respecto a los ensayos con cámara no confinada disminuye considerablemente.

En la figura siguiente se recogen los resultados obtenidos con la cámara confinada.

En este caso llama la atención que los valores de infiltración con proyección de agua y los de infiltración con agua y viento, son muy similares, llegándose a alcanzar valores próximos al 25%.

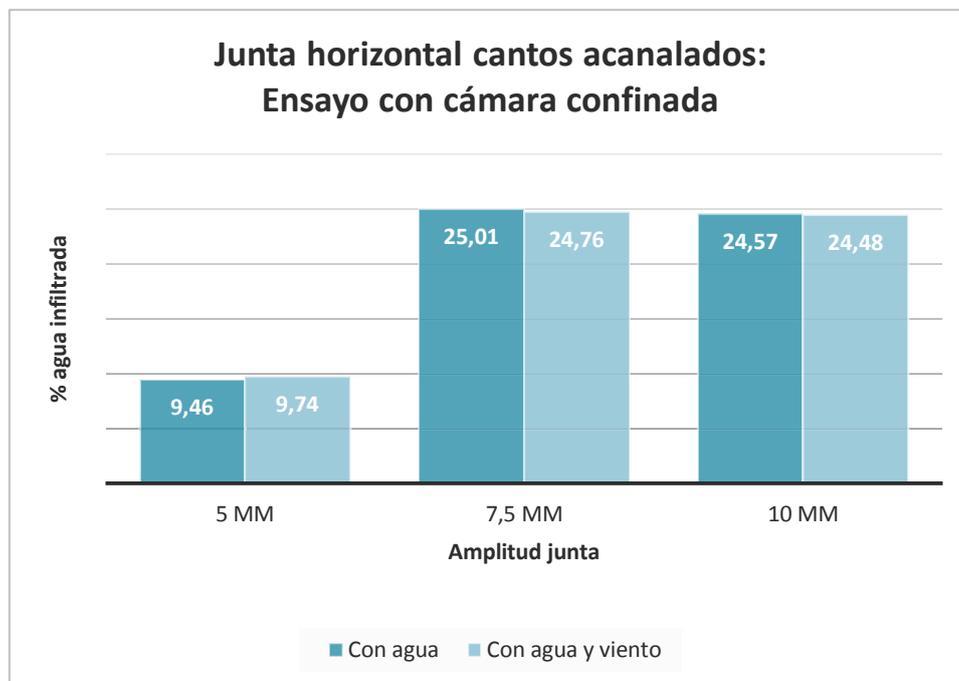


Figura 5.2.1-6. Porcentaje de agua infiltrada para proyección de sólo agua o agua y viento con cantos acanalados y cámara confinada.

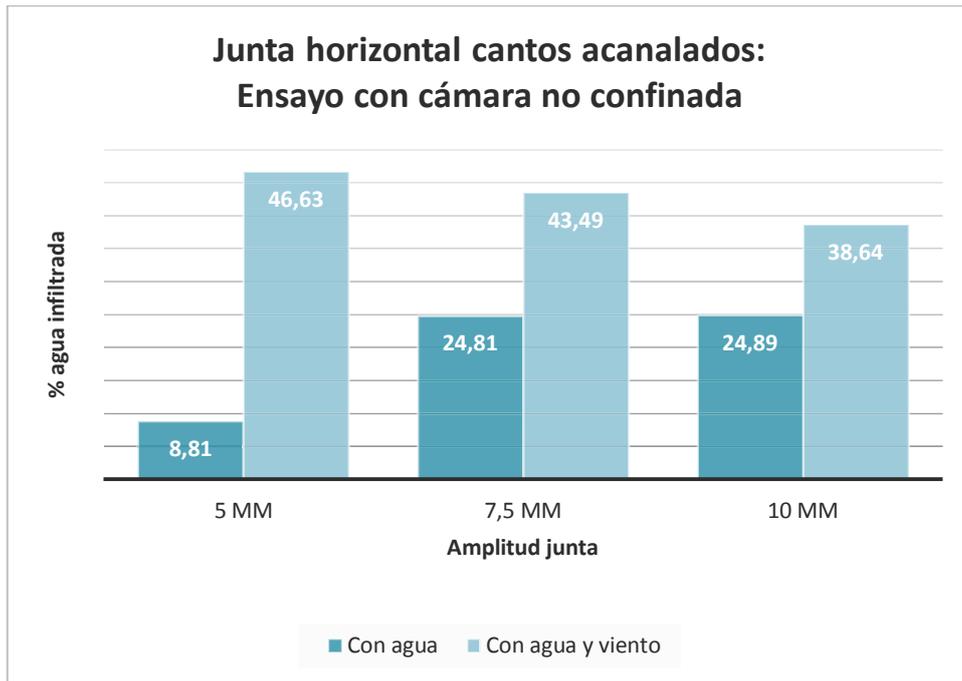


Figura 5.2.1-7. Porcentaje de agua infiltrada para proyección de sólo agua o agua y viento con cantos acanalados y cámara no confinada.

Con la cámara no confinada, como es de esperar, se alcanzan los máximos porcentajes de infiltración. Destacamos que con este diseño y proyección de sólo agua se llega al 25% de infiltración, que es superior al obtenido con cantos rectos (menor del 21%).

5.2.2. Conclusiones parciales

Comparando los resultados obtenidos para este diseño de canto con los de cantos rectos se obtiene mayor porcentaje de infiltración para cualquiera de los 12 casos ensayados.

Es por ello que podemos concluir que con cantos acanalados no mejoran los resultados de infiltración por la junta horizontal obtenidos con cantos rectos en fachadas ventiladas de piedra.

5.3. Ensayos con junta horizontal de cantos biselados

Este tipo de junta horizontal aporta una forma sencilla y económica de mejorar el canto recto, ya que no se desperdicia material ni se incrementa el número de cortes por pieza para poder realizar el biselado o corte inclinado con respecto a la solución básica de los cantos rectos.

Como se observa en la siguiente figura se practica un corte a 15 grados del plano horizontal de los cantos de las placas

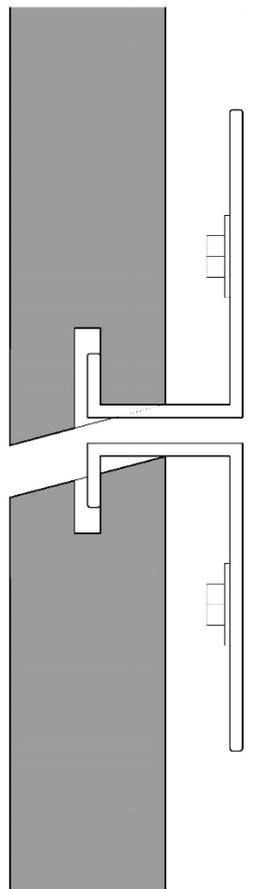


Figura 5.3-1. Detalle de junta horizontal con cantos biselados.

5.3.1. Resultados e interpretación

En la tabla 5.3.1-1 se recogen los resultados obtenidos en los ensayos para los 12 casos definidos en la metodología con cantos biselados.

JUNTA DE CANTOS BISELADOS									
Amplitud Junta (mm)	Confinam. Cámara	Ensayo CON AGUA Y VIENTO				Ensayo CON AGUA			
		Agua Proyectada (litros) t: 24 min	Agua Infiltrada (litros)	Agua Infiltrada / Agua Proyectada (%)	Caudal de Infiltración (l/min)	Agua Proyectada (litros) t: 10 min	Agua Infiltrada (litros)	Agua Infiltrada/ Agua Proyectada (%)	Caudal de Infiltración (l/min)
Ensayo a 5 mm									
5	No Conf.	138,7	63,08	45,47%	2,63	57,6	0,60	1,04%	0,58
5	Confinada	139,2	1,05	0,75%	0,04	58,0	0,44	0,76%	0,58
Ensayo a 7,5 mm									
7,5	No Conf.	138,4	53,01	38,28%	2,21	57,7	1,16	2,01%	0,58
7,5	Confinada	138,7	3,00	2,16%	0,13	57,9	1,24	2,14%	0,58
Ensayo a 10 mm									
10	No Conf.	138	38,25	27,72%	1,59	57,7	1,26	2,18%	0,58
10	Confinada	138,9	2,68	1,93%	0,11	57,9	1,30	2,25%	0,58

Tabla 5.3.1-1. Datos de los ensayos para junta horizontal de cantos biselados.

En los ensayos con cantos biselados observamos las mismas dinámicas con respecto al grado de confinamiento de la cámara: cuando existe ecuilibración la infiltración es prácticamente despreciable.

La infiltración es inversamente proporcional a la amplitud de la junta cuando realizamos los ensayos con agua y viento.

A continuación se analizan más pormenorizadamente los resultados de infiltración con cantos biselados.

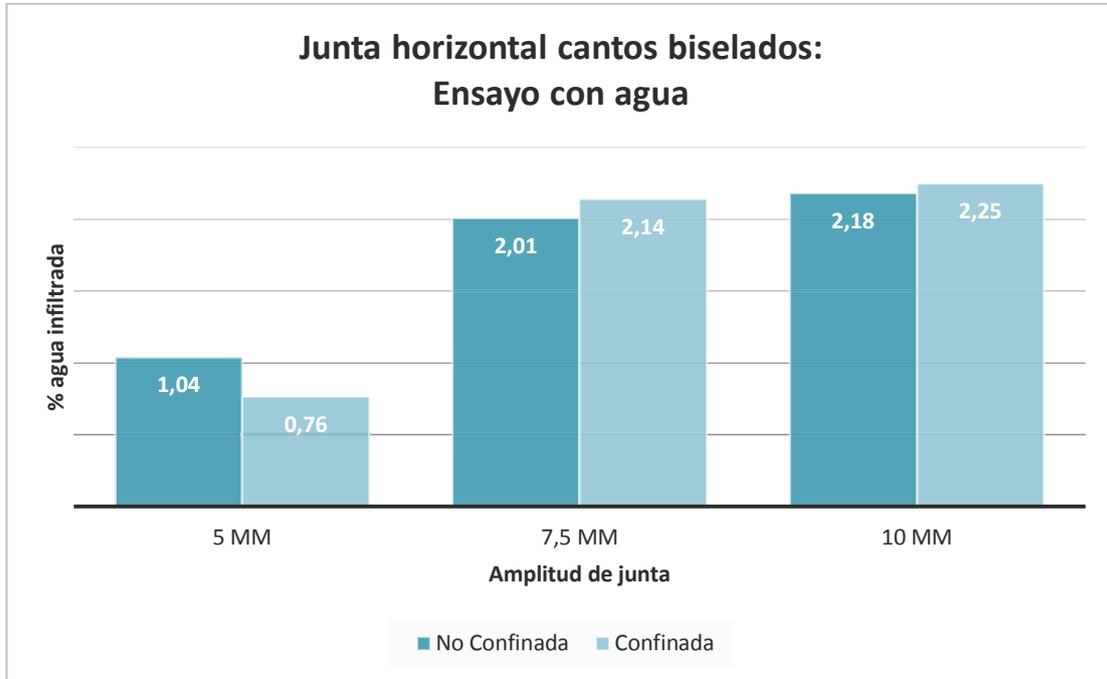


Figura 5.3.1-2. Porcentaje de agua infiltrada para cámara no confinada y confinada de cantos biselados con proyeccion de agua.

Con proyección de sólo agua la infiltración es mínima, y proporcional a la amplitud de junta, habiendo mínimas diferencias entre cámara confinada y sin confinar, ya que es la tensión superficial la única fuerza que actúa, y de hecho la modificación del canto hace que lo haga en poco medida.

En la figura siguiente, con proyección de agua y viento, se observa que apenas entra agua con la cámara confinada y que la infiltración de agua con la cámara no confinada es inversamente proporcional a la amplitud de la junta horizontal.

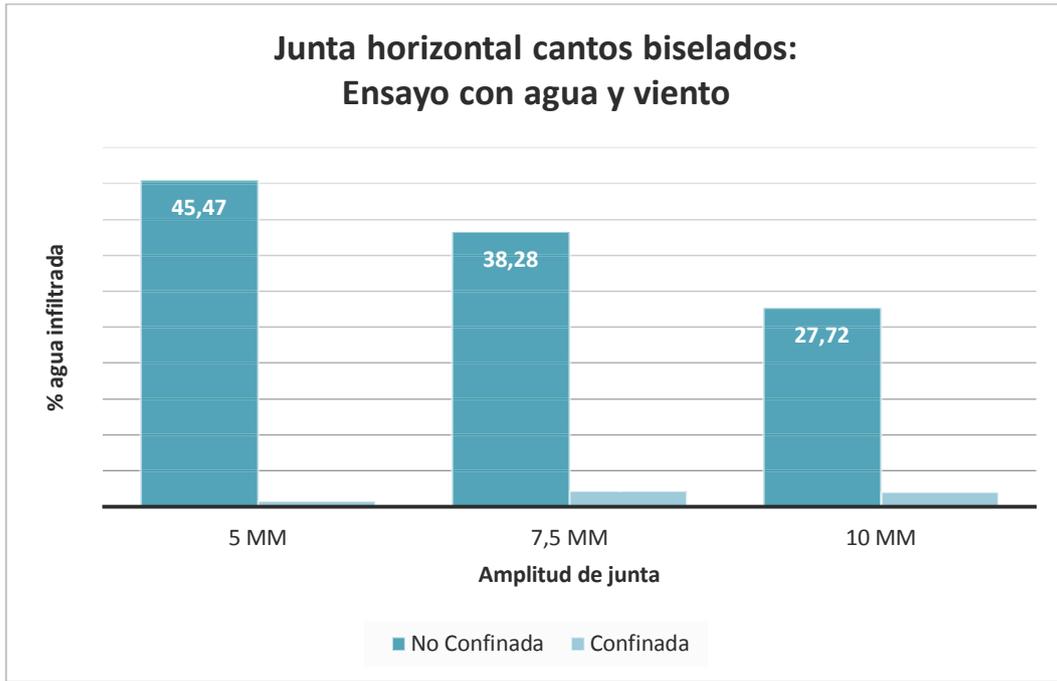


Figura 5.3.1-3. Porcentaje de agua infiltrada para cámara no confinada y confinada de cantos biselados con proyección de agua y viento.

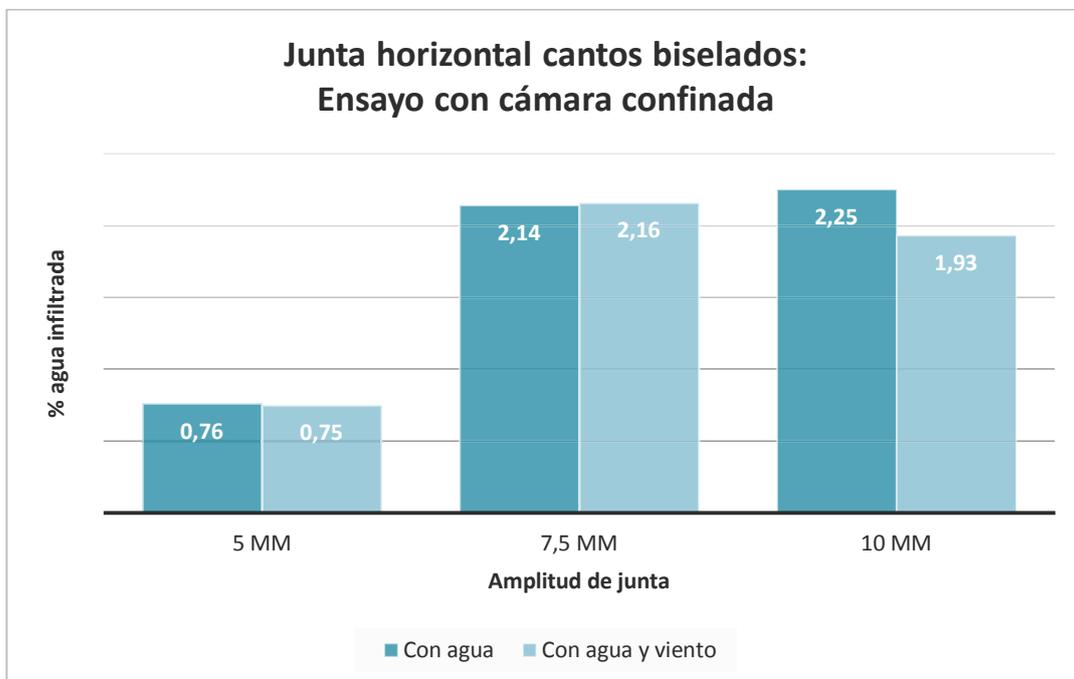


Figura 5.3.1-4. Porcentaje de agua infiltrada para proyección de sólo agua o agua y viento con cantos biselados y cámara confinada.

Con la cámara confinada los valores de infiltración son bajos, dándose muy poca diferencia entre los obtenidos con proyección de agua o con añadiendo presión de viento.

En ningún caso se supera el 3% de infiltración de agua.

En la figura 5.3.1-5 para la amplitud de 5 mm se ve cómo el agua por tensión superficial se introduce en la junta y queda retenida en ella, lo que produce un taponamiento que explica la mínima infiltración de agua con esa amplitud. Al aumentar la separación entre éstas a 7.5 y a 10 mm deja de producirse la obturación de la junta por lo que los valores obtenidos son mayores, y muy aproximados entre sí. De nuevo las tasas de infiltración al confinar la cámara son muy bajas. Con este diseño la infiltración de agua debido a la tensión superficial se reduce considerablemente con respecto al diseño con cantos rectos.

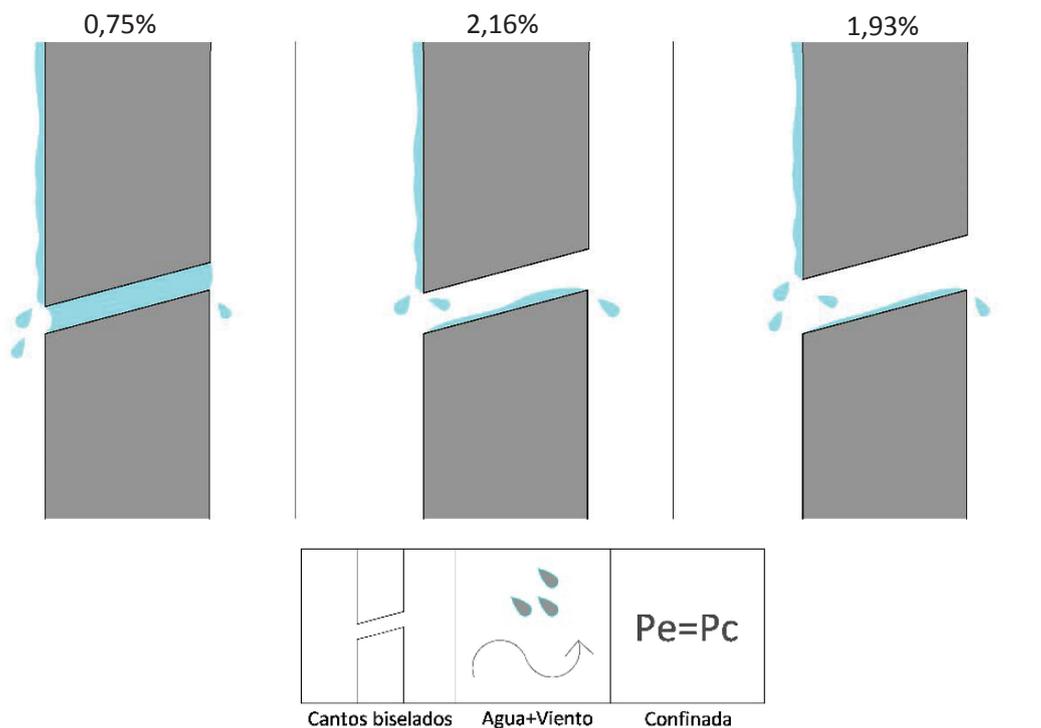


Figura 5.3.1-5. Esquema interpretativo de entrada de agua por la junta horizontal de cantos biselados con cámara confinada para ensayo con agua y viento.

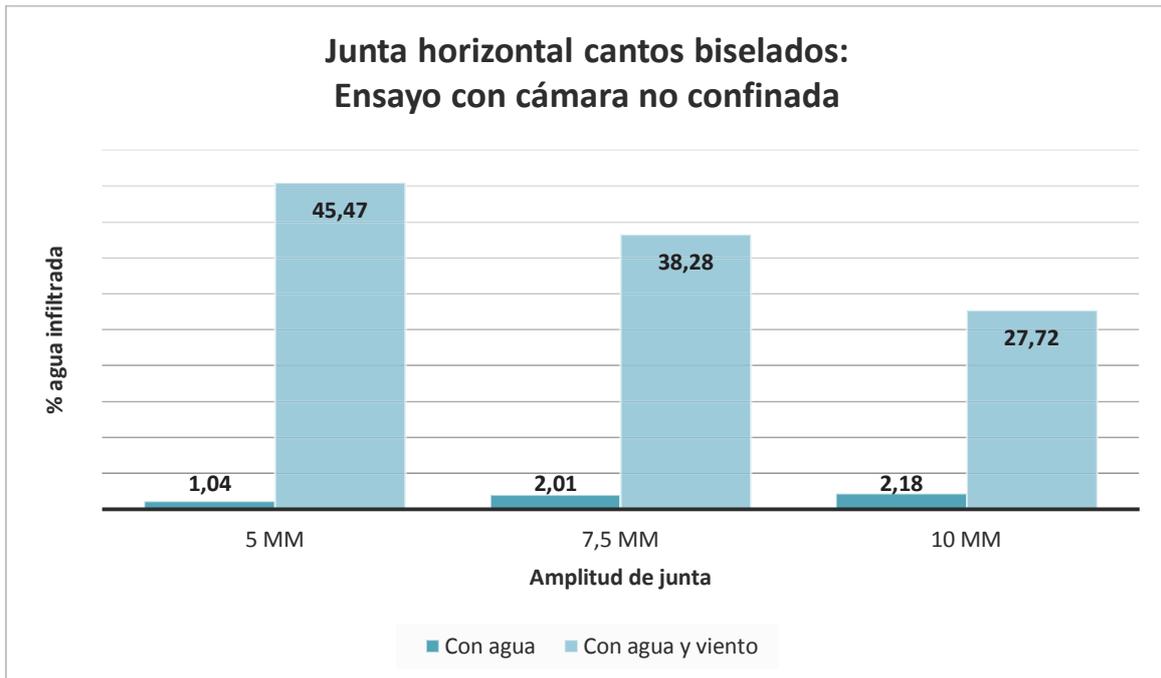


Figura 5.3.1-6. Porcentaje de agua infiltrada para proyección de sólo agua o agua y viento con cantos biselados y cámara no confinada.

En el banco de pruebas, la presión de viento en la cara externa del aplacado se consigue insuflando aire mediante una bomba. El sistema mantiene las tasas de presión insuflando tanto aire como se exfiltra en la fachada ensayada. Ese caudal de aire exfiltrado por cada junta producirá un flujo inversamente proporcional a su amplitud (el flujo a través de una junta de 5 mm será el doble que a través de una junta de 10 mm). Esto explica por qué la infiltración en juntas de 5 mm son mayores que en las de 7.5 y éstas a su vez tengan mayores infiltraciones que en las de 10 mm.

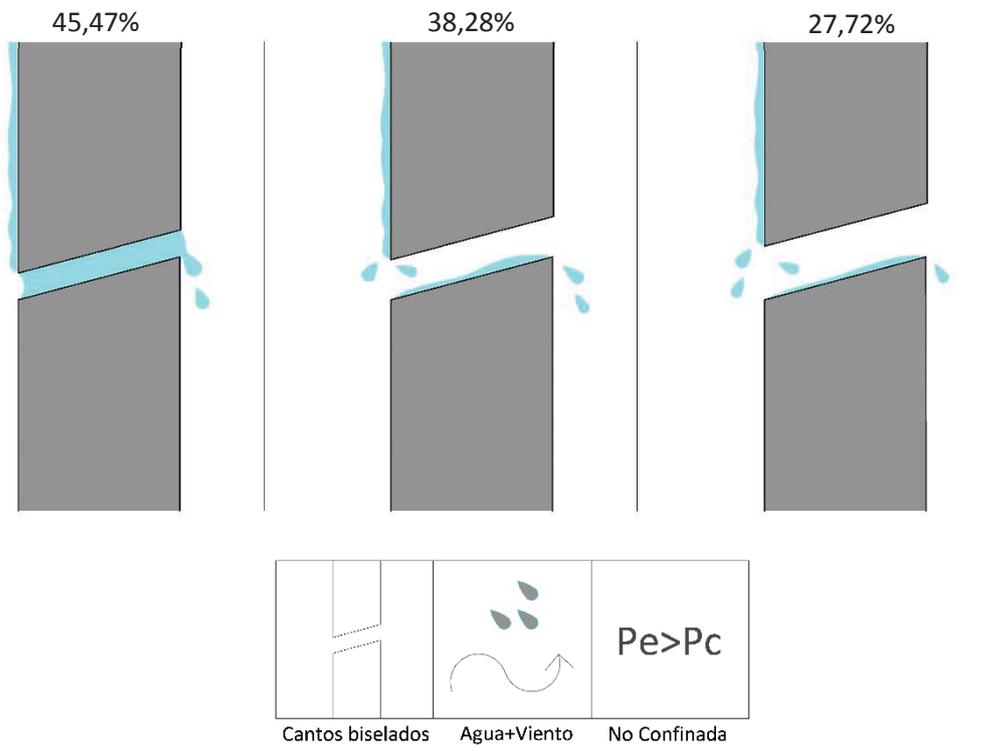


Figura 5.3.1-7. Esquema interpretativo de entrada de agua por la junta horizontal de cantos biselados en fachadas con la cámara no confinada para ensayo con agua y viento.

5.3.2. Conclusiones parciales

Para fachadas ventiladas con cantos biselados la infiltración menor se consigue con juntas de 10 mm de amplitud.

Si comparamos los promedios de infiltración obtenidos para el diseño de cantos biselados con el de cantos rectos podemos ver que mejora los resultados en todas las situaciones excepto para proyección de agua y viento con la cámara no confinada. En este caso sólo se obtienen mejores resultados para la amplitud de junta de 10 mm.

5.4. Ensayos con junta horizontal de cantos rebajados

La junta horizontal de cantos rebajados se consigue realizando un corte a media madera a cada placa de piedra, a modo de unión machihembrada, como se muestra en la figura siguiente.

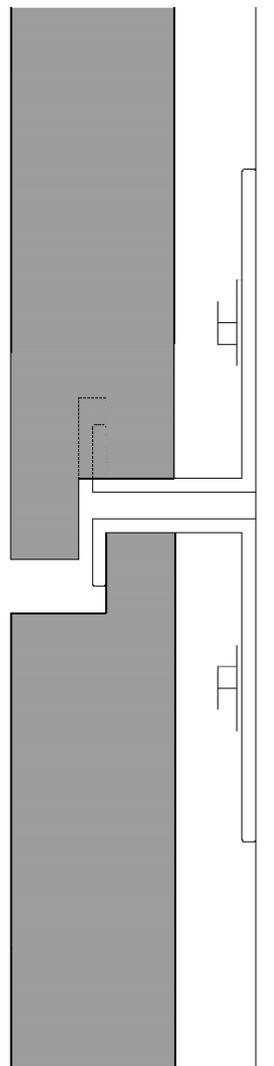


Figura 5.4-1. Detalle de junta horizontal de cantos rebajados.

5.4.1. Resultados e interpretación

En la tabla 5.4.1-1 se recogen los resultados obtenidos en los ensayos para los 12 casos definidos en la metodología con cantos rebajados.

JUNTA DE CANTOS REBAJADOS									
Amplitud Junta (mm)	Confinam. Cámara	Ensayo CON AGUA Y VIENTO				Ensayo CON AGUA			
		Agua Proyectada (litros) t: 24 min	Agua Infiltrada (litros)	Agua Infiltrada / Agua Proyectada (%)	Caudal de Infiltración (l/min)	Agua Proyectada (litros) t: 10 min	Agua Infiltrada (litros)	Agua Infiltrada/ Agua Proyectada (%)	Caudal de Infiltración (l/min)
Ensayo a 5 mm									
5	No Conf.	140,1	44,82	31,98%	1,87	57,9	0,4	0,69%	0,58
5	Confinada	140,8	0,34	0,24%	0,01	57,7	0,4	0,69%	0,58
Ensayo a 7,5 mm									
7,5	No Conf.	139,4	48,34	34,67%	2,01	58,6	0	0,00%	0,59
7,5	Confinada	139,4	0,52	0,37%	0,02	58,2	0	0,00%	0,58
Ensayo a 10 mm									
10	No Conf.	139,2	47,19	33,90%	1,97	58,2	0,33	0,57%	0,58
10	Confinada	140,6	0,58	0,41%	0,02	58,9	0	0,00%	0,59

Tabla 5.4.1-1. Datos de los ensayos para junta horizontal de cantos rebajados.

Los cantos rebajados sometidos sólo a proyección de agua tienen una tasa de infiltración muy baja, próxima al 0%. Algo semejante ocurre cuando la cámara está confinada y se ensaya a viento y agua.

En ensayos con proyección de agua y viento con la cámara no confinada los resultados para las distintas amplitudes de junta son muy similares.

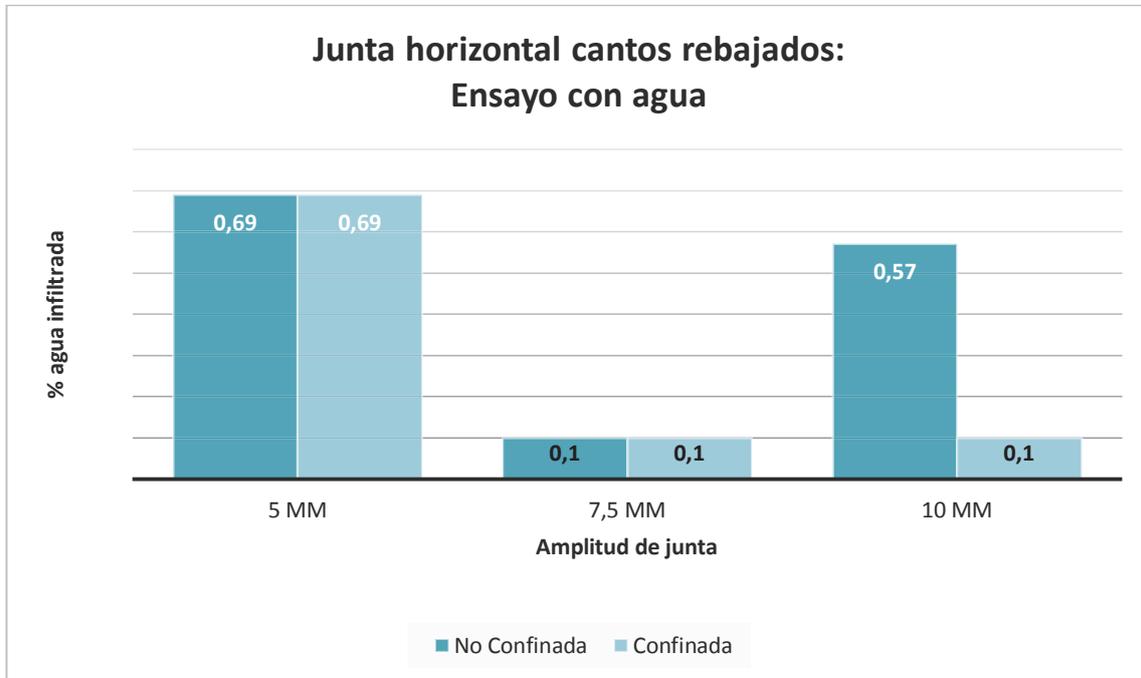


Figura 5.4.1-2. Porcentaje de agua infiltrada para cámara no confinada y confinada de cantos rebajados con proyección de agua.

En el ensayo con sólo agua la infiltración es casi nula. El diseño del canto anula la tensión superficial para todas las amplitudes de junta de forma concluyente.

En la siguiente figura se evidencia la efectividad de esta solución para cámara confinada, y que a diferentes amplitudes los ensayos con proyección de agua y viento son muy similares.

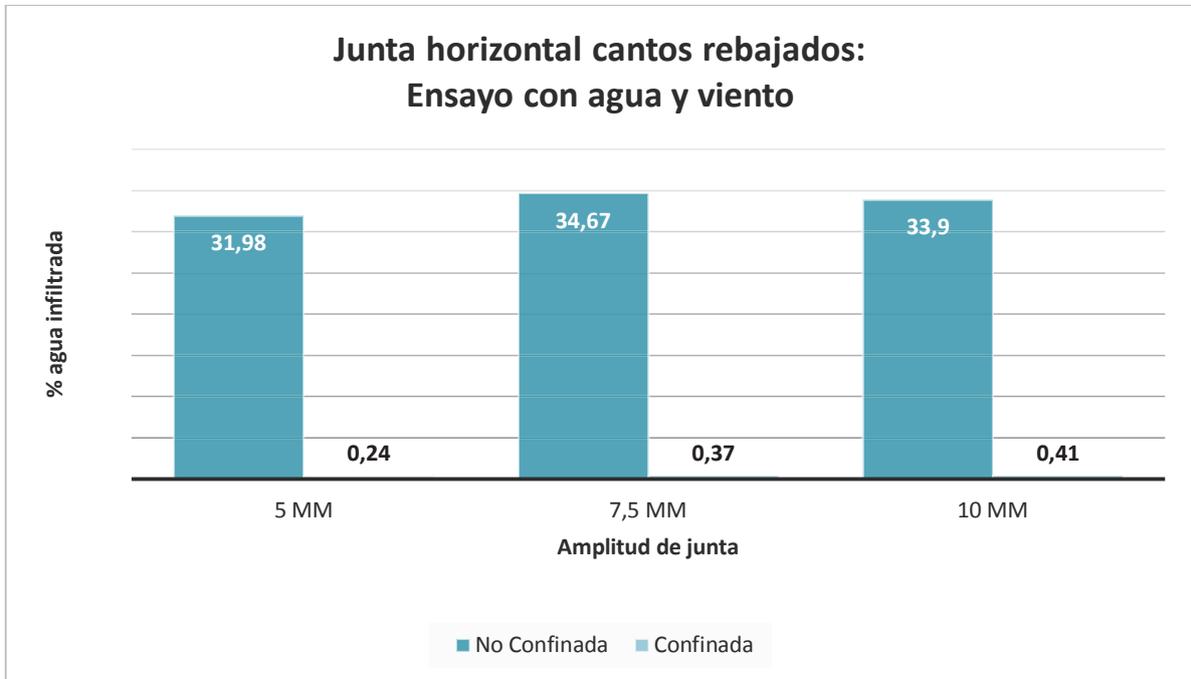


Figura 5.4.1-3. Porcentaje de agua infiltrada para cámara no confinada y confinada de cantos rebajados con proyección de agua y viento.

En las siguientes figuras se esquematiza cómo el agua penetra en la cámara para las diferentes amplitudes de junta.

Con la cámara confinada la infiltración es prácticamente nula para este diseño de cantos.

Cuando la cámara está no confinada se vuelve a dar el taponamiento para 5 mm de amplitud, que hace que la infiltración sea ligeramente menor que con 7.5 y 10 mm.

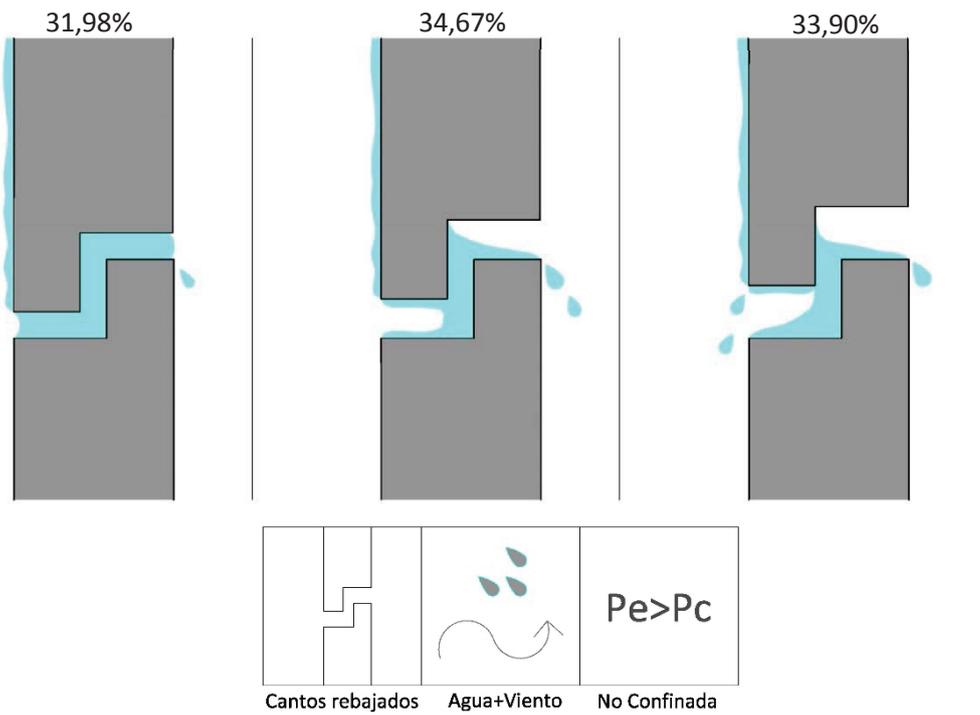


Figura 5.4.1-4. Esquema interpretativo de entrada de agua por la junta horizontal de cantos rebajados en fachadas con la cámara no confinada con proyección de agua y viento.

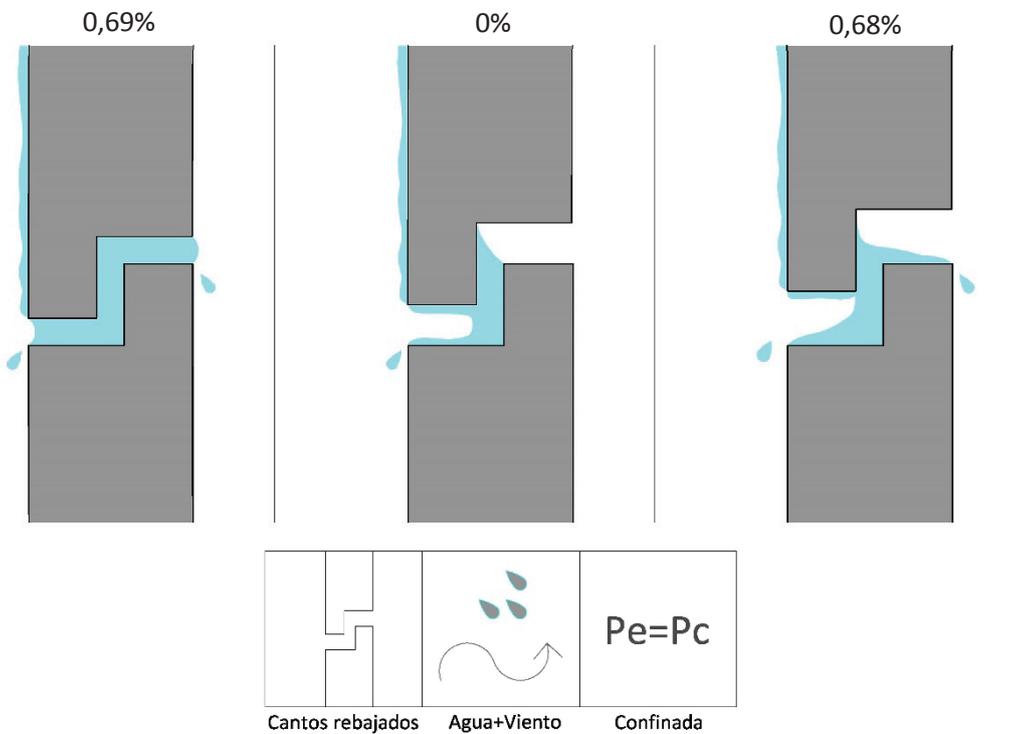


Figura 5.4.1-5. Esquema interpretativo de entrada de agua por la junta horizontal con cantos rebajados en fachadas con la cámara confinada con proyección de agua y viento.

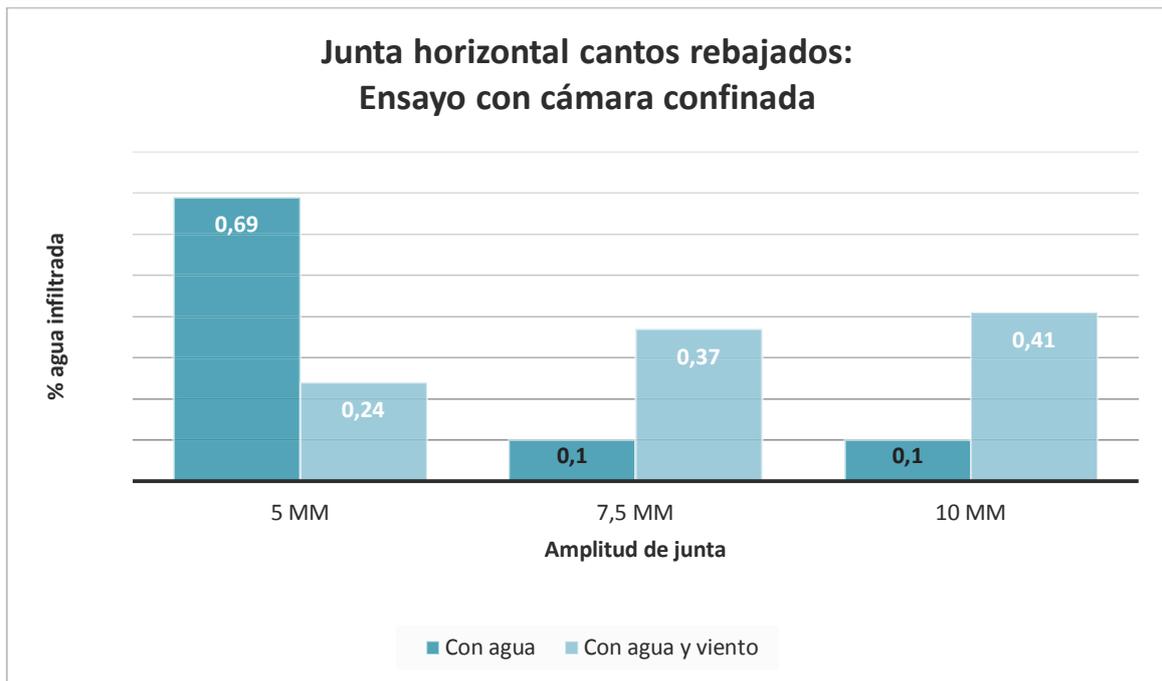


Figura 5.4.1-6. Porcentaje de agua infiltrada para proyección de sólo agua o agua y viento con cantos rebajados y cámara confinada.

La cámara confinada con cantos rebajados ofrece muy buenas prestaciones contra la infiltración de agua, llegando prácticamente a anularla.

Cuando la cámara de aire no está confinada se observa que la infiltración de agua aumenta considerablemente con respecto al caso anterior. Por otra parte en esa circunstancia la infiltración de agua se mantiene prácticamente constante con independencia de la abertura de la junta horizontal.

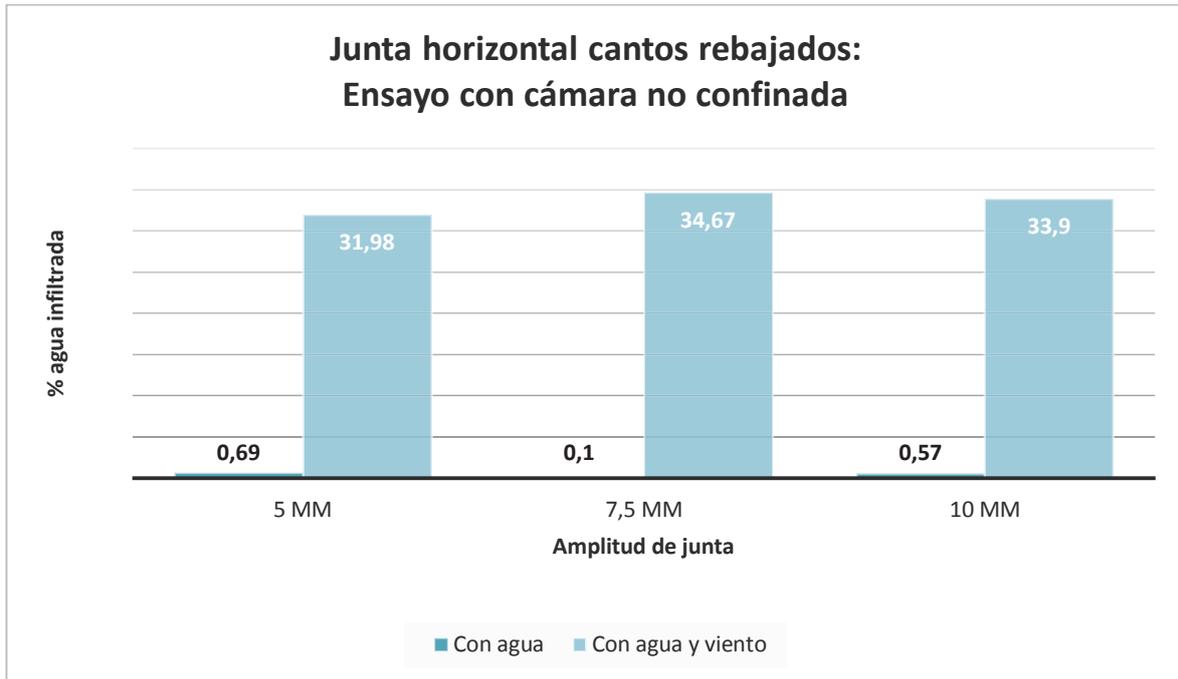


Figura 5.4.1-7. Porcentaje de agua infiltrada para proyección de sólo agua o agua y viento con cantos rebajados y cámara no confinada.

Con proyección de agua la tasa de infiltración se puede considerar despreciable, al igual que en el caso en que la cámara está confinada.

5.4.2. Conclusiones parciales

Si comparamos los resultados de cantos rebajados con cantos rectos podemos concluir que en el caso de cámara no confinada no se consigue una mejora significativa en la tasa de infiltración. Por el contrario, cuando la cámara está confinada la tasa de infiltración es sólo del 0,34% frente al 13,22% de los cantos rectos.

5.5. Comparación de resultados para todos los diseños de canto

En este apartado hacemos una comparación de los resultados de infiltración obtenidos para cada uno de los diseños de cantos horizontales y así poder determinar la mejor solución constructiva. Estos resultados se ordenan primeramente atendiendo al grado de confinamiento de la cámara: cámara no confinada, equivalente a fachadas ventiladas básicas, y cámara confinada, equivalente a fachadas ventiladas con ecualización de presión.

Recordamos a continuación los objetivos a alcanzar en este capítulo:

- d. Cuantificar el agua que se infiltra por las juntas horizontales en relación con la amplitud de éstas.
- e. Relacionar dicha información con los diferentes grados de confinamiento de la cámara.
- f. Comparar los resultados de cantidad de agua infiltrada para cada uno de los distintos diseños y amplitudes de junta.
- g. Determinar si existe algún diseño de canto de aplacados de piedra que minimice la entrada de agua por las juntas.

5.5.1. Fachadas ventiladas con cámara no confinada

En la tabla 5.5.1-1 se recogen los resultados de los ensayos realizados para todos los diseños de cantos con la cámara no confinada.

INFILTRACIÓN DE AGUA EN FACHADAS CON CÁMARA NO CONFINADA								
Tipo de canto	Amplitud Junta (mm)	Ensayo CON AGUA			Ensayo CON AGUA Y VIENTO			
		Agua Proyectada (litros) t: 10 min	Agua Infiltrada (litros)	Agua Infiltrada / Agua Proyectada (%)	Agua Proyectada (litros) t: 24 min	Agua Infiltrada (litros)	Caudal de Infiltración (l/min)	Agua Infiltrada/ Agua Proyectada (%)
 rectos	5	64,8	5,7	8,80%	156,2	52,5	2,19	33,60%
	7,5	64,1	7,3	11,39%	153,8	53,08	2,21	34,50%
	10	63,5	13,26	20,88%	152,6	53,61	2,23	35,12%
	Promedio:			13,69%	Promedio:			34,41%
 acanalados	5	58,8	5,18	8,81%	138	65,91	2,75	47,76%
	7,5	59,1	14,66	24,81%	142,3	61,9	2,58	43,49%
	10	58,9	14,66	24,89%	141,8	54,8	2,28	38,64%
	Promedio:			19,50%	Promedio:			43,30%
 biselados	5	57,6	0,6	1,04%	138,7	63,08	2,63	45,47%
	7,5	57,7	1,16	2,01%	138,4	53,01	2,21	38,28%
	10	57,7	1,26	2,18%	138	38,25	1,59	27,72%*
	Promedio:			1,75%	Promedio:			37,16%
 rebajados	5	57,9	0,4	0,69%	140,1	44,82	1,87	31,98%
	7,5	58,6	0	0,00%	139,4	48,34	2,01	34,67%
	10	58,2	0,33	0,57%	139,2	47,19	1,97	33,90%
	Promedio:			0,42%	Promedio:			33,52%**

*Valor mínimo obtenido. **Promedio mínimo obtenido.

Tabla 5.5.1-1. Resumen de datos obtenidos de infiltración de agua por las juntas horizontales de diversos cantos en fachadas ventiladas con cámara no confinada.

A la vista de los resultados mostrados en la tabla resumen, queda demostrado que el diseño de cantos rebajados tiene el mejor porcentaje promedio de agua infiltrada frente a la proyectada.

Asimismo para el caso concreto en que la amplitud de las juntas es de 10 mm el diseño que menor porcentaje de infiltración tiene es el de cantos biselados.

5.5.2. Fachadas ventiladas con cámara confinada

En la tabla siguiente se recogen los resultados de los ensayos realizados para todos los diseños de cantos con la cámara confinada: cantos rectos, tomados como referencia inicial, y cantos modificados.

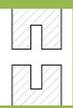
INFILTRACIÓN DE AGUA EN FACHADAS CON CÁMARA CONFINADA								
Tipo de canto	Amplitud Junta (mm)	Ensayo CON AGUA			Ensayo CON AGUA Y VIENTO			
		Agua Proyectada (litros) t: 10 min	Agua Infiltrada (litros)	Agua Infiltrada / Agua Proyectada (%)	Agua Proyectada (litros) t: 24 min	Agua Infiltrada (litros)	Caudal de Infiltración (l/min)	Agua Infiltrada / Agua Proyectada (%)
 rectos	5	64,9	3,72	5,73%	154,8	12,88	0,54	8,32%
	7,5	64,2	6,24	9,72%	152,4	16,4	0,68	10,76%
	10	63,7	13,06	20,50%	152,4	31,38	1,31	20,59%
	Promedio:			11,98%	Promedio:			13,22%
 acanalados	5	59,2	5,6	9,46%	141,3	13,77	0,57	9,74%
	7,5	58,7	14,68	25,01%	140,8	34,88	1,45	24,76%
	10	59,1	14,52	24,57%	142,3	34,84	1,45	24,48%
	Promedio:			19,68%	Promedio:			19,66%
 biselados	5	58,0	0,44	0,76%	139,2	1,05	0,04	0,75%
	7,5	57,9	1,24	2,14%	138,7	3	0,13	2,16%
	10	57,9	1,3	2,25%	138,9	2,68	0,11	1,93%
	Promedio:			1,72%	Promedio:			1,62%
 rebajados	5	57,7	0,4	0,69%	140,8	0,34	0,01	0,24%
	7,5	58,2	0	0,00%	139,4	0,52	0,02	0,37%
	10	58,9	0,4	0,68%	140,6	0,58	0,02	0,41%
	Promedio:			0,46%	Promedio:			0,34%

Tabla 5.5.2-1. Resumen de datos obtenidos de infiltración de agua por las juntas horizontales de diversos cantos en fachadas ventiladas con cámara confinada.

A la vista de estos resultados la infiltración que se produce con la cámara confinada con proyección de sólo lluvia es muy similar a la que se obtiene con lluvia y viento.

El diseño de cantos rebajados es el que tiene el mínimo porcentaje de infiltraciones (en torno al 0.34% del agua proyectada), seguido del diseño de cantos biselados, con un porcentaje promedio de infiltración de 1.62%, con proyección de agua y viento.

5.6. Conclusiones de capítulo

En la figura 5.6-1 se compara la infiltración de agua en la cámara de aire cuando la fachada está sometida a proyección de agua y viento y la cámara está no confinada, que es la situación más común, en función del diseño de la junta horizontal y para las distintas amplitudes de junta.

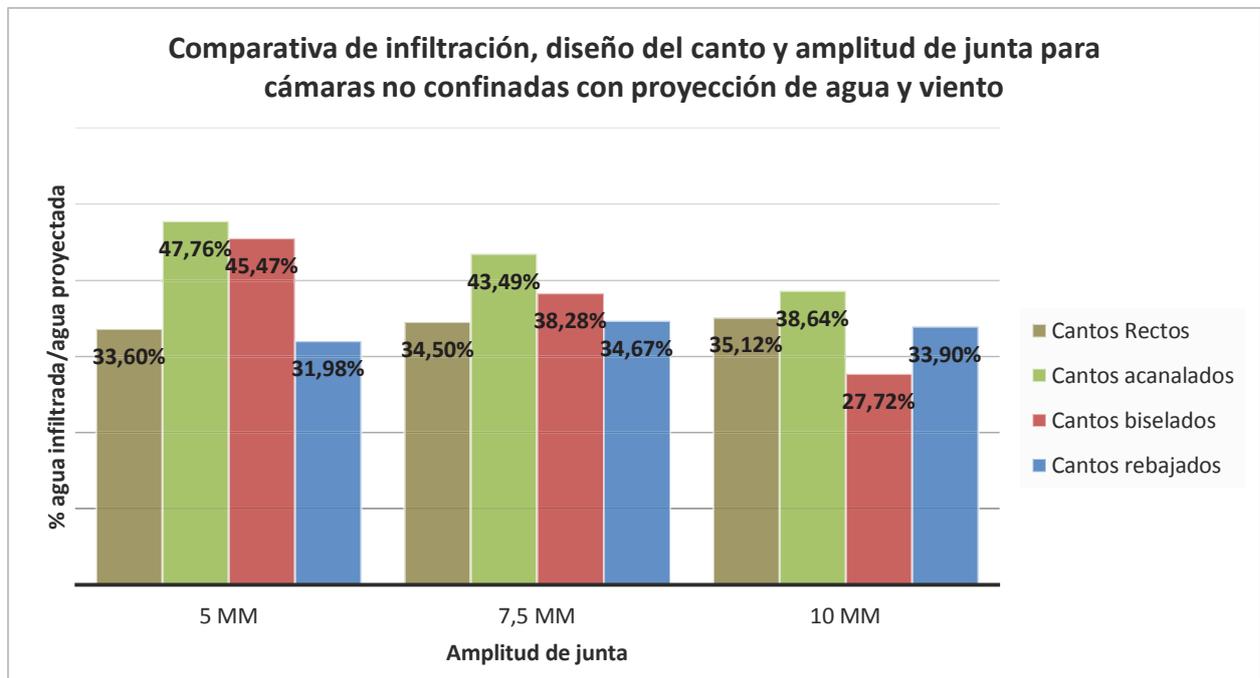


Figura 5.6-1. Diagrama comparativo de infiltración de agua por junta horizontal con distintos tipos de canto, amplitud de junta y con cámara no confinada para ensayos con agua y viento.

De los datos obtenidos se puede concluir que la entrada de agua por la junta horizontal de un aplacado de piedra ventilado varía en función del diseño de los cantos de dicha junta.

En el caso de presencia de proyección de agua y viento, para una amplitud de 5 y 7.5 mm, el diseño más favorable resulta el de cantos rebajados, mientras que para 10 mm es el de cantos biselados. Para todas las amplitudes de junta horizontal, el diseño con cantos acanalados es el que mayor infiltración de agua produce.

En la figura 5.6-2 se compara la infiltración de agua en la cámara de aire cuando la fachada está sometida a proyección de agua y viento y la cámara está confinada, en función del diseño de la junta horizontal y para las distintas amplitudes de junta.

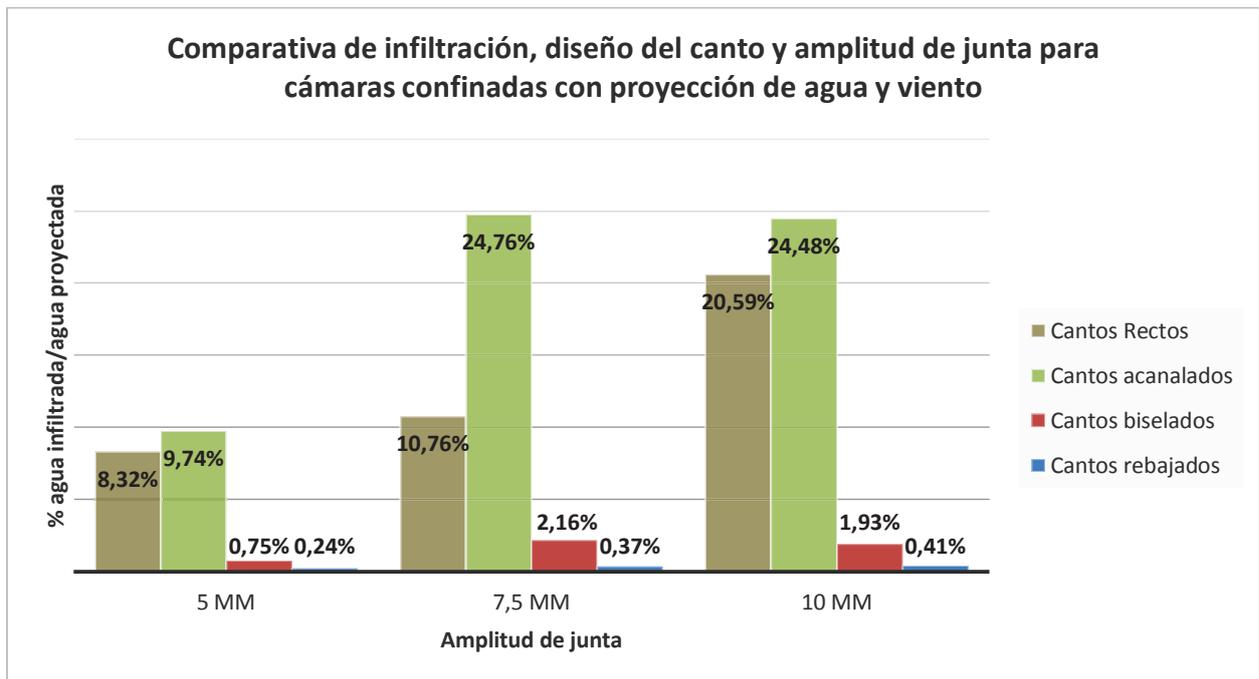


Figura 5.6-2. Diagrama comparativo de infiltración de agua por junta horizontal con distintos tipos de canto, amplitud de junta y con cámara confinada para ensayos con agua y viento.

Los diseños de cantos que mejores prestaciones tienen con respecto a la entrada de agua con la cámara confinada son los rebajados, que promedia un valor casi nulo, y biselados, que promedia un 1.62%.

Por lo tanto, concluimos que para que la infiltración de agua sea mínima en una fachada ventilada con aplacados de 3 cm de espesor y sometida a lluvia y viento, la amplitud de junta horizontal debe ser de 10 mm y los cantos de las placas biselados si la cámara no está confinada.

En caso de que sí pueda confinarse la cámara la mejor alternativa sería el diseño de cantos rebajados, o en su defecto, el de cantos biselados, con independencia de la amplitud de la junta para cualquiera de los dos casos.

6 Ensayos combinados para canto vertical recto y varios tipos de canto horizontal

Esta investigación sobre la contribución de la entrada de agua por las juntas horizontales de aplacados ventilados de piedra no estaría completa si no ampliáramos el estudio a una combinación de juntas horizontales y verticales

Como se puede suponer, es a través de la junta horizontal, a priori, por donde se producen las mayores tasas de infiltración de agua, si bien no debemos menospreciar las infiltraciones que se puedan producir por juntas verticales, por pequeñas que éstas puedan ser.

Para cuantificar el agua que se infiltra por las juntas verticales consideramos necesario realizar ensayos en los que además de junta horizontal existan juntas verticales.

Se toman como básicos los ensayos con cantos verticales y horizontales rectos, por ser los comúnmente utilizados.

6.1. Características y parámetros de ajuste del dispositivo

A continuación se ensayan soluciones de los mejores diseños de canto horizontal: biselados y rebajados, en combinación con cantos rectos verticales. Se decide no hacer ensayos con cantos acanalados a la vista de los malos valores de porcentaje de infiltración obtenidos.



Figura 6.1-1. Cara expuesta de la fachada con juntas horizontales y verticales.



Figura 6.1-2. Cara interior de la fachada con juntas horizontales y verticales vista desde la cámara de aire.

Como se muestra en las figuras anteriores se redefine el dispositivo para poder ensayar combinadamente distintos tipos de juntas horizontales con la junta vertical básica, la de cantos rectos.

Por cuestiones de montaje y facilitar la modificación de amplitudes de junta, manteniendo el mismo esquema de casos ensayados que para juntas horizontales, se plantean dos juntas verticales con sus respectivos montantes. Ello implica que el dispositivo de juntas combinadas mantiene las dimensiones pero pasa de dos a seis placas de piedra.

Las distintas amplitudes de junta vertical se conseguirán disponiendo unas ruedecitas en la parte inferior de las placas de la mitad inferior del dispositivo y repitiendo el sistema de mecanización de las uñas para la colocación de la varilla roscada. Únicamente se moverán las piezas laterales, manteniéndose en su sitio las centrales.

Dados los elevados índices de infiltración obtenidos en los ensayos para junta horizontal se decide descartar la combinación con juntas horizontales acanaladas. Es por ello que combinaremos las juntas verticales rectas con la horizontal recta, biselada y rebajada, respectivamente.

La metodología aplicada será análoga a la empleada en los anteriores ensayos, según se ve en la tabla 6.1-3, donde se recogen los casos definidos en la metodología.

CASOS ENSAYADOS PARA JUNTAS COMBINADAS HORIZONTALES Y VERTICALES			
<i>Amplitud de junta</i>	<i>Ventilación cámara</i>	<i>AGUA y VIENTO</i>	<i>Sólo AGUA</i>
5,0 mm	No Confinada	CASO 1	CASO 2
5,0 mm	Confinada	CASO 3	CASO 4
7,5 mm	No Confinada	CASO 5	CASO 6
7,5 mm	Confinada	CASO 7	CASO 8
10,0 mm	No Confinada	CASO 9	CASO 10
10,0 mm	Confinada	CASO 11	CASO 12

Tabla 6.1-3. Casos a ensayar para juntas combinadas horizontales y verticales.

6.2. Ensayos combinados de junta horizontal recta y junta vertical recta

El primer tipo de combinación es el caso más habitual, combinando cantos rectos en las juntas verticales y horizontales.

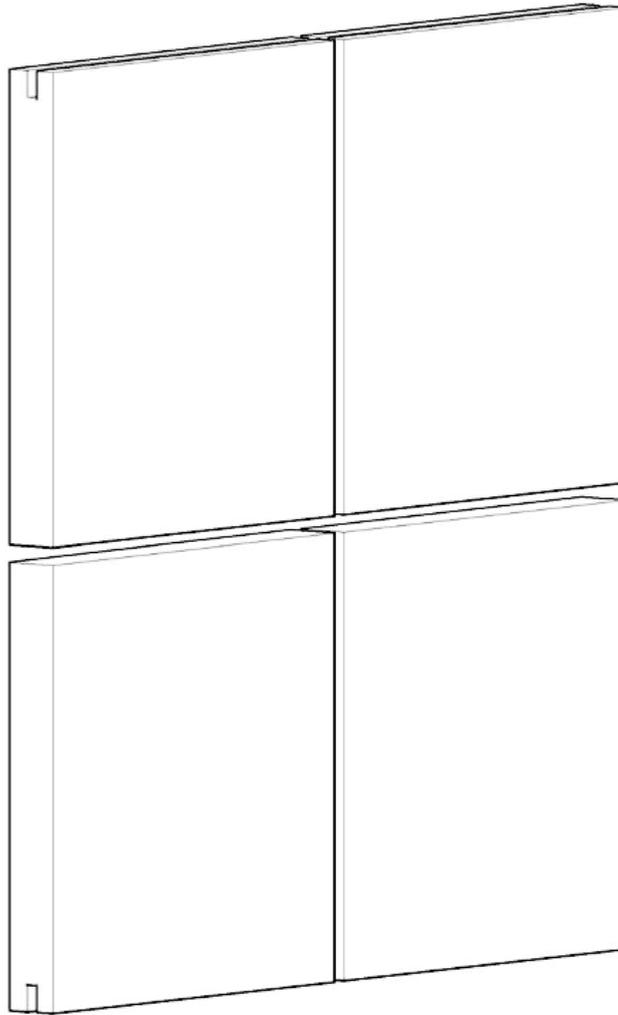


Figura 6.2-1. Esquema de junta horizontal recta y junta vertical recta.

6.2.1. Resultados e interpretación

En la tabla 6.2.1-1 se recogen los resultados obtenidos en los ensayos para los 12 casos definidos en la metodología con esta primera combinación.

CANTOS HORIZONTALES Y VERTICALES RECTOS								
Tipo de canto	ENSAYOS CON LA CÁMARA NO CONFINADA							
	Amplitud Junta (mm)	Ensayo con agua			Ensayo con agua y viento			
		Agua Proyectada (litros) t: 10 min	Agua Infiltrada (litros)	Agua Infiltrada / Agua Proyectada (%)	Agua Proyectada (litros) t: 24 min	Agua Infiltrada (litros)	Caudal de Infiltración (l/min)	Agua Infiltrada / Agua Proyectada (%)
Horizontal: Rebajados - Vertical: Rectos	5	53,0	14,26	26,91%	126,7	54,71	2,28	43,17%
	7,5	52,9	14,38	27,18%	126,4	51,24	2,14	40,51%
	10	52,7	15,51	29,43%	127,6	49,16	2,05	38,50%
	Promedio		27,84%		Promedio		40,73%	
	ENSAYOS CON CÁMARA CONFINADA							
	Amplitud Junta (mm)	Ensayo con agua			Ensayo con agua y viento			
		Agua Proyectada (litros) t: 10 min	Agua Infiltrada (litros)	Agua Infiltrada / Agua Proyectada (%)	Agua Proyectada (litros) t: 24 min	Agua Infiltrada (litros)	Caudal de Infiltración (l/min)	Agua Infiltrada / Agua Proyectada (%)
	5	52,7	14,72	27,93%	126,9	14,28	0,60	11,25%
	7,5	52,7	14,56	27,63%	126	34,33	1,43	27,25%
	10	53,2	15,06	28,31%	127,4	35,83	1,49	28,12%
	Promedio		27,96%		Promedio		22,21%	

Tabla 6.2.1-1. Datos de los ensayos para junta horizontal y vertical de cantos rectos.

Lo primero que podemos observar es que la infiltración de agua que se produce al introducir la junta vertical es mayor a la producida únicamente a través de la junta horizontal.

En las siguientes figuras se comparan los resultados para las distintas amplitudes de junta en función del confinamiento de la cámara y de la presión del aire.

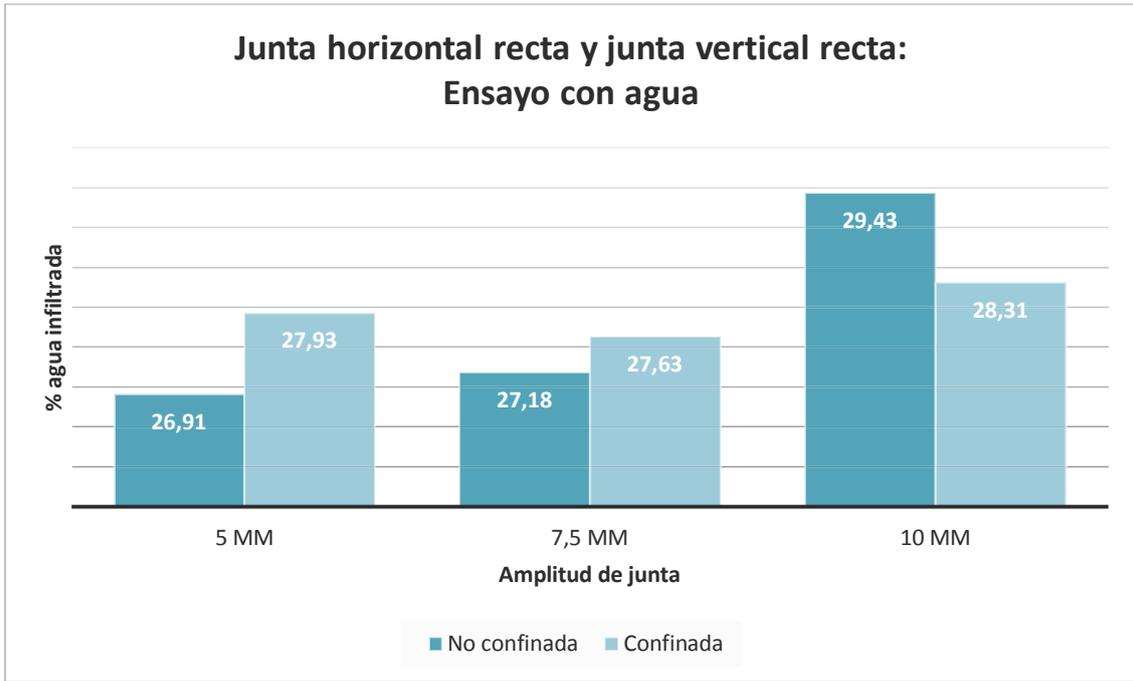


Figura 6.2.1-2. Porcentaje de agua infiltrada en fachadas con junta horizontal de cantos rectos y junta vertical de cantos rectos para ensayos con agua.

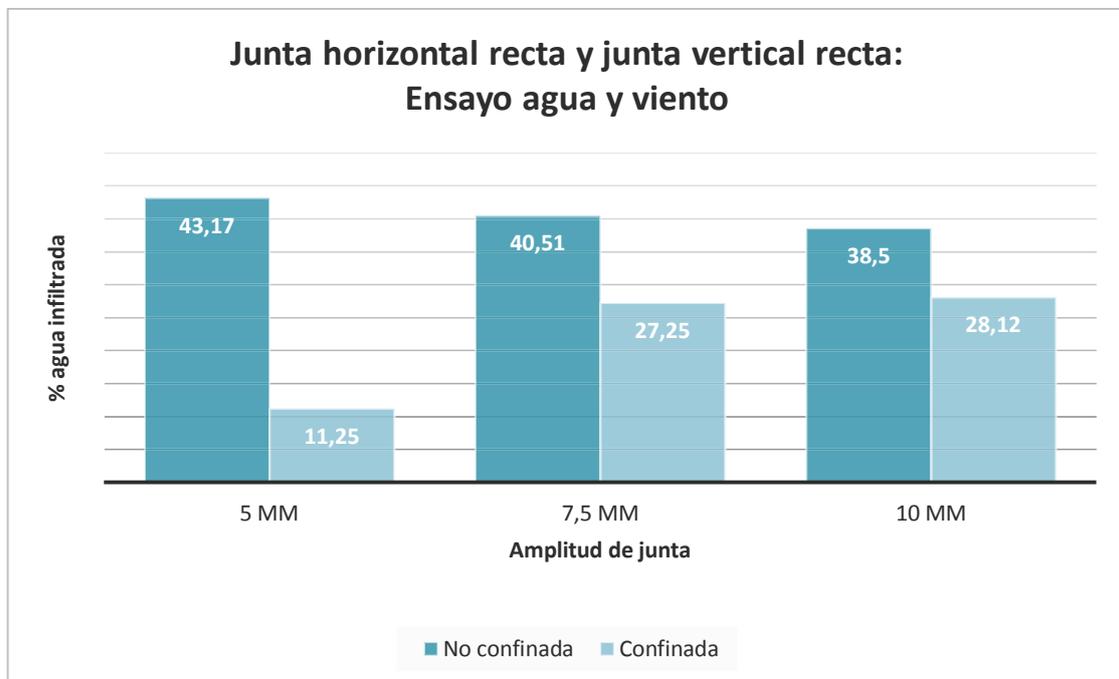


Figura 6.2.1-3. Porcentaje de agua infiltrada en fachadas con junta horizontal de cantos rectos y junta vertical de cantos rectos para ensayo con agua y viento.

Al proyectar sólo agua la infiltración aumenta proporcionalmente a la amplitud de junta con cámara no confinada y permanece constante en torno al 27% con la cámara confinada.

En ensayos con agua y viento la infiltración disminuye ligera e inversamente proporcional a la amplitud de las juntas con la cámara no confinada. Cuando la cámara está confinada la infiltración disminuye a menor amplitud de junta.

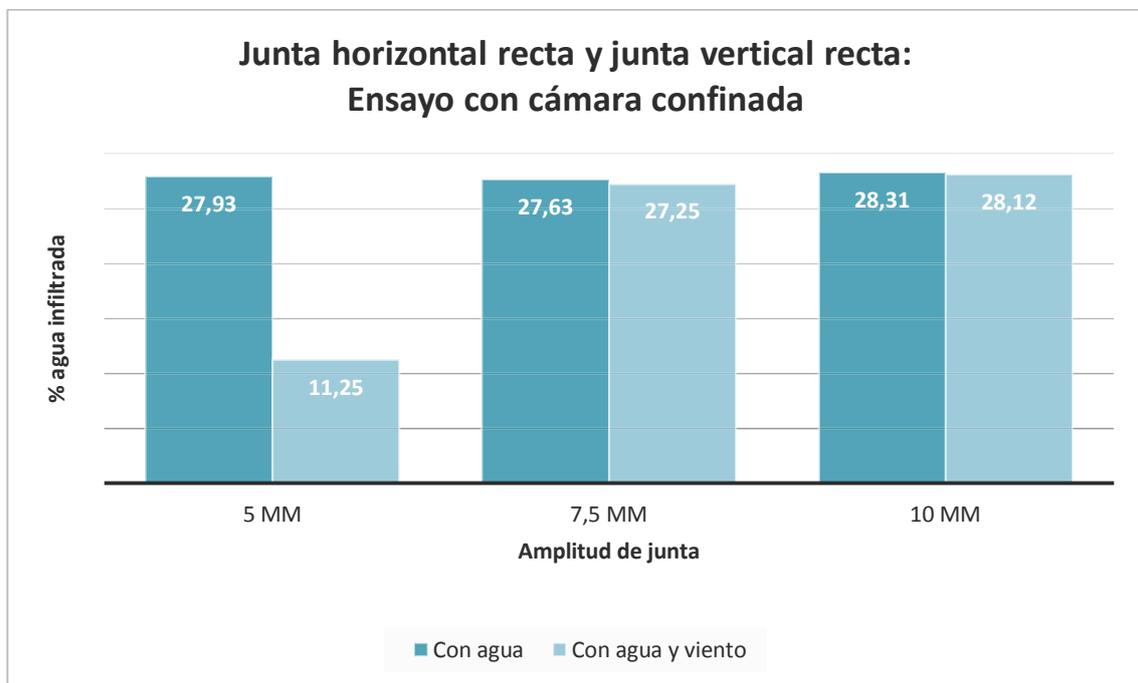


Figura 6.2.1-4. Porcentaje de agua infiltrada en fachadas con junta horizontal de cantos rectos y junta vertical de cantos rectos con cámara confinada.

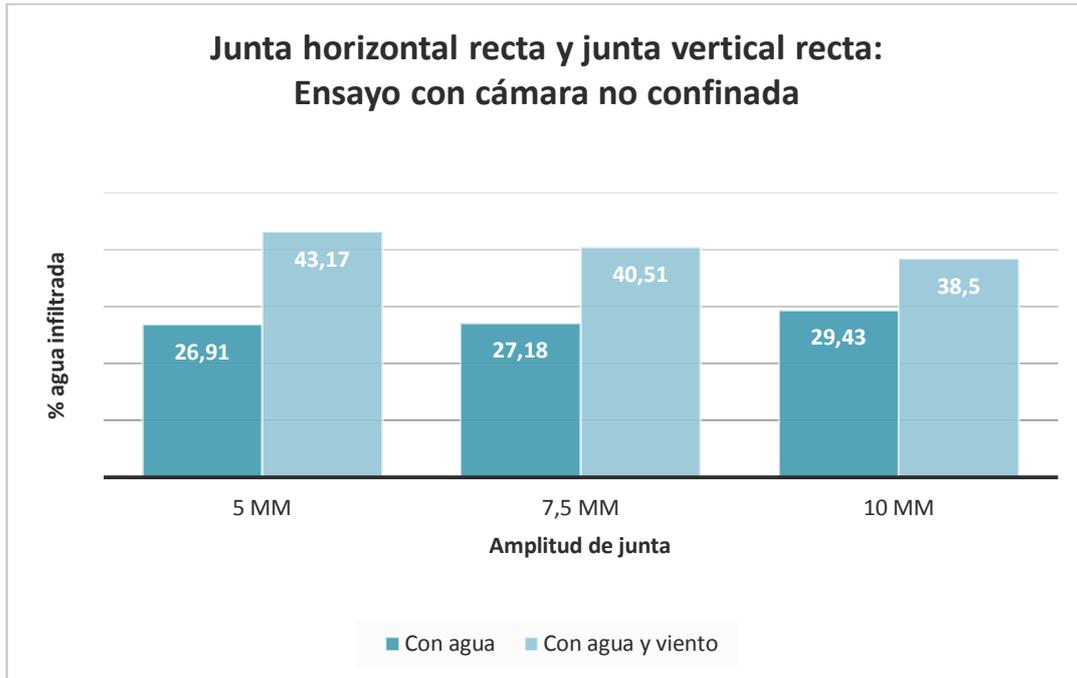


Figura 6.2.1-5. Porcentaje de agua infiltrada en fachadas con junta horizontal de cantos rectos y junta vertical de cantos rectos con cámara no confinada.

Con la cámara no confinada se dan valores más elevados de entrada de agua cuando se somete la fachada a proyección de agua y viento, mientras que prácticamente no varían los resultados en función del grado de confinamiento en los ensayos con proyección de agua.

6.2.2. Conclusiones parciales

Para fachadas ventiladas con aplacados de piedra con juntas verticales y horizontales de cantos rectos la infiltración de agua con cámara confinada oscila en torno al 27%, salvo para amplitudes de 5 mm que disminuye al 11%. En caso de cámara no confinada y en presencia de agua y viento la infiltración disminuye cuanto mayor es la junta.

6.3. Ensayos combinados de junta horizontal biselada y junta vertical recta

Esta combinación, con cantos horizontales biselados y verticales rectos, se puede considerar una variante mejorada de la anterior, dado que la única diferencia es el ángulo del canto horizontal de las piedras, que pasa de 0 a 15 grados.

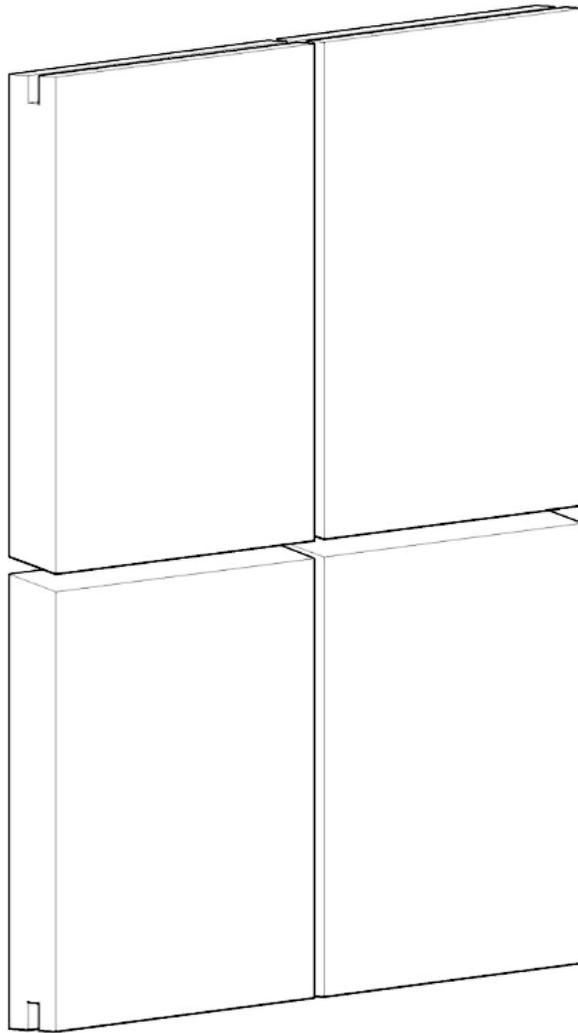


Figura 6.3-1. Esquema de fachada con junta horizontal de cantos biselados y junta vertical de cantos rectos.

6.3.1. Resultados e interpretación

En la tabla 6.3.1-1 se recogen los resultados obtenidos en los ensayos para los 12 casos definidos en la metodología con cantos biselados horizontales y cantos rectos verticales.

CANTOS HORIZONTALES BISELADOS Y VERTICALES RECTOS								
Tipo de canto	ENSAYOS CON LA CÁMARA NO CONFINADA							
	Amplitud Junta (mm)	Ensayo con agua			Ensayo con agua y viento			
		Agua Proyectada (litros) t: 10 min	Agua Infiltrada (litros)	Agua Infiltrada / Agua Proyectada (%)	Agua Proyectada (litros) t: 24 min	Agua Infiltrada (litros)	Caudal de Infiltración (l/min)	Agua Infiltrada / Agua Proyectada (%)
Horizontal: Biselados - Vertical: Rectos	5	53,0	9,2	17,36%	127,6	35,32	2,63	27,67%
	7,5	53,2	11,45	21,52%	128,1	29,69	2,21	23,16%
	10	53,1	10,79	20,32%	127,9	27,06	1,59	21,15%
	Promedio		19,73%		Promedio		23,99%	
	ENSAYOS CON CÁMARA CONFINADA							
	Amplitud Junta (mm)	Ensayo con agua			Ensayo con agua y viento			
		Agua Proyectada (litros) t: 10 min	Agua Infiltrada (litros)	Agua Infiltrada / Agua Proyectada (%)	Agua Proyectada (litros) t: 24 min	Agua Infiltrada (litros)	Caudal de Infiltración (l/min)	Agua Infiltrada / Agua Proyectada (%)
	5	53,1	1,60	3,01%	127,4	7,03	0,04	5,52%
	7,5	53,5	4,66	8,71%	128,4	15,39	0,13	11,99%
	10	53,2	4,14	7,78%	127,6	13,95	0,11	10,93%
Promedio		6,50%		Promedio		9,48%		

Tabla 6.3.1-1. Datos de recogida de agua en los ensayos para junta horizontal de cantos biselados y junta vertical de cantos rectos.

A la vista de los resultados lo primero que llama la atención es que cuando la cámara está no confinada la infiltración de agua es menor combinando junta horizontal y vertical con respecto a los ensayos para junta horizontal.

En las siguientes figuras recogemos la comparación de los distintos casos ensayados.

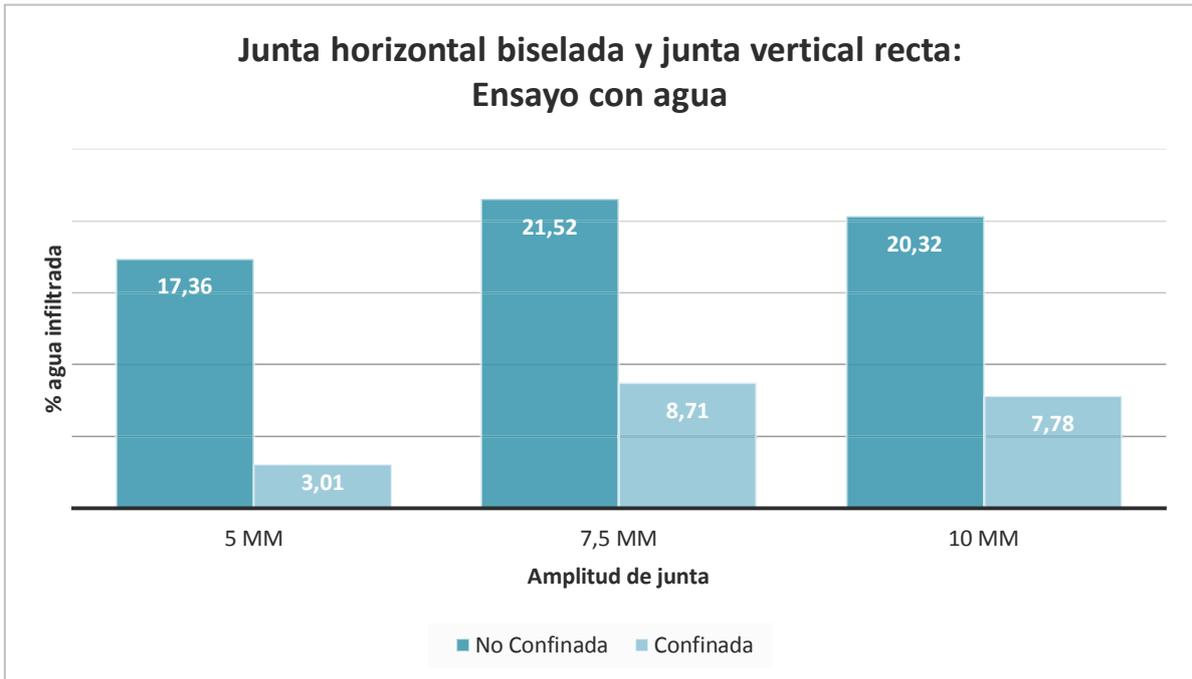


Figura 6.3.1-2. Porcentaje de agua infiltrada en fachadas por junta horizontal de cantos biselados y junta vertical de cantos rectos en ensayo con agua.

En los ensayos con proyección de agua la amplitud de junta tiene poca relevancia. Sin embargo comparando los resultados con los ensayos para juntas horizontales de cantos biselados la infiltración de agua es del orden de 10 veces mayor para cámara no confinada.

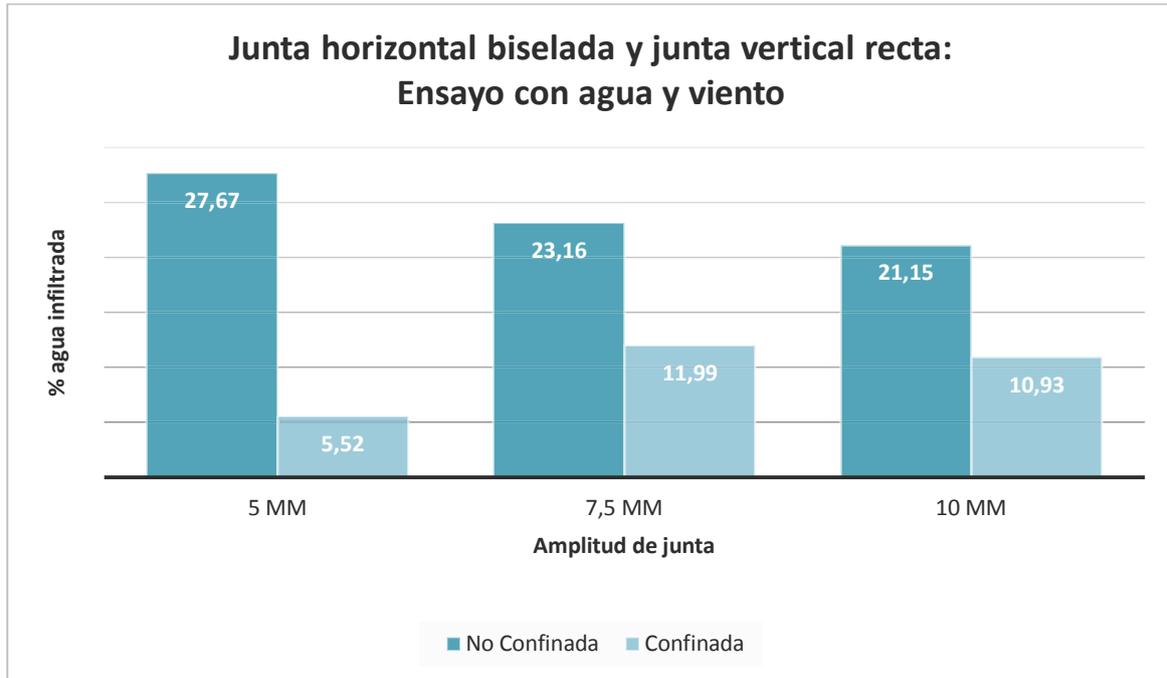


Figura 6.3.1-3. Porcentaje de agua infiltrada en fachadas por junta horizontal de cantos biselados y junta vertical de cantos rectos en ensayo con agua y viento.

Cuando hay presencia de sobrepresión en condiciones de confinamiento los resultados son los esperados: hay un incremento del mismo orden que para los ensayos a presión atmosférica.

Sin embargo para cámara no confinada la infiltración con solo junta horizontal es de más del 50%. Esto se explica teniendo en cuenta que cuando hay combinación de juntas el aire encuentra más vías de exfiltración (a través de las juntas verticales) por lo que introduce menos agua en la cámara.

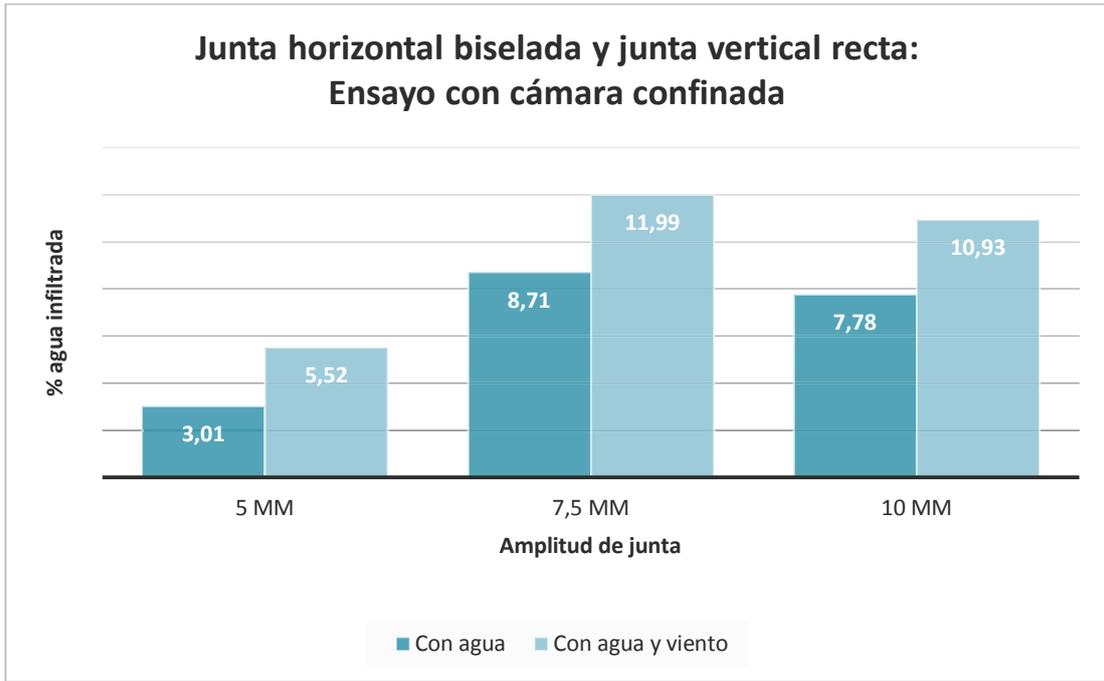


Figura 6.3.1-4. Porcentaje de agua infiltrada por junta horizontal de cantos biselados y junta vertical de cantos rectos con cámara confinada.

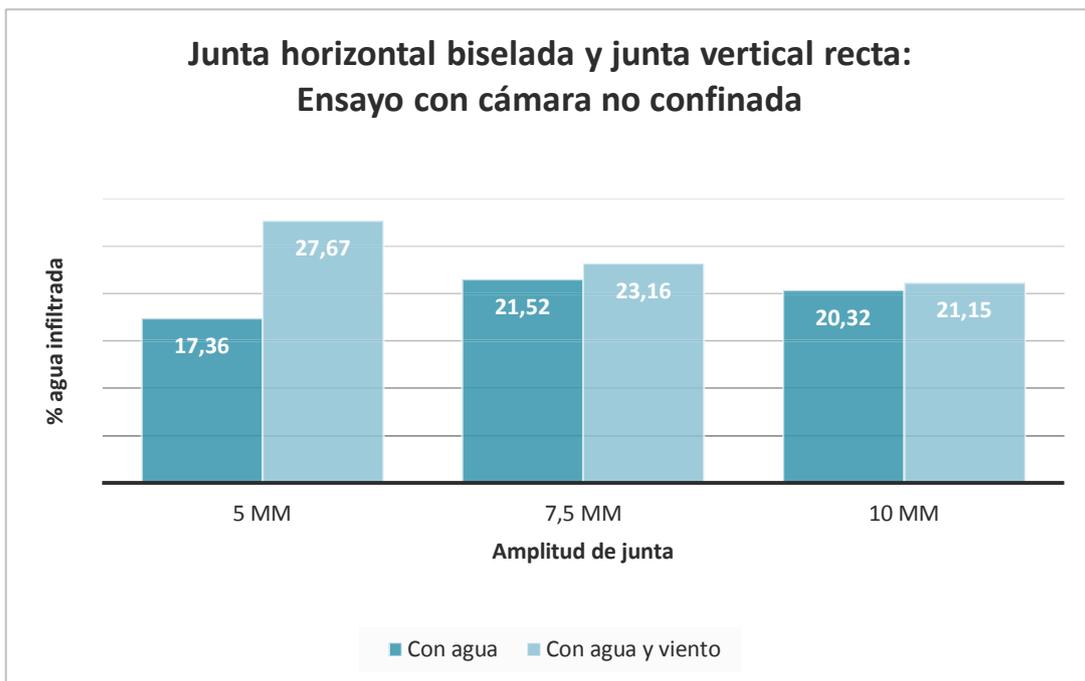


Figura 6.3.1-5. Porcentaje de agua infiltrada por junta horizontal de cantos biselados y junta vertical de cantos rectos con cámara no confinada.

Para ensayos con cámara confinada los resultados obtenidos son próximos entre sí, sean a presión atmosférica o con saltos de presión. Y lo mismo sucede con la cámara no confinada.

6.3.2. Conclusiones parciales

Para fachadas ventiladas de aplacados de piedra con junta horizontal biselada a 15 grados y junta vertical recta, cuando se proyecta agua y viento con la cámara no confinada (fachadas básicas), la menor infiltración se da con una amplitud de junta de 10 mm.

6.4. Ensayos combinados de junta horizontal rebajada y junta vertical recta

De los tres diseños de fachada ventilada con juntas combinadas, el que nos ocupa, con cantos horizontales rebajados y verticales rectos es el más complejo en su fabricación, y por tanto menos económico.

En las siguientes figuras se muestran una representación esquemática y una imagen del montaje del mismo, respectivamente.

6. Ensayos combinados para canto vertical recto y varios tipos de canto horizontal

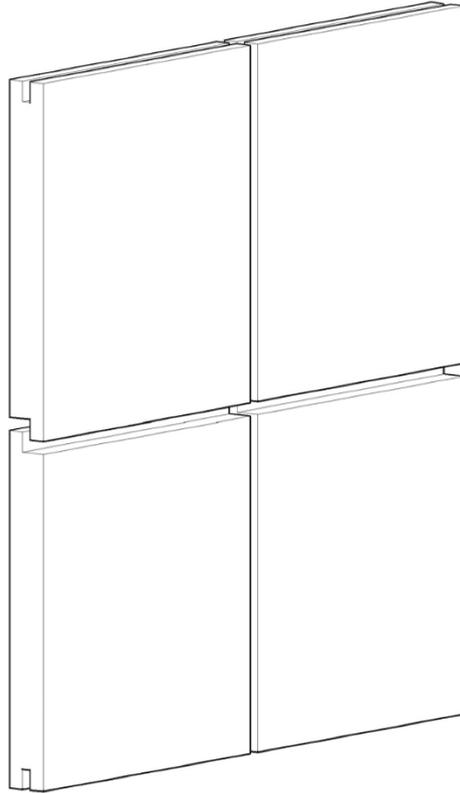


Figura 6.4-1. Esquema de junta horizontal rebajada y junta vertical recta.



Figura 6.4-2. Montaje de dispositivo con junta horizontal de cantos rebajaos y junta vertical de cantos rectos

En la figura anterior se puede observar cómo las distintas amplitudes de junta vertical se logran mediante la disposición de unas pequeñas ruedas en la parte inferior de las placas de abajo, instalando a su vez sendas varillas roscadas en las piezas laterales.

6.4.1. Resultados e interpretación

En la tabla 6.4.1-1 se recogen los resultados de los ensayos de los 12 casos contemplados en la metodología para cantos horizontales rebajados y cantos verticales rectos.

CANTOS HORIZONTALES REBAJADOS Y VERTICALES RECTOS								
Tipo de canto	ENSAYOS CON LA CÁMARA NO CONFINADA							
	Amplitud Junta (mm)	Ensayo con agua			Ensayo con agua y viento			
		Agua Proyectada (litros) t: 10 min	Agua Infiltrada (litros)	Agua Infiltrada / Agua Proyectada (%)	Agua Proyectada (litros) t: 24 min	Agua Infiltrada (litros)	Caudal de Infiltración (l/min)	Agua Infiltrada / Agua Proyectada (%)
Horizontal: Rebajados - Vertical: Rectos	5	53,7	4,66	8,68%	129,1	29,74	1,24	23,03%
	7,5	53,8	5,46	10,15%	129,6	25,3	1,05	19,52%
	10	53,8	4,84	9,00%	129,6	18,42	0,77	14,21%
	Promedio			9,27%	Promedio			18,92%
	ENSAYOS CON CÁMARA CONFINADA							
	Amplitud Junta (mm)	Ensayo con agua			Ensayo con agua y viento			
		Agua Proyectada (litros) t: 10 min	Agua Infiltrada (litros)	Agua Infiltrada / Agua Proyectada (%)	Agua Proyectada (litros) t: 24 min	Agua Infiltrada (litros)	Caudal de Infiltración (l/min)	Agua Infiltrada / Agua Proyectada (%)
	5	53,7	0,28	0,52%	128,4	9,96	0,42	7,76%
	7,5	54,1	6,02	11,13%	129,8	15	0,63	11,55%
	10	53,9	4,06	7,53%	129,8	10,68	0,45	8,23%
	Promedio			6,39%	Promedio			9,18%

Tabla 6.4.1-1. Datos de los ensayos para junta horizontal de cantos rebajados y junta vertical de cantos rectos.

En el ensayo sin presión aparecen valores muy similares, tanto con cámara no confinada como confinada, salvo a 5 mm en la confinada, donde prácticamente no hay entrada de agua. Se produce un aumento considerable de infiltración en comparación con el ensayo de junta horizontal rebajado.

Con incremento de presión se reduce la infiltración cuanto más separados están los cantos con cámara no confinada, dejando de influir esta circunstancia en condiciones de ecuilización.

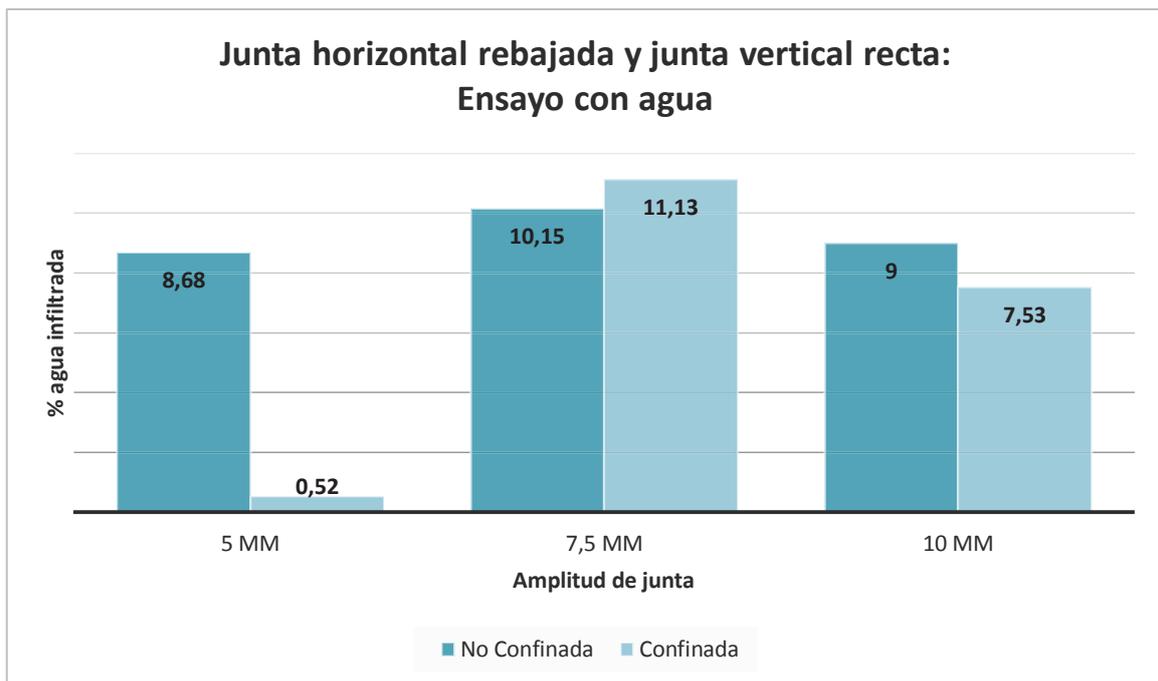


Figura 6.4.1-2. Porcentaje de agua infiltrada por fachadas con junta horizontal de cantos rebajados y junta vertical de cantos rectos en ensayo con agua.

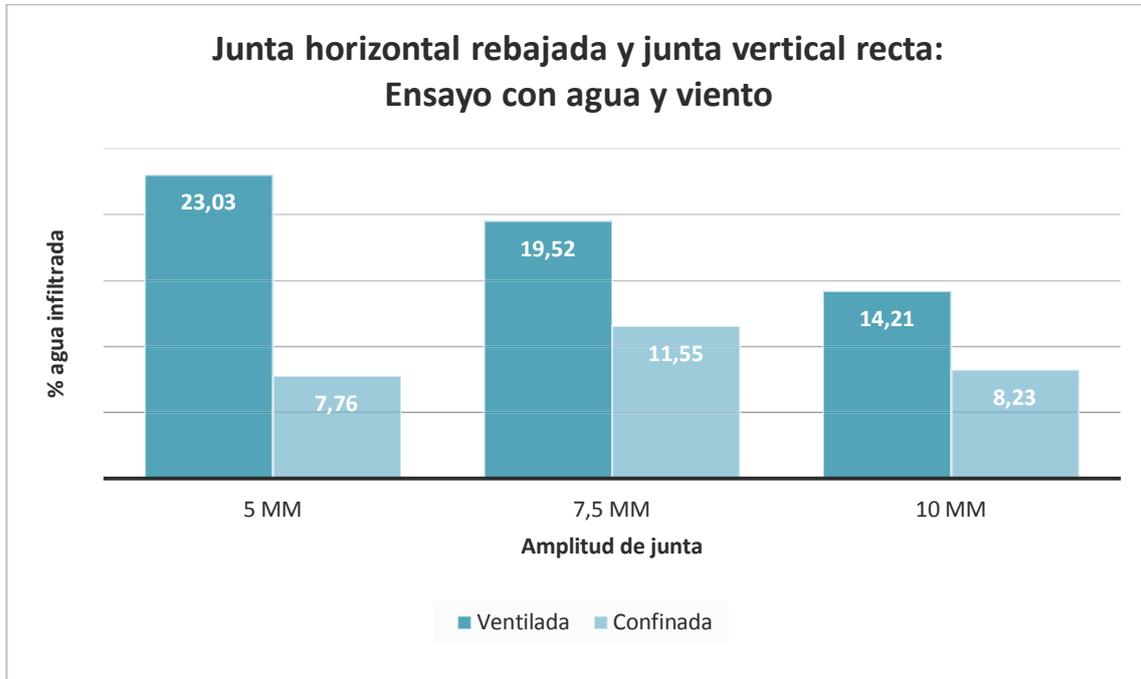


Figura 6.4.1-3. Porcentaje de agua infiltrada por junta horizontal de cantos rebajados y junta vertical de cantos rectos en ensayo con agua y viento.

Se repite el patrón de mayor infiltración de agua con la cámara no confinada que confinada.

Por otra parte también sucede lo que se dio en los ensayos combinados de junta horizontal biselada y vertical recta. Esto es que la infiltración de agua en el ensayo combinado es menor que en el ensayo con sólo junta horizontal rebajada.

La explicación es la misma: el aire encuentra más vías de exfiltración por lo que mete menos agua en la cámara.

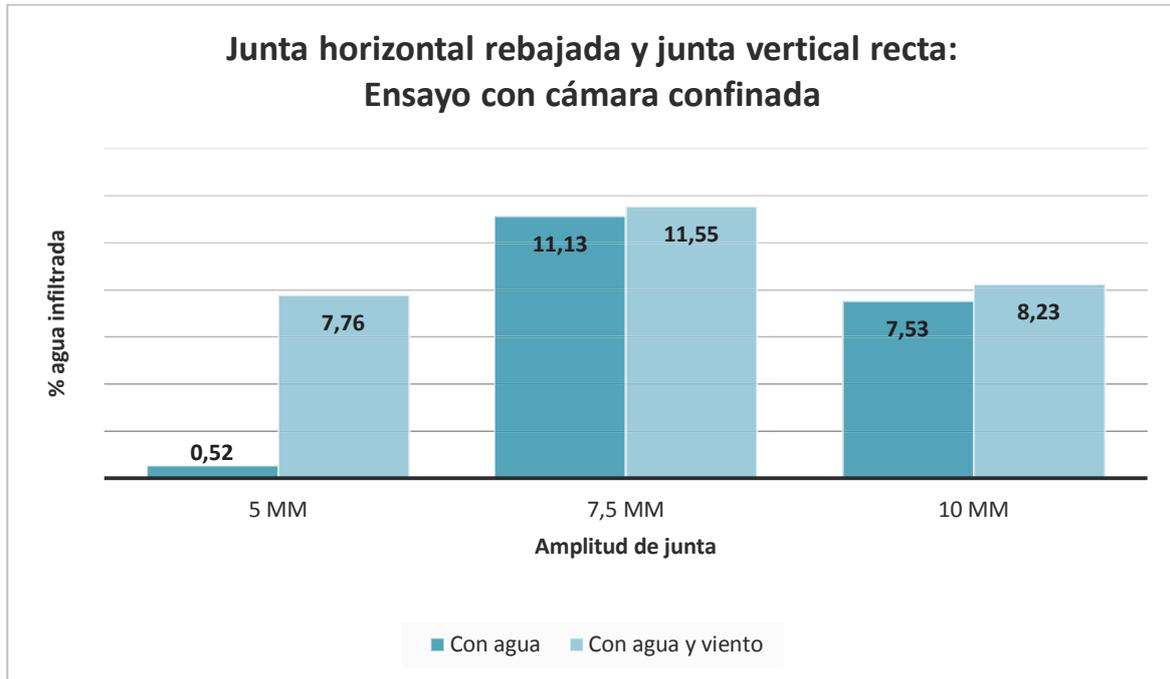


Figura 6.4.1-4. Porcentaje de agua infiltrada por junta horizontal de cantos rebajados y junta vertical de cantos rectos con cámara confinada.

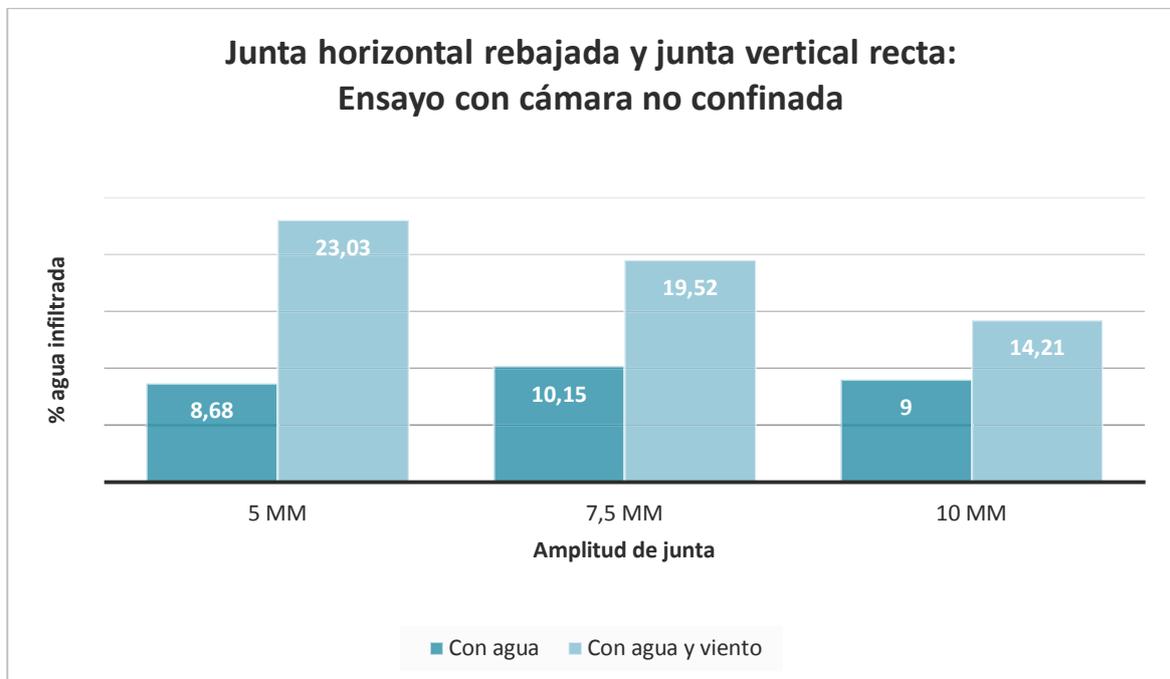


Figura 6.4.1-5. Porcentaje de agua infiltrada por junta horizontal de cantos rebajados y junta vertical de cantos rectos con cámara no confinada.

6.4.2. Conclusiones parciales

Para fachadas de juntas combinadas con cantos horizontales rebajados y verticales rectos la mayor amplitud de junta (10 mm) es la solución que menos agua infiltra.

La existencia de las juntas verticales favorece la infiltración de aire y minimiza por tanto la entrada de agua.

Se da de nuevo la circunstancia que para cámara no confinada y proyección de agua y viento la infiltración de agua es menor que para los ensayos con junta horizontal de cantos rebajados.

En el siguiente apartado estableceremos comparación entre las tres combinaciones estudiadas y podremos concluir qué diseño es el mejor.

6.5. Conclusiones del capítulo

Las soluciones ensayadas en este capítulo, combinando juntas verticales con cantos rectos y juntas horizontales con cantos de tres modalidades (rectos, biselados y rebajados), emulan una fachada ventilada completa, por lo que entendemos que los resultados obtenidos pueden proporcionar información suficiente a los proyectistas de las cantidades de agua infiltrada.

Finalmente, en este capítulo hemos alcanzado el último de nuestros objetivos:

- a. Estudiar la aportación de infiltración de agua de las juntas verticales con cantos rectos combinados con las juntas horizontales estudiadas.

6.5.1. Fachadas ventiladas con cámara no confinada

En la tabla 6.5.1-1 se muestran las cantidades de agua infiltrada en la cámara para los distintos casos ensayados de fachadas básicas, esto es, con la cámara no confinada, que es la solución más comúnmente utilizada.

JUNTAS COMBINADAS FACHADAS NO CONFINADAS								
Tipo de canto	Ancho ranura (mm)	Ensayo con agua			Ensayo con agua y viento			
		Agua Proyectada (litros) t: 10 min	Agua infiltrada (litros)	Agua Infiltrada / Agua Proyectada (%)	Agua Proyectada (litros) t: 24 min	Agua infiltrada (litros)	Caudal de Infiltración (l/min)	Agua Infiltrada / Agua Proyectada (%)
V:Recto-H:Recto	5	53,0	14,26	26,91%	126,7	54,71	2,28	43,17%
	7,5	52,9	14,38	27,18%	126,4	51,24	2,14	40,51%
	10	52,7	15,51	29,43%	127,6	49,16	2,05	38,50%
	Promedio			27,84%	Promedio			40,73%
V:Recto-H:Biselado	5	53,0	9,2	17,36%	127,6	35,32	2,63	27,67%
	7,5	53,2	11,45	21,52%	128,1	29,69	2,21	23,16%
	10	53,1	10,79	20,32%	127,9	27,06	1,59	21,15%
	Promedio			19,73%	Promedio			23,99%
V:Recto-H:Rebajado	5	53,7	4,66	8,68%	129,1	29,74	1,24	23,03%
	7,5	53,8	5,46	10,15%	129,6	25,3	1,05	19,52%
	10	53,8	4,84	9,00%	129,6	18,42	0,77	14,21%
	Promedio			9,27%	Promedio			18,92%

Tabla 6.5.1-1. Datos comparativos de infiltración de agua por junta horizontal de distintos cantos y junta vertical de cantos rectos en fachadas ventiladas básicas (con cámara no confinada).

Se confirma que los cantos horizontales rebajados ofrecen las mejores prestaciones en fachadas ventiladas de aplacados de piedra con la cámara no confinada, pero con poca diferencia con respecto a los cantos biselados.

En ambos casos se produce menos infiltración de agua que con respecto a los diseños homólogos de cantos horizontales. Esto se explica porque en los ensayos con una única

junta (horizontal) el aire exterior se infiltra por 1 m de junta, en tanto que en los ensayos con juntas horizontales y verticales el aire se infiltra por 3 m de junta, por lo que en este último caso el flujo de aire a través de las juntas se reduce a un tercio, por lo que el agua arrastrada es menor.

Por otra parte es una constante en los tres diseños ensayados, en presencia de agua y viento, que a mayor amplitud de junta menor infiltración de agua.

6.5.2. Fachadas ventiladas con cámara confinada

En la tabla 6.5.2-1 se muestran las cantidades de agua infiltrada en la cámara para los distintos casos ensayados con la cámara confinada.

JUNTAS COMBINADAS FACHADAS CONFINADAS								
Tipo de canto	Ancho ranura (mm)	Ensayo con agua			Ensayo con agua y viento			
		Agua Proyectada (litros) t: 10 min	Agua infiltrada (litros)	Agua Infiltrada / Agua Proyectada (%)	Agua Proyectada (litros) t: 24 min	Agua infiltrada (litros)	Caudal de Infiltración (l/min)	Agua Infiltrada / Agua Proyectada (%)
V:Recto-H:Recto	5	52,7	14,72	27,93%	126,9	14,28	0,60	11,25%
	7,5	52,7	14,56	27,63%	126	34,33	1,43	27,25%
	10	53,2	15,06	28,31%	127,4	35,83	1,49	28,12%
	Promedio			27,96%	Promedio			22,21%
V:Recto-H:Biselado	5	53,1	1,60	3,01%	127,4	7,03	0,04	5,52%
	7,5	53,5	4,66	8,71%	128,4	15,39	0,13	11,99%
	10	53,2	4,14	7,78%	127,6	13,95	0,11	10,93%
	Promedio			6,50%	Promedio			9,48%
V:Recto-H:Rebajado	5	53,7	0,28	0,52%	128,4	9,96	0,42	7,76%
	7,5	54,1	6,02	11,13%	129,8	15	0,63	11,55%
	10	53,9	4,06	7,53%	129,8	10,68	0,45	8,23%
	Promedio			6,39%	Promedio			9,18%

Tabla 6.5.2-1. Datos comparativos de infiltración de agua por junta horizontal de distintos cantos y junta vertical de cantos rectos en fachadas ventiladas básicas (con cámara no confinada).

Con la cámara confinada la infiltración que se produce es menor que con la cámara no confinada.

Podemos concluir que de los distintos diseños ensayados la mejor solución para la combinación de juntas verticales y horizontales es la combinación canto horizontal rebajado o biselado y vertical recto, con amplitud de juntas de 5 mm.

7 Conclusiones y recomendaciones

Tras los resultados de los ensayos expuestos en este documento podemos enunciar varias conclusiones relacionadas con las hipótesis y los objetivos inicialmente planteados:

- Se constata que durante el transcurso de los ensayos con el dispositivo en el banco de pruebas del laboratorio se producen infiltraciones de agua por la junta que resbalan por el trasdós de las placas de piedra, llegando en algunos casos a cubrir la totalidad de su superficie, y que parte del agua infiltrada alcanza el vidrio del dispositivo, elemento que emula la superficie del aislante térmico de la fachada ventilada.
- De lo dicho anteriormente se desprende que se cumple lo indicado en nuestra primera hipótesis: que entra abundante agua por las juntas horizontales.
- La infiltración es mayor cuando existe presión de viento actuando junto a la proyección de agua.
- Nuestra segunda hipótesis se confirma, esto es, que es posible reducir la infiltración de agua con nuevos diseños de canto horizontal.
- La solución de cantos biselados con amplitud de junta de 10 mm es la que produce menos infiltración en la cámara.
- La solución de cantos rebajados alcanza los menores resultados promedio de infiltración de agua en la cámara.
- Nuestra tercera hipótesis: la entrada de agua es proporcional a la amplitud de junta (a mayor amplitud mayor infiltración) se confirma en la mayoría de los casos. Es así para todos los casos de cámara confinada y de cámara no confinada con sólo proyección de agua.

- Se confirma la cuarta hipótesis: la infiltración es menor cuando la cámara de aire de la fachada está confinada.

De estas conclusiones podemos extraer las siguientes recomendaciones:

- Se debe prestar especial atención a la estanqueidad de las capas existentes detrás de la cámara (en presencia de fisuras, aberturas, perímetro de huecos, etc.), en aras de conseguir la impermeabilidad de la fachada.
- En la medida de lo posible hay que mantener la cámara de aire confinada, ya que la infiltración de agua se reduce drásticamente con la ecualización de la presión.
- Si por motivos económicos no se puede abordar la solución de cámara confinada, se conseguirá la mínima infiltración con cámara no confinada y cantos horizontales rebajados.
- Una solución constructiva para anular la infiltración de agua por las juntas debido a la tensión superficial sería hidrofugar los cantos y los frentes de las placas de piedra. No obstante quedarían sin neutralizar el resto de fuerzas actuantes (diferencia de presión, energía cinética y ráfagas de viento).

Dentro de las posibles nuevas líneas de investigación apuntadas en la tesis estaría diseñar y evaluar nuevos sistemas sencillos y económicos de confinamiento de la cámara.

8 Referencias y bibliografía

- AENOR. *NORMA UNE EN 1026:2000. Reglamento particular de la marca AENOR*, párrafo ventanas y puertas. Revisión 9 de enero de 2006.
- Anderson, J. M. Y Gill, J. R. (1988). *Rainscreen Cladding: A Guide to Design Principles and Practice*. Butterworth-Heinemann.
- Andersen, N. E. (1987). *Summer Condensation in an Unheated Building*. Proc. of Symposium and Day of Building Physics, Lund University Swedish Council for Building Research, p. 164-165.
- ASEFAVE (2006). *Manual de Producto: Fachadas Ligeras*. Madrid: ASEFAVE, Asociación Española de Fabricantes de Fachadas Ligeras y Ventanas.
- Avellaneda, J. (1997). *Impermeabilidad al agua en fachadas de placas ligeras con juntas abiertas*. I Congreso Nacional de ventanas y fachadas ligeras. San Sebastián, Tecnopress, Barcelona, p. 59-61.
- Avellaneda, J. (1997). *Façanes lleugeres ventilades. Criteris per al disseny constructiu*. Papers de Construcció, Departament de Construccions Arquitectòniques I.
- Avellaneda, J y Paricio, I. (1999). *Los revestimientos de piedra*. Barcelona, Bisagra.
- Baskaran, B. A. y Brown, WC (1992). *Perfomance of pressure equalized rainscreen walls under cyclic loading*. Journal of Thermal Insulation and Building Envelopes, 16: 183-93.
- Bikerland, O. (1962). *Curtain walls*. Handbook 11B, Norwegian Building Research Institute, Oslo.

- Bikerland, O. (1967). *The mechanism of rain penetration*. Proceeding of international symposium held Oslo. Cib. Report nº11.
- Blocken, B., Carmeliet, J. (2000). *Driving Rain on Building Envelopes-I. Numerical Estimation and Full-Scale Experimental Verification*. J. of Thermal Insulation and Bldg Envelopes, vol. 24, nº 4, p. 61-110.
- Brown, W.C.; Rousseau, M. Z., Dalglish, W. A. (1991). *Field testing of pressure equalized rain screen walls. Exterior Wall Systems: Glass and Concrete Technology*. Design, and Construction, p. 59-69, (ASTM Special Technical Publication v. 1034) (NRCC-38991).
- Choi, E.C.C. (1993). *Simulation of wind-driven rain around a building*. J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 46&47, p. 721-729.
- Choi, E.C.C. (1994). *Determination of the wind-driven-rain intensity on building faces*. J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 51, p. 55-69.
- Chown, G. A. Brown, W.C. y Poirier, G.F. (1997). *Evolution of Wall Design for Controlling Rain Penetration*. Construction Technology Update No. 9. IRC-NCR-CNRC. National Research Council Canada- Institute for Research in Construction.
- Ministerio de la Vivienda (2006). *Código Técnico de la Edificación (CTE)*. Real Decreto 314/2006, del 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- Cordero de la Fuente, B. (2015). *Muro cortina modular con marco de baja transmitancia térmica integrado en el vidrio aislante a través de adhesivos estructurales*. Tesis Doctoral. Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid.
- Finn, D.W. (1995). *Rain penetration of the window-wall joint*. Proc. Building Envelope Performance and Durability, IRC Technical Seminar, National Research Council, Ottawa.

- Finch, G. (2007). *The Performance of Rainscreen Walls in Coastal British Columbia*. M. A. Sc. Thesis. Department of Civil Engineering, University of Waterloo, Ontario, Canada.
- Frank, W. (1973). *Entwicklung von Regen and Wind auf Gebaeudefassaden*. Verlag Ernst & Sohn, Bertichte aus der Bauforschung, vol. 86, pp. 17-40.
- Ganguli, U. and Quirouette, R. L. (1987). *Pressure equalization performance of a metal and glass curtain wall*. Proceedings, 1987, CSCE Centennial Conference, Montréal, Québec, vol. 1, p. 127-144 (NRCC 29024).
- Ganguli, U. and Dalgliesh, W. A. (1988). *Wind pressures on open rain screen walls: Place Air Canada*. Journal of Structural Engineering, vol. 114, no. 3, p. 642-656 (NRCC 28859).
- García Bescansa, F. y Fernández Madrid, J. (2014). *Entrada de agua en aplacados ventilados de piedra*. Comunicación en X Congreso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras, Santiago de Chile.
- Garden, G. K. (1963). *Rain penetration and its control*. National Research Council of Canada, Division of Building Research, Canadian Building Digest no. 40, p. 4.
- Garden, G. K. (1963). *Joints Between Prefabricated Components*. Building Note, No. 40, p. 5.
- Garden, G. K. (1965). *Control of Air Leakage is Important*. Canada Building Digest 72, national Research Council of Canada, Ottawa.
- Garden, G. K., CBD-97 (1968). *Look at Joint Performance*. Div. of Building Research, NRCC, Ottawa.

- Giancola, E. (2010). *El comportamiento energético de una fachada ventilada de juntas abiertas*. Tesis Doctoral. Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas, Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid.
- Gubas, G. A. (1968). *Experience in the promotion and application of the open joint technique for wall cladding in U.K.* Symposium on Weathertight Joints for Walls; International Council for Building Research. Oslo, Norwegian Building Research Institute.
- Henriques, F. M. A. (1992). *Quantification of wind-driven rain – an experimental approach*. Building Research and Information 20(5), p. 295-297.
- Herbert, M. R. R. (1974). *Open jointed rain screen cladding*. Building Research Establishment CP 89/74, Garston.
- Huedo, P., Pitarch, A. M., Centelles, A. y Monfort, L. (2010). *Entrada de agua en las juntas de las fachadas ventiladas*. Castellón: Qualicer.
- Inculet, D. R., Surry, D. (1994). *Simulation of Wind-Driven Rain and Wetting Patterns on Buildings*. Report BLWT-SS30-1994, U. of West. Ontario, London.
- Inculet, D., Surry, D. (1996). *The Influence of Unsteady Pressure Gradients on Compartmentalization Requirements for Pressure-Equalized Rainscreens*. CMHC Research Report by the Boundary Layer Wind Tunnel, University of Western Ontario.
- Irwin, P. A., G. D. Schuyler, and Wawzonek, M. A. (Morrison-Hersfield Limited Consulting Engineers) (1984). *A wind tunnel investigation of rain screen wall systems*. NRCC contract no. 15SR.31944-3-0014, p. 127.
- Isaksen, T. (1965). *Rain penetration in joints. Influence of dimensions and shape of joints on rain penetration*. NBRI Reprint No. 119 or RILEM/ CIB Symposium on Moisture Problems in Buildings, Rain Penetration, vol. 3, paper 3-5, Helsinki.

- Isaksen, T. (1966). *Wind driven rain and the forming of joints between concrete panels*. NBRI Reprint No. 131 in Norwegian.
- Isaksen, T. (1967). *Rain leakage tests on through-joints*. Weathertight Joints for Walls: Proceedings of the International CIB. Symposium, Oslo, Norway, p. 265-269.
- Isaksen T. (1968). *Rain leakage tests on open joints in ventilated cladding*. Proceeding Of International Symposium Held Oslo. CIB Report N°11.
- Karagiozis, A., and Hadjisophocieous, G. (1995). *Wind-Driven Rain on High-Rise Buildings*. Proceedings of BETEC/ASHRAE/DOE Thermal Performance of Building Envelopes VI, p. 399-406.
- Killip, I. R. and Cheetham D. W. (1984). *The prevention of rain penetration through external walls and joints by means of pressure equalization*. Building and Environment, vol. 19, no. 2, p. 81-91.
- Lacasse, M., Miyauchi, H. (2009). *Water penetration of cladding components: an overview of the vulnerability of sealed joints to water penetration*. Proc. 12th Canadian Conference on Building Science and Technology, Montréal, Quebec, p. 1-12.
- Lacy, R.E. (1965). *Driving-Rain Maps and the Onslaught of Rain on Buildings*. Building Research Station Current Paper 54, HMSO Garston, U.K.
- Laviolette, S., and Keller, H. (1993). *Performance Monitoring of a Brick Veneer / Steel Stud Wall System*. CMHC Research Report by Keller Engineering.
- Latta, J. K. (1973). *Walls, windows and roofs for the Canadian climate*. National Research Council of Canada, Division of Building Research, p.75 (NRCC13487).

- López Rivadulla, F. J. (2011). *Estudio Transversal de la Colonización Biológica en fachadas ventiladas de granito en Galicia*. Tesis doctoral. Departamento de construcciones Arquitectónicas de la Universidad de A Coruña.
- López Díaz, M.; Pérez González, M. J.; Ramos Méndez, I. (2007). *Estudio de la influencia de la superficie de ventilación en la equalización de la presión de una fachada ventilada*. Trabajo de investigación tutelado por Fernández Madrid, J.
- Lstiburek, J. W. (2005). *Builders Guide for Cold Climates*. Building Science Press, Westford, MA.
- Lstiburek, J. W. (2007). *The perfect wall*. ASHRAE Journal. Vol. 49, p. 74-78.
- Ministerio de Vivienda (2006). *Código Técnico de la Edificación. HS Salubridad. HS-1 Protección frente un la humedad*.
- Montero, E. (2007). *Manual Básico. Fachadas ventiladas y aplacados. Requisitos constructivos y estanqueidad*. Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Transporte de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.
- Pardal, C. y Paricio, I. (2006). *La fachada Ventilada y Ligera*. Barcelona, Bisagra.
- Platts, R. E., Sasaki, J. R. (1965). *Rain Leakage Tests on Vertical Through Joints*. Div. of Building Research, Internal Report No. 23, Ottawa.
- Popp, W., Mayer, E., Künzel, H. (1980). *Untersuchungen über die Belüftung des Luftraumes hinter vorgesetzten Fassadenbekleidung aus kleinformatischen Elementen*. Forschungsbericht B Ho 22/80: Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirchen, Germany.
- Quirouette, R. (1996). *Laboratory Investigation and Field Monitoring of Pressure-Equalized Rainscreen Walls*. CMHC Research Report.

- Ritchie, T. (1961). *Cavity walls*. National Research Council of Canada, Division of Building Research, Canadian Building Digest no. 21, p. 4.
- Rousseau, M. Z. (1990). *Hechos y Ficciones de Paredes de Pantalla de Lluvias*. Construcción Canadá 32 (2), p. 40, 42-44, 46.
- Sanchez-Ostiz, A. (1996). *Fachadas. Transición e innovación tecnológica*. Revista de Edificación, 22, p. 53-61.
- Sanchez-Ostiz, A. (2003). *Fachadas. Cámaras ventiladas, piles transpirables*. Revista Detail, p. 472-476.
- Sandin, K. (1991). *Skalmurskonstruktionens fukt-och temperaturbetingelser*. Rapport R43:1991 Byggforskningsrådet, Stockholm, Sweden.
- Straube, J. F. Burnett, E. F. P. (1995). *Vents, Ventilation Drying, and Pressure Moderation*. University Of Waterloo Building Engineering Group report for CMHC, Ottawa.
- Straube, J. F. (1998). *Moisture Control and Enclosure Wall Systems*. Ph. D. Thesis, Civil Engineering Department, University of Waterloo.
- Straube, J. F. and Burnett, E. F. P. (1997). *Driving Rain and Masonry Veneer. Water Leakage Through Building Facades*. ASTM STP 1314, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, p. 73-87.
- Straube, J. F. and Burnett, E. F. P. (1998). *Drainage, Ventilation Drying, and Enclosure Performance*. Proceedings of Thermal Performance of Building Envelopes VII, Clearwater Beach Florida, p. 189-198.
- Straube, J. F. and Burnett, E. F. P. (1999). *Rain Control and Design Strategies*. J. of Thermal Insulation and Building Envelopes, p. 41-56.

- Straube, J. F. and Burnett, E. F. P. (1998). *Vents, Ventilation and Masonry Veneer Wall Systems*. Proc. of the Eighth Canadian Masonry Symposium, Jasper, Alta., Canada, p. 194-207.
- Straube, J. F. and Burnett, E. F. P. (2000). *Simplified Prediction of Driving Rain Deposition*. Proc. of International Building Physics Conference, Eindhoven, p. 375-382.
- Straube, J. F. and Burnett, E. F. P. (1999). *Rain Control and Design Strategies*. J. of Thermal Insulation and Building Envelopes, p. 41-56.
- Straube, J. F. (2012). *High Performance Enclosures: Design Guide for Institutional Commercial and Industrial Buildings in Cold Climates*. Building Science Press, Somerville, Massachusetts, p. 320.
- Morrison-Hershfield (1996). *Survey of Building Envelope Failures in the Coastal Climate of BC*. Report for CMHC, Ottawa.
- Wilson, A. G. (1965). *Condensation in Insulated Masonry Walls in the Summer*. Proc. Of RILEM/CIB Symposium, Helsinki, p. 2-7.

9 Índice de figuras y tablas

1. Introducción

Figura 1-1. Fuerzas que intervienen en la entrada de agua en la cámara definidas e ilustradas por Garden, 1963.

Figura 1-2. Esquema de confinamiento de la cámara.

Tabla 1-3. Fuerzas que intervienen en la entrada de agua por las juntas de un aplacado ventilado de piedra.

2. Estado del arte

3. Objetivos y metodología

Figura 3.2-1. Vista de la cara no expuesta de una carpintería colocada en el banco de pruebas.

Tabla 3.2-2. Casos a ensayar para cada diseño de fachada en función de su tipo de junta.

Figura 3.2-3. Esquemas de confinación de la cámara.

Figura 3.2-4. Equivalencia entre Presión y Velocidad de agua proyectada.

Figura 3.2-5. Interfaz de captura de datos para ensayo con proyección de agua.

Figura 3.2-6. Interfaz de captura de datos para ensayo con proyección de agua y viento.

Figura 3.2-7. Vista general del banco de pruebas.

Figura 3.3-1. Plano de dispositivo con junta horizontal de cantos rectos.

Figura 3.3-2. Detalle de anclaje regulable de las placas de piedra con amplitudes de junta de 5, 7.5 y 10 mm.

Figura 3.3-3. Detalle de la parte superior del anclaje regulable de las placas de piedra con palomillas en las tres amplitudes ensayadas.

Figura 3.3-4. Calibrado de amplitud de junta.

Figura 3.3-5. Esquema del dispositivo de ensayos.

Figura 3.3-6. Orificios de ventilación de la cámara: a) tapados vistos desde fuera; b) sin tapar vistos desde fuera; c) sin tapar vistos desde dentro.

Figura 3.3-7. Cara expuesta de la fachada con junta horizontal.

Figura 3.3-8. Vista interior de la fachada con junta horizontal desde la cámara de aire.

Tabla 3.4-1. Tabla de relación entre objetivos y ensayos para alcanzarlos.

4. Ensayos con junta horizontal de cantos rectos

Figura 4.1-1. Detalle de junta horizontal con cantos rectos.

Tabla 4.1-2. Casos a ensayar para junta horizontal de cantos rectos.

Figura 4.2-1. Fase 1: aparición de agua infiltrada.

Figura 4.2-2. Fase 2: aumento de infiltración de agua.

Figura 4.2-3. Fase 3: aumenta la infiltración de agua.

Figura 4.2-4. Fase 4: infiltración a lo largo de toda la junta.

Tabla 4.2-5. Tabla de valores obtenidos para junta horizontal con cantos rectos.

Figura 4.2-6. Porcentaje de agua infiltrada para cámara no confinada y confinada de cantos rectos con proyección de agua.

Figura 4.2-7. Porcentaje de agua infiltrada para cámara no confinada y confinada de cantos rectos con proyección de agua y viento.

Figura 4.2-8. Porcentaje de agua infiltrada para proyección de sólo agua o agua y viento con cantos rectos y cámara no confinada.

Figura 4.2-9. Esquema interpretativo de entrada de agua por la junta horizontal con cantos rectos con cámara no confinada, y ensayo con agua y viento.

Figura 4.2-10. Porcentaje de agua infiltrada para proyección de sólo agua o agua y viento con cantos rectos y cámara confinada.

Figura 4.2-11. Esquema interpretativo de entrada de agua por la junta horizontal con cantos rectos en fachadas con la cámara confinada sometidas a agua y viento.

Figura 4.3-1. Fuerzas que intervienen en la entrada de agua en la cámara.

Figura 4.3-2. Porción de infiltración de agua según fuerzas por la junta horizontal de 5 mm de cantos rectos con cámara confinada.

Figura 4.3-3. Porción de infiltración de agua según fuerzas por la junta horizontal de 5 mm de cantos rectos con cámara no confinada.

Figura 4.3-4. Porción de infiltración de agua según fuerzas por la junta horizontal de 7,5 mm de cantos rectos con cámara confinada.

Figura 4.3-5. Porción de infiltración de agua según fuerzas por la junta horizontal de 7,5 mm de cantos rectos con cámara no confinada.

Figura 4.3-6. Porción de infiltración de agua según fuerzas por la junta horizontal de 10 mm de cantos rectos con cámara confinada.

Figura 4.3-7. Porción de infiltración de agua según fuerzas por la junta horizontal de 7,5 mm de cantos rectos con cámara no confinada.

5. Ensayos para cantos horizontales modificados

Figura 5-1. Esquema de los cantos de junta horizontal ensayados.

Tabla 5.1-1. Casos a ensayar para junta horizontal de cantos modificados.

Figura 5.2-1. Detalle de junta horizontal con cantos biselados.

Tabla 5.2.1-1. Datos de los ensayos para junta horizontal con cantos biselados.

Figura 5.2.1-2. Porcentaje de agua infiltrada para cámara no confinada y confinada de cantos acanalados con proyección de agua.

Figura 5.2.1-3. Porcentaje de agua infiltrada para cámara no confinada y confinada de cantos acanalados con proyección de agua y viento.

Figura 5.2.1-4. Esquema interpretativo de entrada de agua por la junta horizontal con cantos acanalados en fachadas con la cámara no confinada sometidas a agua y viento.

Figura 5.2.1-5. Esquema interpretativo de entrada de agua por la junta horizontal de cantos acanalados en fachadas con la cámara confinada para ensayo con agua y viento.

Figura 5.2.1-6. Porcentaje de agua infiltrada para proyección de sólo agua o agua y viento con cantos acanalados y cámara confinada.

Figura 5.2.1-7. Porcentaje de agua infiltrada para proyección de sólo agua o agua y viento con cantos acanalados y cámara no confinada.

Figura 5.3-1. Detalle de junta horizontal con cantos acanalados.

Tabla 5.3.1-1. Datos de los ensayos para junta horizontal con cantos acanalados.

Figura 5.3.1-2. Porcentaje de agua infiltrada para cámara no confinada y confinada de cantos biselados con proyección de agua.

Figura 5.3.1-3. Porcentaje de agua infiltrada para cámara no confinada y confinada de cantos biselados con proyección de agua y viento.

Figura 5.3.1-4. Porcentaje de agua infiltrada para proyección de sólo agua o agua y viento con cantos biselados y cámara confinada.

Figura 5.3.1-5. Esquema interpretativo de entrada de agua por la junta horizontal de cantos biselados con cámara confinada para ensayo con agua y viento.

Figura 5.3.1-6. Porcentaje de agua infiltrada para proyección de sólo agua o agua y viento con cantos biselados y cámara no confinada.

Figura 5.3.1-7. Esquema interpretativo de entrada de agua por la junta horizontal de cantos biselados en fachadas con la cámara no confinada para ensayo con agua y viento.

Figura 5.4-1. Detalle de junta horizontal de cantos rebajados.

Tabla 5.4.1-1. Datos de los ensayos para junta horizontal de cantos rebajados.

Figura 5.4.1-2. Porcentaje de agua infiltrada para cámara no confinada y confinada de cantos rebajados con proyección de agua.

Figura 5.4.1-3. Porcentaje de agua infiltrada para cámara no confinada y confinada de cantos rebajados con proyección de agua y viento.

Figura 5.4.1-4. Esquema interpretativo de entrada de agua por la junta horizontal de cantos rebajados en fachadas con la cámara no confinada sometidas a agua y viento.

Figura 5.4.1-5. Esquema interpretativo de entrada de agua por la junta horizontal con cantos rebajados en fachadas con la cámara confinada con proyección de agua y viento.

Figura 5.4.1-6. Porcentaje de agua infiltrada para proyección de sólo agua o agua y viento con cantos rebajados y cámara confinada.

Figura 5.4.1-7. Porcentaje de agua infiltrada para proyección de sólo agua o agua y viento con cantos rebajados y cámara no confinada.

Tabla 5.5.1-1. Resumen de datos obtenidos de infiltración de agua por las juntas horizontales de diversos cantos en fachadas ventiladas con cámara no confinada.

Tabla 5.5.2-1. Resumen de datos obtenidos de infiltración de agua por las juntas horizontales de diversos cantos en fachadas ventiladas con cámara confinada.

Figura 5.6-1. Diagrama comparativo de infiltración de agua por junta horizontal con distintos tipos de canto, amplitud de junta y con cámara no confinada para ensayos con agua y viento.

Figura 5.6-2. Diagrama comparativo de infiltración de agua por junta horizontal con distintos tipos de canto, amplitud de junta y con cámara confinada para ensayos con agua y viento.

6. Ensayos para canto vertical liso y varios tipos de canto horizontal

Figura 6.1-1. Cara expuesta de la fachada con juntas horizontales y verticales.

Figura 6.1-2. Cara interior de la fachada con juntas horizontales y verticales vista desde la cámara de aire.

Tabla 6.1-3. Casos a ensayar para juntas combinadas horizontales y verticales.

Figura 6.2-1. Esquema de junta horizontal recta y junta vertical recta.

Tabla 6.2.1-1. Datos de los ensayos para junta horizontal y vertical de cantos rectos.

Figura 6.2.1-2. Porcentaje de agua infiltrada en fachadas con junta horizontal de cantos rectos y junta vertical de cantos rectos para ensayos con agua.

Figura 6.2.1-3. Porcentaje de agua infiltrada en fachadas con junta horizontal de cantos rectos y junta vertical de cantos rectos para ensayo con agua y viento.

Figura 6.2.1-4. Porcentaje de agua infiltrada en fachadas con junta horizontal de cantos rectos y junta vertical de cantos rectos con cámara confinada.

Figura 6.2.1-5. Porcentaje de agua infiltrada en fachadas con junta horizontal de cantos rectos y junta vertical de cantos rectos con cámara no confinada.

Figura 6.3-1. Esquema de fachada con junta horizontal de cantos biselados y junta vertical de cantos rectos.

Tabla 6.3.1-1. Datos de recogida de agua en los ensayos para junta horizontal de cantos biselados y junta vertical de cantos rectos.

Figura 6.3.1-2. Porcentaje de agua infiltrada en fachadas por junta horizontal de cantos biselados y junta vertical de cantos rectos en ensayo con agua.

Figura 6.3.1-3. Porcentaje de agua infiltrada en fachadas por junta horizontal de cantos biselados y junta vertical de cantos rectos en ensayo con agua y viento.

Figura 6.3.1-4. Porcentaje de agua infiltrada por junta horizontal de cantos biselados y junta vertical de cantos rectos con cámara confinada.

Figura 6.3.1-5. Porcentaje de agua infiltrada por junta horizontal de cantos biselados y junta vertical de cantos rectos con cámara no confinada.

Figura 6.4-1. Esquema de fachada con junta horizontal de cantos biselados y junta vertical de cantos rebajados.

Figura 6.4-2. Montaje de dispositivo con junta horizontal de cantos rebajaos y junta vertical de cantos rectos.

Tabla 6.4.1-1. Datos de los ensayos para junta horizontal de cantos rebajados y junta vertical de cantos rectos.

Figura 6.4.1-2. Porcentaje de agua infiltrada por fachadas con junta horizontal de cantos rebajados y junta vertical de cantos rectos en ensayo con agua.

Figura 6.4.1-3. Porcentaje de agua infiltrada por junta horizontal de cantos rebajados y junta vertical de cantos rectos en ensayo con agua y viento.

Figura 6.4.1-4. Porcentaje de agua infiltrada por junta horizontal de cantos rebajados y junta vertical de cantos rectos con cámara confinada.

Figura 6.4.1-5. Porcentaje de agua infiltrada por junta horizontal de cantos rebajados y junta vertical de cantos rectos con cámara no confinada.

Tabla 6.5.1-1. Datos comparativos de infiltración de agua por junta horizontal de distintos cantos y junta vertical de cantos rectos en fachadas ventiladas básicas (con cámara no confinada).

Tabla 6.5.2-1. Datos comparativos de infiltración de agua por junta horizontal de distintos cantos y junta vertical de cantos rectos en fachadas ventiladas básicas (con cámara no confinada).

Anexos

I. Comunicaciones en congresos y publicaciones derivadas de esta tesis

- I.1. “Entrada de agua en fachadas ventiladas de piedra”, CINPAR 2011, Fortaleza (Brasil).
- I.2. “Entrada de agua en juntas horizontales de Aplacados Ventilados de Piedra”, CINPAR 2014, Santiago de Chile (Chile).

II. Listado de datos de lectura de caudal de agua

Lecturas de datos de presión de aire y caudal de agua recogidos por ordenador en cada ensayo realizado en las instalaciones del CITEEC.

Se incorporan a este anexo a modo ilustrativo los datos de uno de los 84 ensayos realizados. En este caso concreto se ha incluido el listado del ensayo para junta horizontal de cantos rectos, con la cámara no confinada y el dispositivo sometido a proyección de agua y viento.

I. Comunicaciones en congresos y publicaciones derivadas de esta tesis

I. Comunicaciones en congresos y publicaciones derivadas de esta tesis

I. Comunicaciones en congresos y publicaciones derivadas de esta tesis

I. Comunicaciones en congresos y publicaciones derivados de esta tesis

Parte de la investigación realizada para la elaboración de esta tesis ha dado lugar a comunicaciones en congresos que pueden ser consultadas en los Anexos:

- Comunicación ***Entrada de agua en fachadas ventiladas de piedra*** presentada en el Congreso Internacional sobre Patologías y Rehabilitación de Estructuras - CINPAR 2011, celebrado en Fortaleza, Brasil. Junio 2011.

Autores	García Bescansa, Felipe/ Fernández Madrid, Joaquín
Título	“Entrada de agua en fachadas ventiladas de piedra”.
Congreso	7º Congreso Internacional Sobre Patología Y Recuperación de Estructuras – CINPAR 2011 Fortaleza, Brasil, 2 a 4 de Junio de 2011
Publicación	Libro de Resúmenes 7º Congreso Internacional Sobre Patología Y Recuperación de Estructuras – CINPAR 2011, Fortaleza, Brasil, 2 a 4 de Junio de 2011.
Lugar de celebración	Fortaleza, Brasil
Año	Junio de 2011

- Comunicación ***Entrada de agua por las juntas horizontales de un aplacado de piedra ventilado en relación con el diseño del canto de las placas*** presentada en el Congreso Internacional sobre Patologías y Rehabilitación de Estructuras - CINPAR 2014, celebrado en Santiago de Chile, Chile. Junio 2014.

Autores	García Bescansa, Felipe/ Fernández Madrid, Joaquín
Título	“Entrada de agua en juntas horizontales de Aplacados Ventilados de Piedra”.
Congreso	10º Congreso Internacional Sobre Patología Y Recuperación de Estructuras – CINPAR 2014 Santiago - Chile, 2 a 4 de Junio de 2014
Publicación	Libro de Resúmenes 10º Congreso Internacional Sobre Patología Y Recuperación de Estructuras – CINPAR 2014 Santiago - Chile, 2 a 4 de Junio de 2014 – ISBN 978-956-14-1442-6
Lugar de celebración	Santiago (Chile)
Año	Junio de 2014

I. Comunicaciones en congresos y publicaciones derivadas de esta tesis

ENTRADA DE AGUA EN APLACADOS VENTILADOS DE PIEDRA. FACHADAS VENTILADAS

Felipe García Bescansa

felipe.gbescansa@udc.es

Investigador, Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universidade da Coruña.

Joaquín Fernández Madrid.

jfmadrid@udc.es

*Profesor Doctor, Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universidade da
Coruña.*

Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Castro de Elviña s/n. 15172 – A Coruña. Spain

1. Resumen

Según Garden son seis las fuerzas que introducen agua por las juntas del revestimiento de una fachada.

El sistema ideado como “fachada ventilada” permite diseñar cada uno de los elementos que la componen para llegar a anular dichas fuerzas y evitar así la entrada de agua.

En este artículo se cuantifica la porción de agua que entra en la cámara por las juntas del aplacado ventilado de piedra, en relación con el grado de confinamiento de la cámara y la amplitud de la junta.

Palabras clave: Fachada ventilada, aplacado de piedra, cámara de aire.

2. Introducción

En la bibliografía técnica al uso ^[5] acerca de las fachadas ventiladas se afirma que éstas minimizan o evitan la entrada de agua por las juntas.

Garden, el primero en caracterizar este tipo de fachada, establece que la pantalla pluvial consigue evitar la entrada de agua en un revestimiento de fachada con juntas abiertas, si se consigue neutralizar las seis fuerzas que tratan de introducirla: fuerza gravitatoria, cinética, tensión superficial, capilaridad, ráfagas de viento y diferencias de presión.

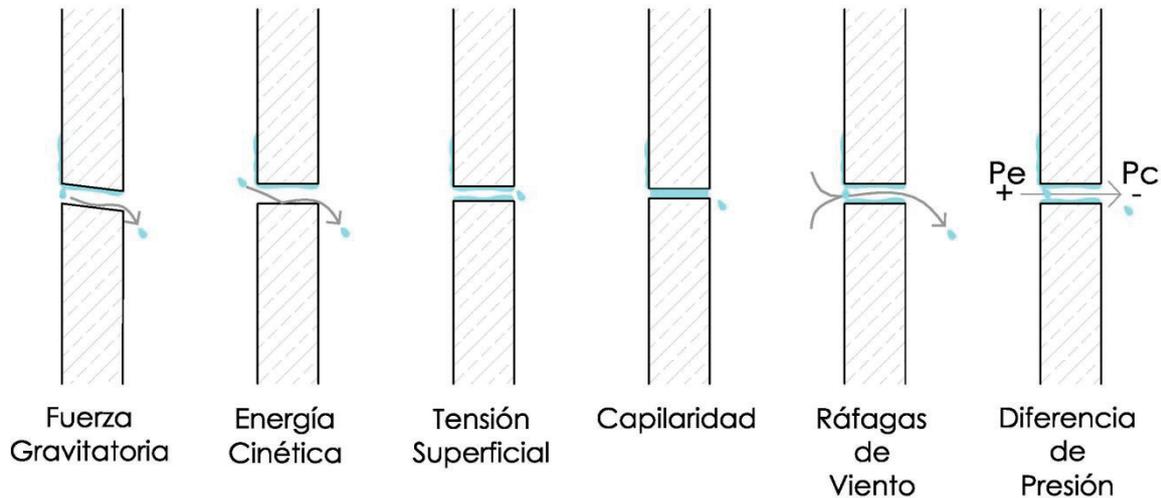


Figura 1: Fuerzas que intervienen en la entrada de agua en la cámara

En los textos se suele concentrar el esfuerzo en neutralizar los dos últimos tipos de fuerzas, dando por supuesto que las anteriores ya están resueltas. Esto puede suponerse en fachadas de paneles metálicos y otras por el estilo.

Sin embargo cuando se ejecutan fachadas ventiladas con aplacados de piedra sus bordes suelen ser rectos, sin ningún tipo de geometría que impida la actuación de las cuatro fuerzas restantes.

En este estudio realizado en el laboratorio se pretende establecer la relación existente entre la entrada de agua a través de las juntas de un aplacado ventilado y las fuerzas actuantes.

De estas seis fuerzas posibles, en el caso concreto de aplacados de piedra ventilados, podemos suponer que:

- la fuerza gravitatoria está anulada siempre que los cantos horizontales estén a escuadro con la superficie del aplacado, y sólo habría que tenerla en cuenta en cambios de plano, balcones, repisas, etc.
- la fuerza cinética y la tensión superficial siempre actuarán.
- la magnitud de la fuerza de capilaridad comienza a ser relevante a partir de amplitudes de junta menores de 5 mm, por lo que podemos considerarla como no actuante.
- las fuerzas originadas por ráfagas de viento y diferencia de presión se pueden asimilar una a otra, pues ambas se convierten en masas de aire que, al infiltrarse por la junta, introducen agua en la cámara.

En el cuadro siguiente se sintetiza la presencia de cada una de las fuerzas actuantes en nuestro estudio:

Tipo de fuerza	Actuante	Condición
Gravitatoria	Anulada	Por borde recto horizontal
Cinética	Anulada	El agua se proyecta por encima de la junta
Tensión superficial	Siempre	-
Capilaridad	Sólo si	Espesor menor de 5 mm
Ráfagas de viento	Sólo si	La cámara no está ecualizada
Diferencia de presión	Sólo si	La cámara no está ecualizada

Cuadro 1: Fuerzas que intervienen en la entrada de agua en cámara en una fachada de aplacado de piedra

3. Objetivos de la investigación

Los objetivos de esta investigación son tres:

1. Cuantificar el agua que se infiltra por las juntas en relación con la amplitud de éstas.
2. Distinguir la porción de agua infiltrada a causa de la tensión superficial y la porción debida a la diferencia de presión.
3. Relacionar ambas cantidades con los diferentes grados de confinamiento de la cámara.

Para poder obtener las cantidades del primer punto se ha desarrollado un dispositivo que permite modificar la amplitud de la junta con incrementos de 0.5 mm sin desmontar las placas, tomando muestras de recogida de agua para aberturas de 5.0, 7.5 y 10.0 mm.

El segundo punto se logra sometiendo la parte superior del modelo a proyección de agua con cantidades y tiempos establecidos, dejando que ésta descienda en régimen laminar por la placa superior hasta alcanzar la junta horizontal, momento en el que una parte del agua se infiltra hacia el interior de la cámara colgada por el canto –debido a la tensión superficial - y otra sigue su marcha hacia la placa siguiente. La cantidad de agua recogida será lo porción buscada. Durante este ensayo el equipo de pruebas mantiene la presión atmosférica.

Si se repite el mismo ensayo pero con escalones crecientes de presión en la cara expuesta, la cantidad de agua infiltrada aumentará al estar presentes dos fuerzas: la tensión superficial y las derivadas de diferencia de presión. La cantidad total infiltrada Q_t es la suma de la porción de agua infiltrada por la tensión superficial Q_t_s y la porción debida a la diferencia de presión Q_{dp} .

La relación enunciada en el punto 3 se consigue repitiendo los ensayos en semejantes condiciones geométricas y de presión, modificando tan sólo el grado de confinamiento de la cámara.

4. Modelo

Se prepara un modelo para ser ensayado en laboratorio, que reproduce una fachada ventilada de aplacado de piedra de 3 cm de espesor, con una superficie expuesta de un metro cuadrado. Dicho modelo (*Figura 2*) está formado por un cajón de madera de dimensiones 1.160x1.116x380 mm, y espesor de 30 mm, al que se fija un marco con perfiles angulares de aluminio que servirán para soportar las placas de piedra. La placa inferior se fija a dicho marco y la superior desliza por el marco lateral suspendida mediante dos varillas roscadas que permiten regular la amplitud de junta.

Las placas de piedra dividen el espacio de la caja en dos cámaras: la más amplia (E) emula el exterior del edificio, y la otra (C) cerrada por el interior con un vidrio laminado emula la cámara de aire de la fachada ventilada.

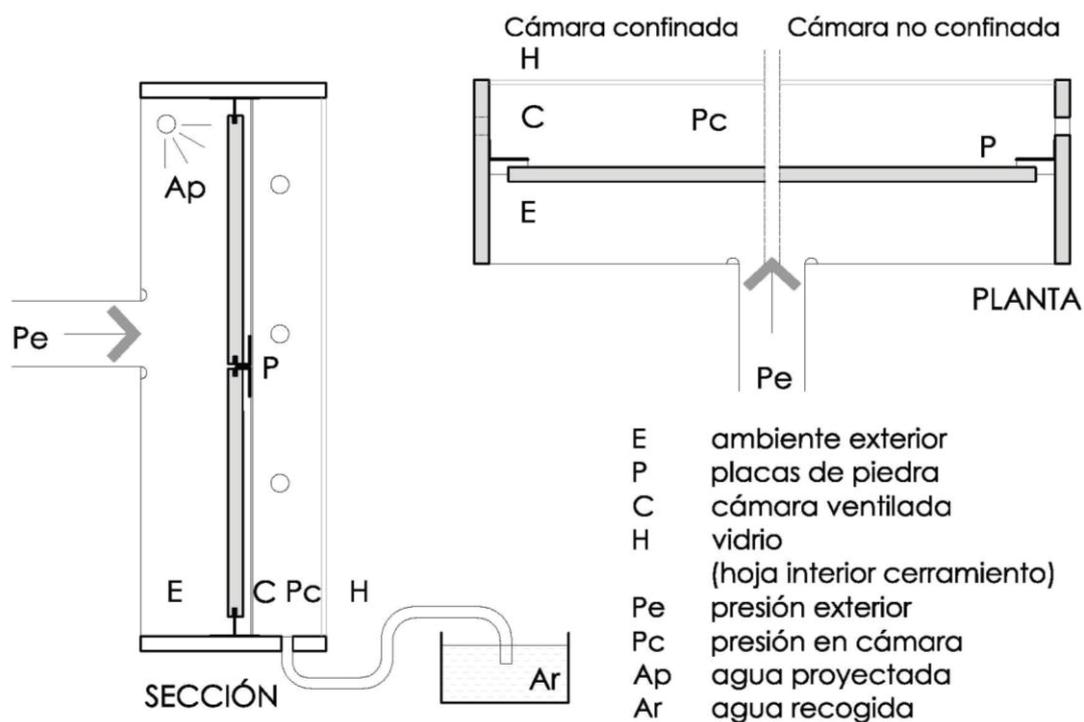


Figura 2: Modelo de ensayos

Para cuantificar el agua que se infiltra en la cámara, el modelo dispone de un orificio en la parte inferior que conduce el agua recogida a un depósito estanco (sin que por este conducto se escape el aire de la cámara)

5. Desarrollo de las pruebas

Se han realizado los ensayos en el laboratorio del CITEEC de la Universidad de La Coruña colocando el modelo a escala 1:1 descrito en el apartado anterior, en el banco de pruebas de estanquidad de carpinterías a viento y lluvia según la norma UNE EN 12210.

Dicho dispositivo permite someter el modelo a diversas situaciones: distintos escalones de presión de viento (0-50-100-150-200-250-300-450-600 Pa), proyección de agua mediante tres aspersores ubicados en la parte superior, y ambas condiciones atmosféricas.

Para poder establecer una comparación correcta de los datos se aplican los mismos parámetros en cada ensayo. A saber: flujo de agua constante (6,5 l/min) y tiempo de proyección de agua constante, de tal forma que la cantidad total proyectada es la misma para los distintos ensayos a comparar.

En las siguientes imágenes se muestran las dos caras del modelo montado sobre el dispositivo de ensayo.



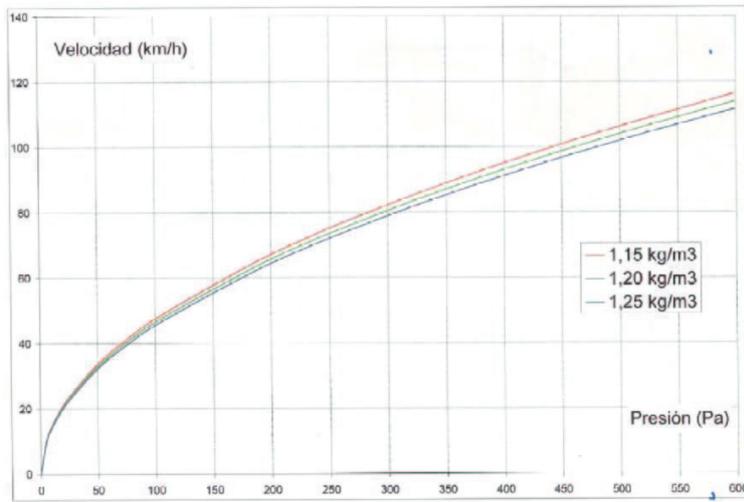
Imagen 1: Cara interior de la fachada.



Imagen 2: Cara expuesta de la fachada.

El banco de pruebas permite ensayar cerramientos a distintas presiones.

En el *Cuadro 2* se muestra la equivalencia entre Presión (Pa) y Velocidad de viento (Km/h). La máxima presión de prueba (600 Pa) equivale a presiones de viento de 120 Km/h.



Cuadro 2: Equivalencia entre Presión y Velocidad de agua proyectada

Se ensayan 3 amplitudes de junta horizontal. Para cada amplitud de junta se realizan dos ensayos: uno proyectando agua con presión atmosférica y otro aplicándole los escalones de sobrepresión que marca la norma.

En el siguiente cuadro se recogen las características de cada una de ellas:

HIPÓTESIS	Ancho de junta	Ventilación cámara	Grado de confinamiento
1	5,0 mm	0%	Confinada
2	5,0 mm	24%	No confinada
3	7,5 mm	0%	Confinada
4	7,5 mm	24%	No confinada
5	10,0 mm	0%	Confinada
6	10,0 mm	24%	No confinada

Cuadro 3: Hipótesis ensayadas

Nota: La ventilación de la cámara se indica en relación al porcentaje de su perímetro lateral ventilado con respecto al total del mismo.

El confinamiento de la cámara permite la equalización de su presión interna con la del ambiente exterior. Los ensayos se llevan a cabo con ambas situaciones, como se muestra en la Figura 3, para analizar las posibles diferencias de infiltración de agua.

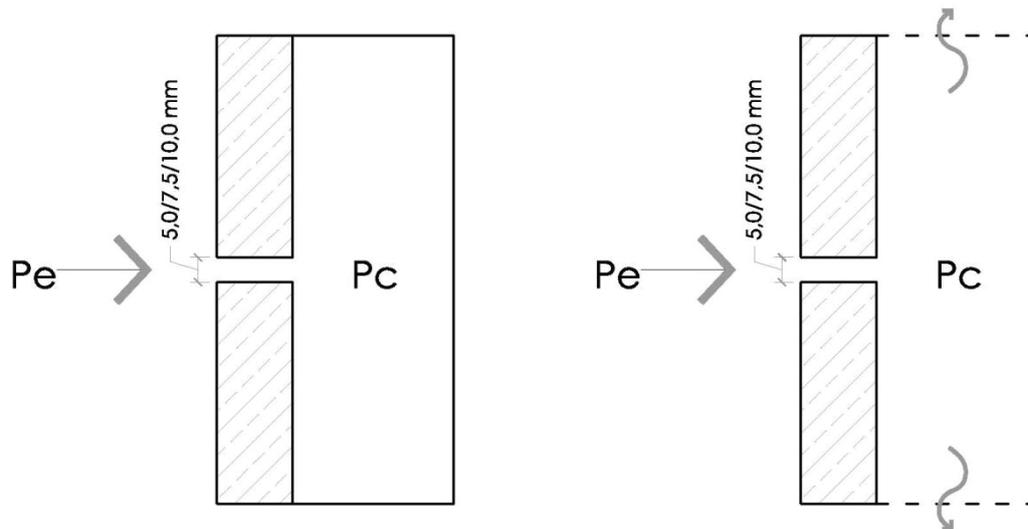


Figura 3: Esquemas de confinación de la cámara

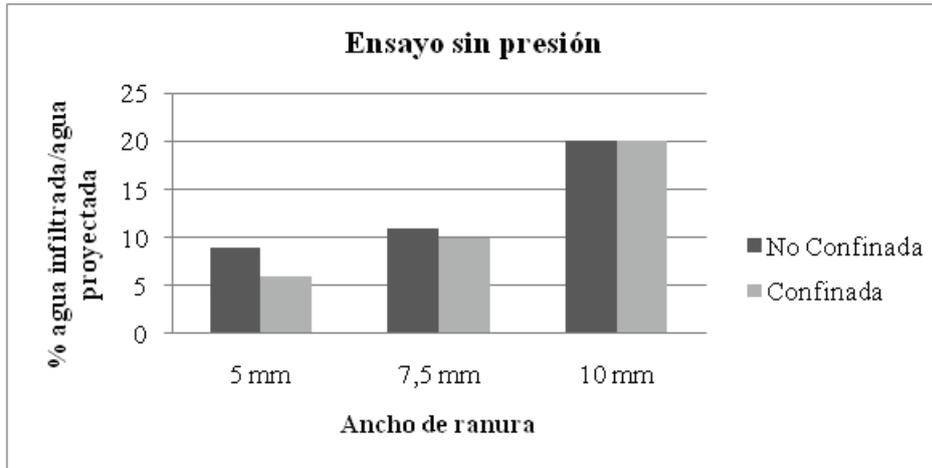
6. Resultados

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos de la recogida de agua para las distintas hipótesis ensayadas.

RECOGIDA DE AGUA INFILTRADA EN CÁMARA VENTILADA						
			ENSAYO CON PRESIÓN		ENSAYO SIN PRESIÓN	
Hipótesis	Ancho ranura	Confinamiento cámara	% agua infiltrada/agua proyectada	Infiltración de agua en cámara (L/min)	% agua infiltrada/agua proyectada	Infiltración de agua en cámara (L/min)
Ensayo a 5,0 mm						
1	5 mm	NO	34%	2,19	9%	0,57
2	5 mm	SÍ	8%	0,54	6%	0,37
Ensayo a 7,5 mm						
3	7,5 mm	NO	34%	2,23	11%	0,73
4	7,5 mm	SÍ	11%	0,68	10%	0,62
Ensayo a 10,0 mm						
5	10 mm	NO	34%	2,23	20%	1,32
6	10 mm	SÍ	20%	1,31	20%	1,30

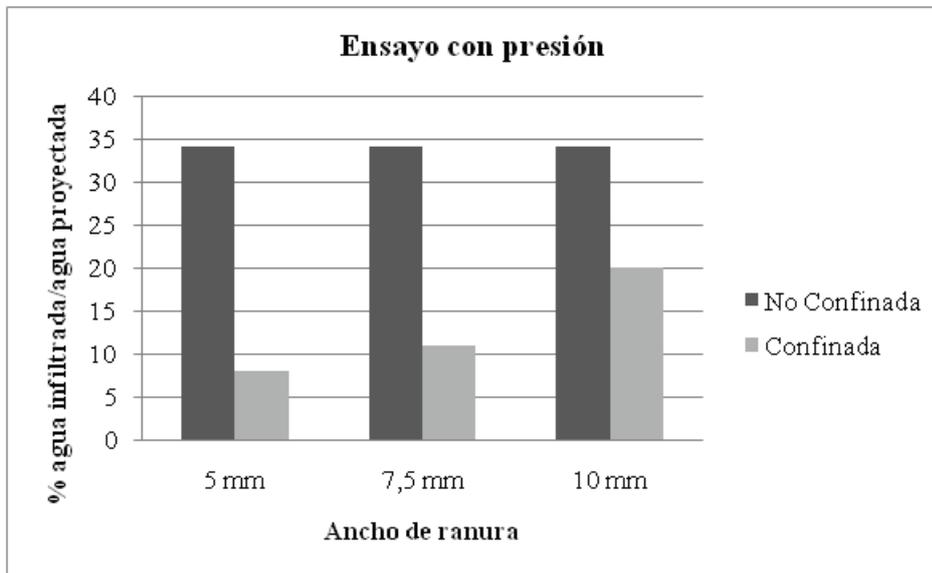
Cuadro 4: Tabla de valores obtenidos

En el ensayo sin presión dado que el resto de fuerzas están anuladas la única activa es la tensión superficial, por lo que se puede aislar, y por tanto cuantificar la porción de agua que se infiltra en la cámara debido a dicha fuerza.



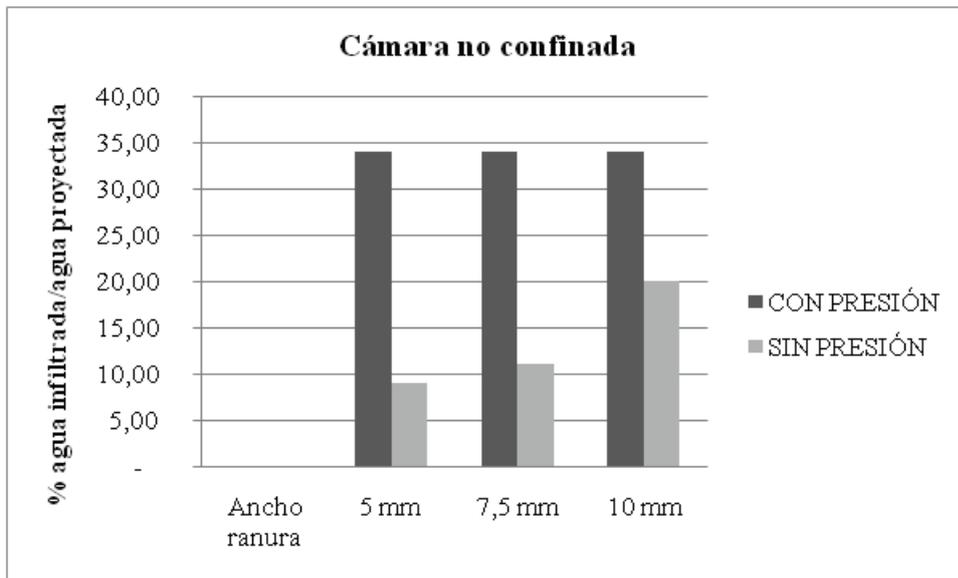
Cuadro 5: Diagrama % agua infiltrada sin presión de viento

Se observa que cuando la cámara está confinada la infiltración de agua disminuye, al igual que cuando la abertura de la junta horizontal es menor.



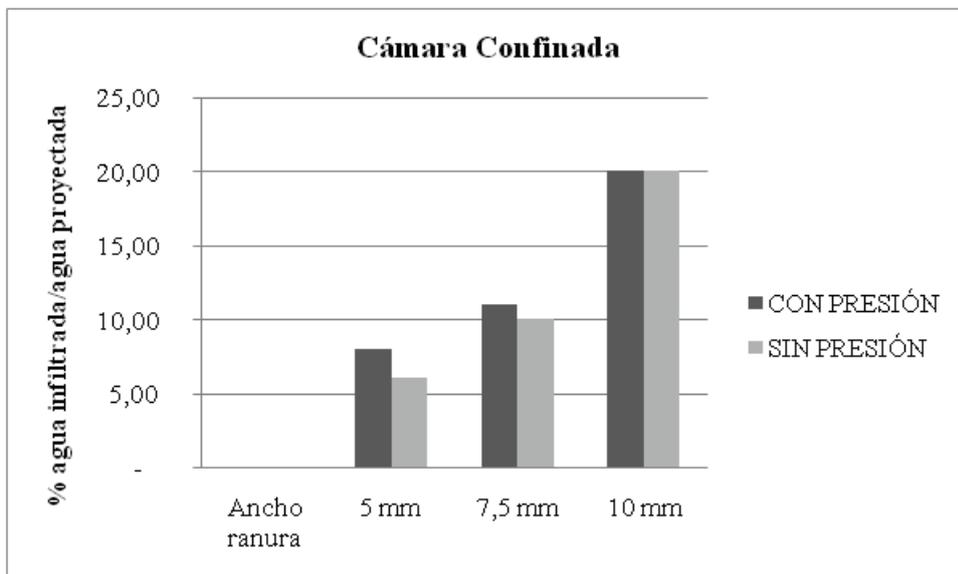
Cuadro 6: Diagrama % agua infiltrada con presión de viento

En el ensayo con presión las fuerzas a considerar son la tensión superficial y la diferencia de presión. Se puede cuantificar la porción de agua infiltrada por diferencia de presión deduciendo la porción de agua infiltrada por tensión superficial anteriormente cuantificada.



Cuadro 7: Diagrama comparativo de Cámara No Confinada Con Presión y Sin Presión

Quando la cámara de aire no está confinada, y por tanto la presión exterior es mayor que la de la cámara, se observa que la infiltración de agua aumenta considerablemente con respecto a cuando la cámara se encuentra confinada. Por otra parte en esa circunstancia la infiltración de agua se mantiene prácticamente constante con independencia de la abertura de la junta horizontal.

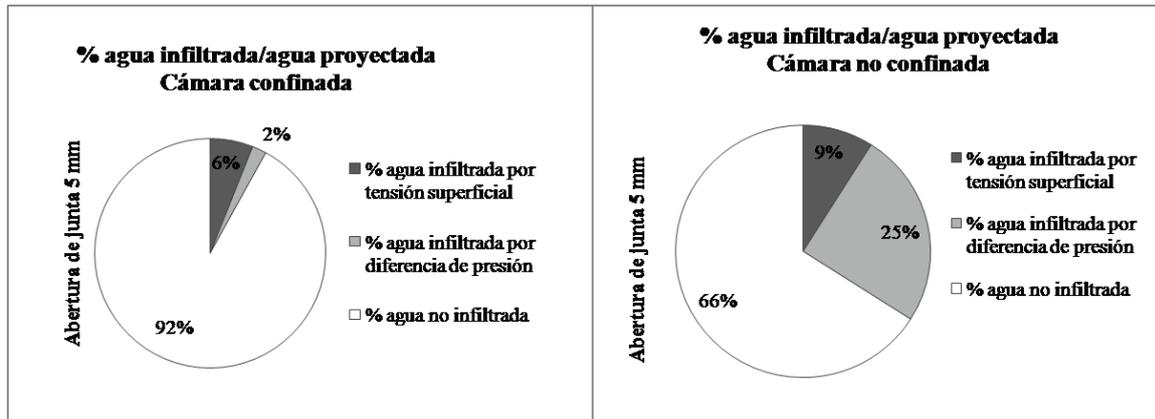


Cuadro 8: Diagrama comparativo de Cámara Confinada Con Presión y Sin Presión

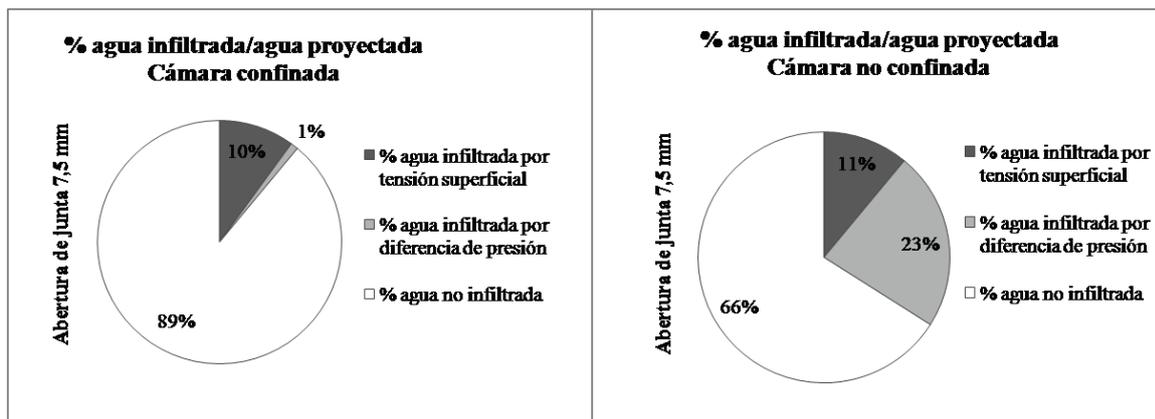
Con la cámara confinada la única fuerza que actúa es la tensión superficial por lo que la diferencia entre la infiltración en el ensayo con presión y sin presión es despreciable.

7. Conclusiones

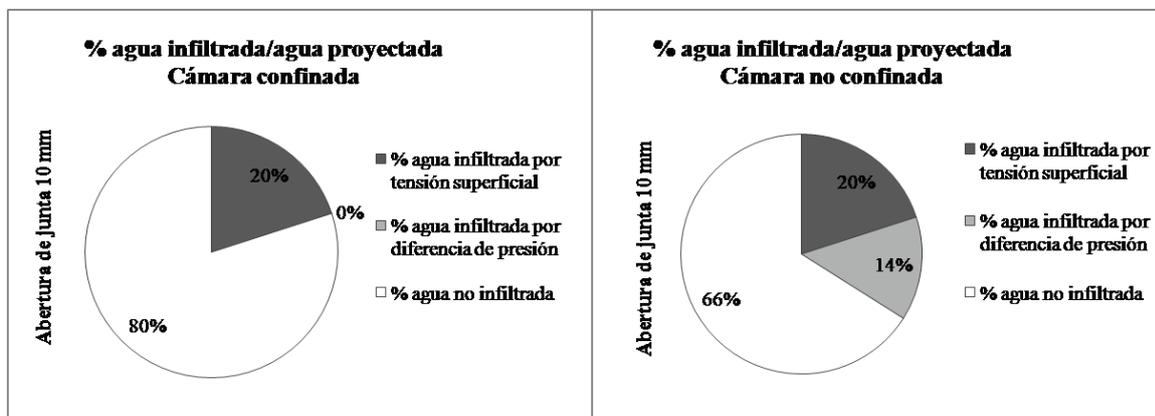
En los siguientes gráficos se sintetiza la porción de agua que se infiltra en la cámara de aire en función de las fuerzas que intervienen y para las distintas hipótesis de abertura de junta y condiciones de confinamiento.



Cuadro 9: Diagrama comparativo de Cámara Confinada y No Confinada para 5 mm de abertura.



Cuadro 10: Diagrama comparativo de Cámara Confinada y No Confinada para 7,5 mm de abertura.



Cuadro 11: Diagrama comparativo de Cámara Confinada y No Confinada para 10 mm de abertura.

De los datos obtenidos se puede concluir que la entrada de agua por la junta de un aplacado de piedra ventilado está condicionada principalmente por el grado de confinamiento de la cámara, ya que las infiltraciones menores se obtienen en aquellos supuestos en los que la fachada se encuentra confinada.

En estos casos, la repercusión de la abertura de junta es relevante: las menores tasas de infiltración se consiguen con juntas de 5 mm (8 %), seguidas por las de 7,5 mm (11%) y las de 10,0 mm (20%). La porción de agua infiltrada por causa de la tensión superficial es en todos los casos proporcionalmente muy superior a la que infiltra la diferencia de presión, cuya aportación es prácticamente despreciable.

Por otra parte, en aplacados de piedra ventilados con cámara no confinada la tasa de infiltración es más elevada que en aquellos que tienen cámara confinada, y no existe diferencias apreciables en la cantidad infiltrada sea cual sea la abertura de la junta.

Por lo tanto concluimos que para una fachada ventilada con aplacados de 3cm de espesor las mejores condiciones para que la infiltración de agua sea menor son la amplitud de junta horizontal más pequeña (5 mm) y la cámara confinada.

8. Referencias

- [1] López Díaz, M.; Pérez González, M.J.; Ramos Méndez, I. *Estudio de la influencia de la superficie de ventilación en la ecualización de la presión de una fachada ventilada*, Trabajo de investigación tutelado por el catedrático Fernández Madrid, Joaquín, septiembre de 2007.
- [2] Joaquín Fernández Madrid. *Comportamiento de la fachada ventilada ante la lluvia y el viento*.
- [3] MINISTERIO DE VIVIENDA. **CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN. HS Salubridad. HS1 Protección frente a la humedad**. Madrid. Marzo de 2006.
- [4] AENOR. **NORMA UNE EN 1026:2000, Reglamento particular de la marca AENOR para ventanas y puertas**. Revisión 9 de enero de 2006.
- [4] Rousseau, M.Z. *Facts and Fictions of Rain-Screen Walls*. "Construction Canada" 32(2), 1990, p. 40, 42-44, 46
- [5]Ganguli, U. ; Dalglish, W.A., *Wind pressures on open rain screen walls: Place Air Canada*, **Journal of Structural Engineering**, vol. 114, no. 3, March 1988, pp. 642-656 (NRCC 28859).

Entrada de agua en aplacados ventilados de piedra

Water leakage in rain screen stone veneers

Felipe García Bescansa (1); Joaquín Fernández Madrid (2)

(1) Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universidad de A Coruña. España.

(2) Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universidad de A Coruña. España.

felipegbescansa@coag.es; jfmadrid@udc.es. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Edificio de Departamentos. ETSA. Campus Zapateira. 15192, A Coruña. España.

Resumen

Es un hecho bien conocido que por las juntas horizontales de aplacados ventilados de piedra –ordinariamente con placas de cantos lisos y rectos- se produce una cierta infiltración de agua, cantidad que, entre otros factores, resulta proporcional a la amplitud de la junta, o separación de sus cantos.

En esta comunicación se compara la cantidad de agua infiltrada por las juntas entre placas con cantos rectos frente a placas de cantos mejorados: bien ranurados, biselados o rebajados (figura 1), en combinación con diferentes grados de amplitud de la junta, para fachadas con la cámara no confinada, que es como nos encontramos este tipo de solución constructiva en la realidad. En las conclusiones se establecen recomendaciones relativas a su diseño en base a dichos parámetros con el fin de minimizar la infiltración de agua.

Palabras-Clave: Fachada ventilada, aplacado de piedra, entrada de agua, cámara de aire.

Abstract

It is well known that the horizontal joints of facings ventilated stone ordinarily plates smooth and singing some water infiltration, amount, among other factors, is proportional to the amplitude of the board, or straight-occurs made separation of their songs.

In this paper the amount of water infiltrated the joints between plates with straight edges face plates improved compared songs: well grooved, beveled or sale (figure 1), in combination with different degrees of amplitude of the board, with the camera facade unconfined , which is how we found this kind of constructive solution in reality. In the conclusions set out recommendations regarding the design based on those parameters in order to minimize water infiltration.

Keywords: Rain screen, stone veneers, water inlet tube, air cavity.

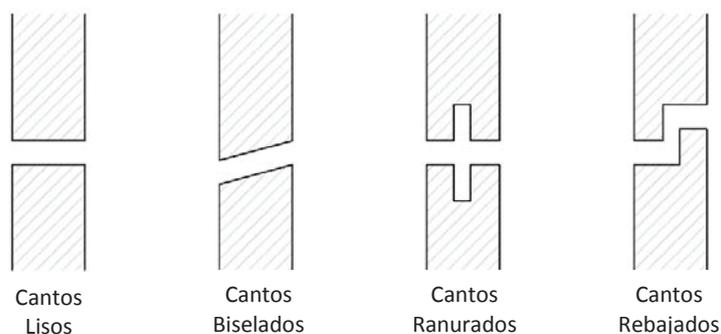


Fig. 1 – Tipo de junta según el diseño del canto de las placas

1 Introducción

En la bibliografía técnica al uso^[1] acerca de las fachadas ventiladas se afirma que éstas minimizan o evitan la entrada de agua por las juntas.

Garden^[2], el primero en caracterizar este tipo de fachada, establece que la pantalla pluvial logra evitar la entrada de agua en un revestimiento de fachada con juntas abiertas, si se consiguen neutralizar las seis fuerzas que tratan de introducirla: fuerza gravitatoria, cinética, tensión superficial, capilaridad, ráfagas de viento y diferencias de presión (figura 2).

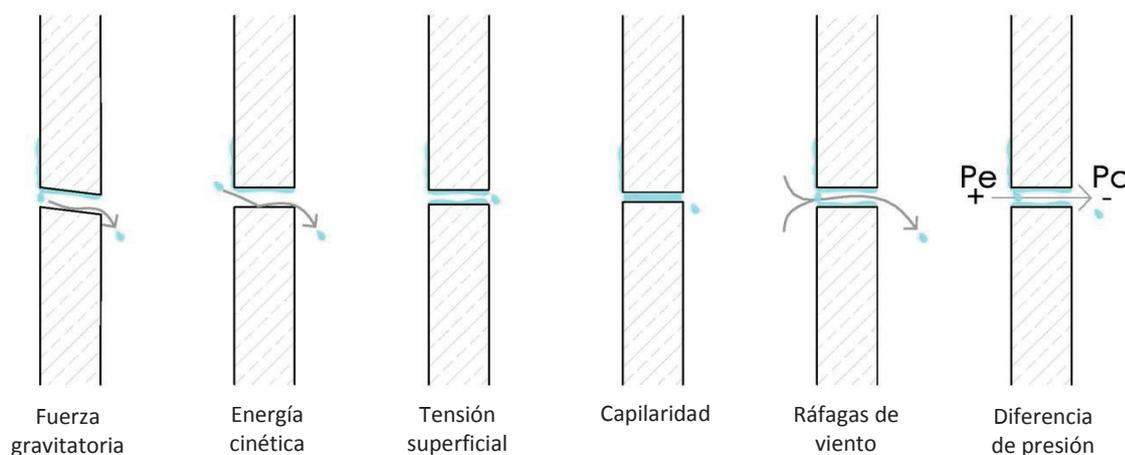


Fig. 2 – Fuerzas que intervienen en la entrada de agua en la cámara

Generalmente se suele concentrar el esfuerzo en resolver los dos últimos tipos de fuerzas, dando por supuesto que las cuatro restantes ya están neutralizadas. Esto puede suponerse en fachadas de paneles metálicos y otras soluciones constructivas semejantes. Sin embargo no es así en las fachadas ventiladas con aplacados de piedra, pues sus bordes suelen ser rectos, y nada impide que las cuatro fuerzas restantes sigan actuando.

En investigaciones anteriores^[3] se estudió la porción de agua que introducían dichas fuerzas. En esta comunicación se presenta el estudio realizado en laboratorio para establecer qué diseño de junta es más favorable a la hora de eliminar las fuerzas remanentes que pueden infiltrar agua en la cámara.

En el caso concreto de aplacados de piedra ventilados, podemos suponer que de las seis fuerzas posibles:

- la fuerza gravitatoria está anulada por el propio diseño de los cantos de las placas, y sólo habría que tenerla en cuenta en cambios de plano, balcones, repisas, etc.
- la fuerza cinética y la tensión superficial siempre actuarán.
- la magnitud de la fuerza de capilaridad comienza a ser relevante a partir de amplitudes de junta menores de 5 mm, por lo que podemos considerarla como no actuante.

- las fuerzas originadas por ráfagas de viento y diferencia de presión se pueden asimilar una a otra, pues ambas se convierten en masas de aire que, al infiltrarse por la junta, arrastran gotas de agua al interior de la cámara.

En el cuadro siguiente se indican las fuerzas actuantes en nuestro estudio:

Tabla 1 – Fuerzas que intervienen en la entrada de agua por las juntas de un aplacado ventilado de piedra.

Tipo de fuerza	Acción	Condición
Gravitatoria	Anulada	Por diseño de la junta horizontal
Cinética	Siempre	-
Tensión superficial	Siempre	-
Capilaridad	Sólo si	Espesor menor de 5 mm
Ráfagas de viento	Sólo si	La cámara no está ecualizada
Diferencia de presión	Sólo si	La cámara no está ecualizada

2 Objetivos de la investigación

Los objetivos de esta investigación son tres:

- 1 Cuantificar el agua que se infiltra por las juntas en relación con el diseño de los cantos y por la amplitud de junta.
- 2 Comparar los resultados de cantidad de agua infiltrada en la cámara en relación con el diseño y amplitud de junta.
- 3 Determinar si existe algún diseño de junta de aplacados de piedra que minimice la entrada de agua por las juntas.

Para alcanzar el primer objetivo, será necesario disponer de un modelo real de una fachada ventilada con aplacado de piedra, cuya junta horizontal pueda reducirse o ampliarse, con facilidad y sin desmontar las placas, dentro de las dimensiones habituales para este sistema (aberturas entre 5.0, 7.5 y 10.0 mm). De esta forma se podrá alcanzar con fiabilidad el segundo objetivo: comparar la cantidad de agua infiltrada en cada una de las configuraciones.

Logrado ese modelo real, bastará ensayar primeramente las placas de piedra con cantos lisos, para a continuación, repetir los ensayos en semejantes condiciones geométricas y de presión, para el resto de diseños de cantos.

3 Dispositivo

Se prepara un dispositivo, para ser ensayado en laboratorio, que reproduce una fachada ventilada de aplacado de piedra de 3 cm de espesor, con una superficie expuesta de un metro cuadrado.

Dicho modelo (figura 3) está formado por un cajón de tablero laminado de dimensiones 1.160x1.116x380 mm y espesor de 30 mm, al que se fija un marco con perfiles angulares de aluminio para soportar las placas de piedra. La placa inferior se fija a dicho marco y la superior desliza por el marco lateral suspendida mediante dos varillas roscadas que permiten regular la amplitud de junta (a 5, 7.5 y 10 mm, respectivamente).

Los ensayos se han realizado en el laboratorio del CITEEC de la Universidad de A Coruña colocando el dispositivo en el banco de pruebas de estanquidad de carpinterías a viento y lluvia, el cual, según la Norma UNE EN 1026:2000^[4], permite someter el modelo a diversas situaciones: a) sucesivos escalones de presión de viento (0-50-100-150-200-250-300-450-600 Pa); b) proyección de agua mediante tres aspersores ubicados en la parte superior, y c) ambas condiciones atmosféricas simultáneas.

Las placas de piedra dividen el espacio de la caja en dos cámaras: la más amplia (E) emula el exterior del edificio, y la otra (C), cerrada por el interior con un vidrio laminado, emula la cámara de aire de la fachada ventilada.

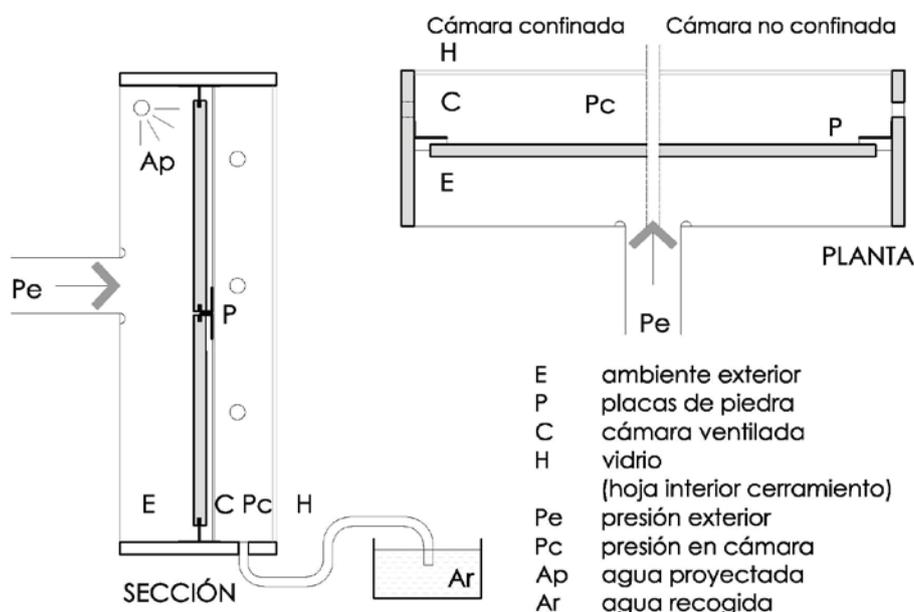


Fig. 3 – Dispositivo de ensayos

Para cuantificar el agua que se infiltra en la cámara, el dispositivo dispone de un orificio en la parte inferior que conduce el agua recogida a un depósito estanco (sin que por este conducto se escape el aire de la cámara).

4 Desarrollo de los ensayos

Para poder establecer una comparación de los resultados se aplican los mismos parámetros de ensayo: flujo de agua constante (6,5 l/min) y tiempo de proyección de agua constante, de tal forma que la cantidad total proyectada es la misma para los distintos ensayos a comparar.

En las siguientes imágenes se muestran las dos caras del dispositivo montado sobre el banco de ensayo.



Imagen 1- Cara expuesta de la fachada



Imagen 2- Cara interior de la fachada

Se ensayan 3 amplitudes de junta horizontal. Para cada amplitud de junta (5 – 7,5 - 10 mm) se realizan dos ensayos: uno proyectando agua a presión atmosférica y otro con proyección de agua y escalones de sobrepresión según la norma.

En el siguiente cuadro se recogen las características de las hipótesis ensayadas para cada diseño de canto, lo que hará un total de 24 ensayos:

Tabla 2 – Hipótesis ensayadas.

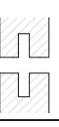
HIPÓTESIS	Ancho de junta	Ventilación cámara*	Presión del aire	Tiempo de proyección de agua
1	5,0 mm	24%	Presión Atmosférica	10 min
2	5,0 mm	24%	Sobrepresión	24 min
3	7,5 mm	24%	Presión Atmosférica	10 min
4	7,5 mm	24%	Sobrepresión	24 min
5	10,0 mm	24%	Presión Atmosférica	10 min
6	10,0 mm	24%	Sobrepresión	24 min

*Nota: Porcentaje de superficie de huecos de exfiltración de aire en el perímetro lateral de la cámara con respecto a la superficie total del mismo.

5 Resultados e interpretación

En la siguiente tabla se muestran las cantidades de agua infiltrada en la cámara para las distintas hipótesis ensayadas:

Tabla 3 – Tabla de agua infiltrada por tipo de canto, ancho de junta y situación de presión ambiental.

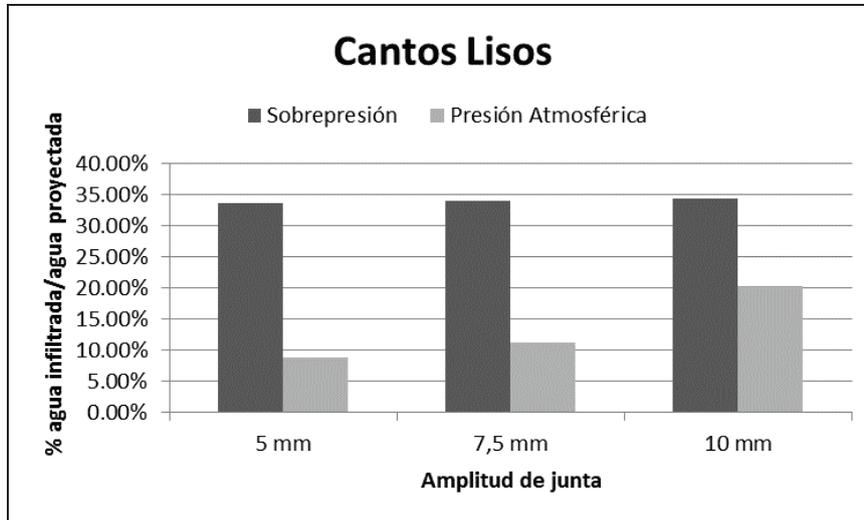
Cantidad de agua infiltrada en la cámara						
Tipo de canto	Ancho junta	Ensayo a Presión Atmosférica		Ensayo con Sobrepresión		
		Agua infiltrada en 10 min (l)	Agua infiltrada/agua proyectada (%)	Caudal de Infiltración (l/min)	Agua infiltrada en 24 min (l)	Agua infiltrada/agua proyectada (%)
 lisos	5 mm	5.7	8.77%	2.19	52.5	33.65%
	7,5 mm	7.3	11.23%	2.21	53.08	34.03%
	10 mm	13.26	20.40%	2.23	53.61	34.37%
 biselados	5 mm	0.6	0.92%	2.63	63.08	40.44%
	7,5 mm	1.16	1.78%	2.21	53.01	33.98%
	10 mm	1.26	1.94%	1.59	38.25	24.52%*
 ranurados	5 mm	5.18	7.97%	2.75	65.91	42.25%
	7,5 mm	14.66	22.55%	2.58	61.9	39.68%
	10 mm	14.66	22.55%	2.28	54.8	35.13%
 rebajados	5 mm	0.4	0.62%	1.87	44.82	28.73%
	7,5 mm	0,1	0.15%	2.01	48.34	30.99%
	10 mm	0.33	0.51%	1.97	47.19	30.25%

*Valor mínimo obtenido.

En los ensayos a presión atmosférica la única fuerza activa es la tensión superficial, dado que la fuerza cinética no actúa, al situarse la proyección de agua unos 40 cm por encima de la junta, y el resto de fuerzas están neutralizadas. Esto explica que la cantidad de agua infiltrada sea tan pequeña comparada con la infiltrada en situación de sobrepresión. Esta situación ambiental, de precipitación de agua y ausencia de viento, es poco frecuente y apenas podría resultar en aquellos momentos de calma entre ráfagas de viento.

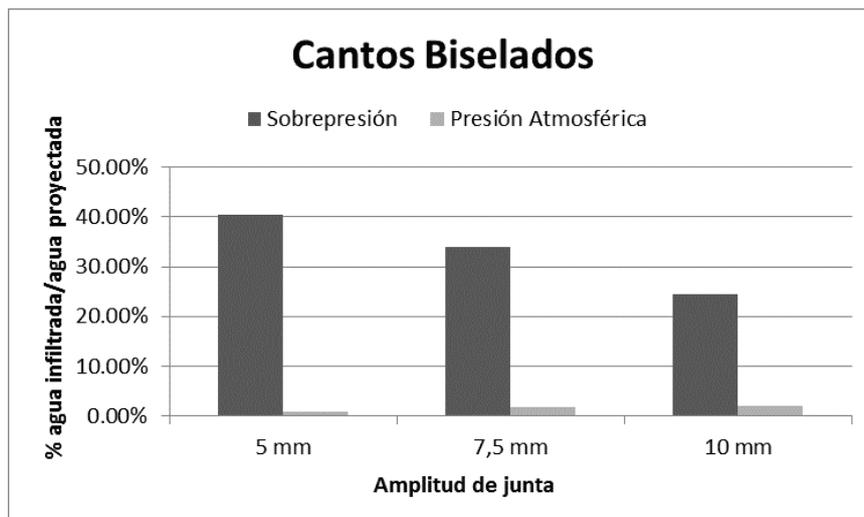
A continuación se plasman y analizan los resultados de infiltración de agua para cada tipo de diseño de canto, en función de las hipótesis establecidas para el presente estudio.

Tabla 4 – Porcentaje agua infiltrada para junta de cantos lisos.



Con el diseño de canto liso, se observa a sobrepresión, que la infiltración de agua es prácticamente invariable en torno al 34%, independientemente de la amplitud de la junta, siendo sin embargo proporcional a ésta con el agua proyectada sin sobrepresión. Para 5 y 7,5 mm se forma un menisco que limita la porción de agua infiltrada, situación que no se produce para una amplitud de 10 mm, donde la tensión superficial no se ve afectada por dicho obstáculo.

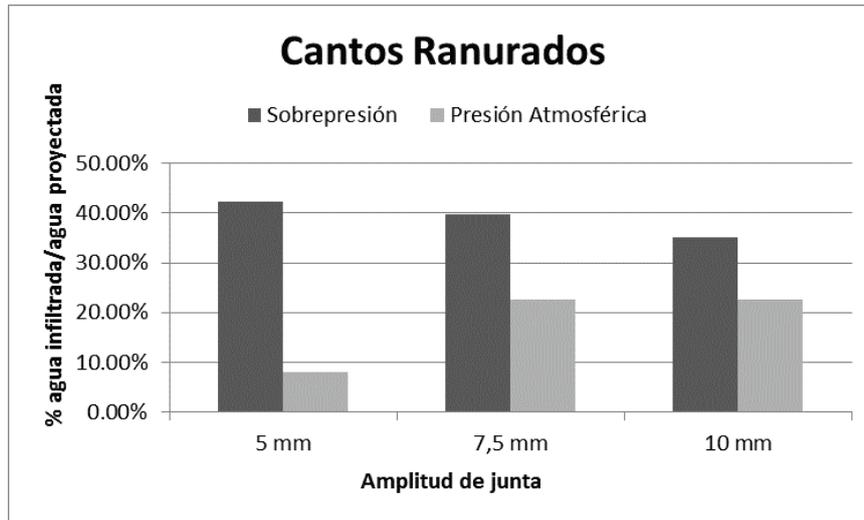
Tabla 5– Porcentaje agua infiltrada para cantos biselados.



En este caso, el diseño de canto biselado, en condiciones de ausencia de sobrepresión, impide prácticamente la infiltración debida a la tensión superficial, sin embargo se observa que, en el caso de sobrepresión, la infiltración de agua es inversamente proporcional a la amplitud de junta, en

torno a un 40% para 5 mm, un 34% para 7,5 mm y del 24.52% para 10 mm, que resulta ser el menor valor de todos los ensayos, por lo que se considera el mejor diseño de todos con 10 mm de amplitud de junta.

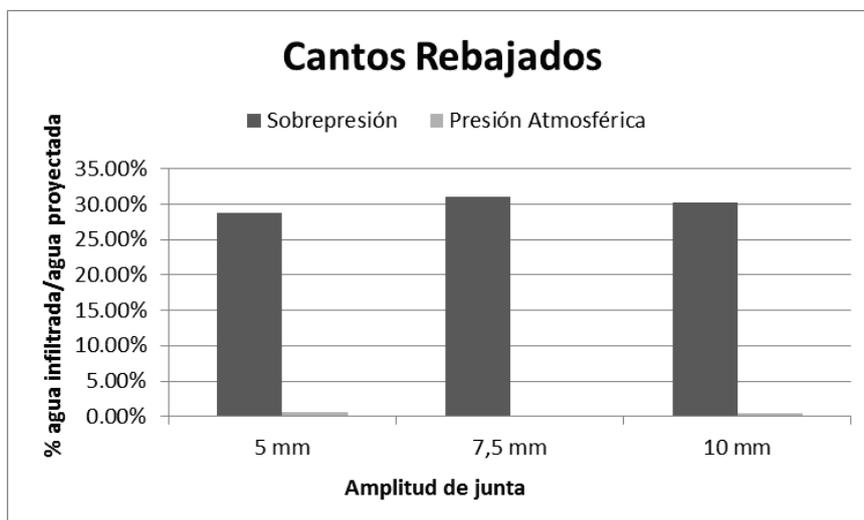
Tabla 6 – Porcentaje agua infiltrada para e cantos ranurados.



Con el diseño de canto ranurado, se observa a sobrepresión, como en el caso anterior, que la infiltración de agua es inversamente proporcional a la amplitud de la junta, sólo que la disminución de la infiltración de agua es menos pronunciada.

Sin embargo, a presión atmosférica, la infiltración de agua es considerable y aumenta de 5 a 7.5 y 10 mm, coincidiendo la cantidad recogida para las dos últimas amplitudes. Este aumento de agua infiltrada se debe a que el agua que llega al canto inferior se introduce en el canal ranurado, y una vez lleno éste, se vierte por los extremos produciendo un efecto de succión ininterrumpida.

Tabla 7 – Porcentaje agua infiltrada para cantos rebajados.



El diseño de canto rebajado, en condiciones de ausencia de sobrepresión, impide prácticamente la infiltración debida a la tensión superficial, y con sobrepresión la rebaja con respecto al caso anterior en torno al 30%, para todas las amplitudes de junta, similar a lo que sucedía en el primer caso, con los cantos lisos.

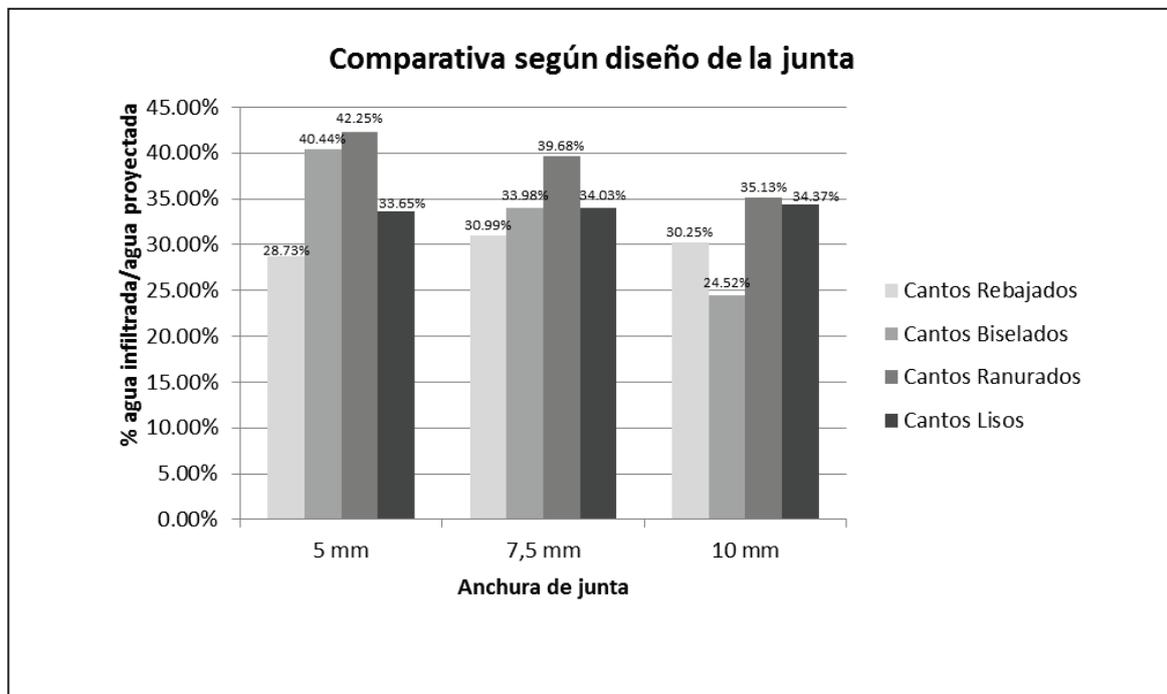
En todos los casos se observa que la infiltración de agua a sobrepresión es mayor que cuando no está presente, independientemente de la amplitud de junta, y alcanza valores considerables.

Esto es debido, como se indicaba anteriormente, a que en el primer caso actúan infiltrando agua las ráfagas de viento y diferencia de presión, además de la tensión superficial y la fuerza cinética, situación que sin sobrepresión no se da.

6 Conclusiones

En el siguiente gráfico se sintetiza la infiltración de agua en la cámara de aire cuando está sometida a sobrepresión de viento, que es como se produce la proyección de agua en la realidad, en función del diseño de la junta horizontal y para las distintas hipótesis de abertura de junta.

Tabla 8 – Diagrama comparativo de infiltración de agua para distintos tipos de canto y amplitud de junta.



De los datos obtenidos se puede concluir que la entrada de agua por la junta horizontal de un aplacado de piedra ventilado, está condicionada por el diseño de los cantos de dicha junta, tanto en situaciones de presión atmosférica como de sobrepresión, siendo mayor en este último caso.

En el caso de tener sobrepresión, para una amplitud de 5 y 7.5 mm el diseño más favorable resulta el de cantos rebajados, mientras que para 10 mm es el de cantos biselados. Para todas las amplitudes de junta horizontal, el diseño con cantos ranura es el que mayor infiltración de agua tiene.

Por lo tanto, concluimos que en una fachada ventilada con aplacados de 3 cm de espesor, para que la infiltración de agua sea mínima, la amplitud de junta horizontal debe ser de 10 mm y los cantos de las placas biselados.

7 Referencias

- [1] López Díaz, M.; Pérez González, M.J.; Ramos Méndez, I. Estudio de la influencia de la superficie de ventilación en la equalización de la presión de una fachada ventilada, Trabajo de investigación tutelado por el catedrático Fernández Madrid, Joaquín, septiembre de 2007.
- [2] Garden, Rain Penetration and its Control, National Research Council Canada. Canadian Building Digests 40 (<http://archive.nrc-cnrc.gc.ca/eng/ibp/irc/cbd/building-digest-40.html>), 1963.
- [3] García Bescansa, F.; Fernández Madrid, J. Entrada de agua en aplacados ventilados de piedra de la fachada ventilada ante la lluvia y el viento. Libro de Resúmenes 7º Congreso Internacional Sobre Patología y Recuperación de Estructuras – CINPAR 2011 Fortaleza, Brasil. Junio de 2011
- [4] AENOR. Norma UNE EN 1026:2000, Reglamento particular de la marca AENOR para ventanas y puertas. Revisión 9 de enero de 2006.

II. Listado de datos de lectura de caudal de agua

II. Listado de datos de lectura de caudal de agua

Listado de caudal de agua

- Tipo de canto: **Cantos horizontales rectos**
- Amplitud de junta: **5 mm**
- Cámara: **No confinada**
- Tipo de ensayo: **Proyección de agua y viento**

Fecha ;	Hora	Canal 0	Canal 1	Canal 2	Canal 3
17/03/2011	17:12:41	-397,1902	0,0169	0,135	0,9783
17/03/2011	17:12:46	-397,4365	0,0023	0,1351	0,979
17/03/2011	17:12:51	-396,1219	0,013	0,1348	0,9783
17/03/2011	17:12:56	-395,8644	0,0124	0,1351	0,9776
17/03/2011	17:13:01	-397,2827	0	0,1333	0,9786
17/03/2011	17:13:06	-397,2056	0,012	0,1324	0,9782
17/03/2011	17:13:11	-397,3976	0,0085	0,1316	0,9783
17/03/2011	17:13:16	-397,263	0,0072	0,1326	0,9788
17/03/2011	17:13:21	-351,6796	0,0136	0,1319	0,9783
17/03/2011	17:13:26	56,3967 ;	,0044 ;	1336 ;	9774 ;
17/03/2011	17:13:31	45,7817 ;	,0004 ;	1354 ;	9781 ;
17/03/2011	17:13:36	-366,3811	0,0205	0,1346	0,9783
17/03/2011	17:13:41	-378,5633	0,0133	0,1316	0,9776
17/03/2011	17:13:46	-387,8582	0,0067	0,1278	0,9786
17/03/2011	17:13:51	-394,4198	0,0057	0,1276	0,9786
17/03/2011	17:13:56	-396,9716	0,0119	0,1269	0,9774
17/03/2011	17:14:01	-367,0296	0,0069	0,1273	0,9779
17/03/2011	17:14:06	-343,8026	0,0034	0,1293	0,979
17/03/2011	17:14:11	-334,4896	0,0074	0,1299	2,194
17/03/2011	17:14:16	-354,7287	0,0102	0,1289	0,9783
17/03/2011	17:14:21	-370,5725	0,0104	0,1275	0,9779
17/03/2011	17:14:26	-381,4767	-0,014	0,1243	0,9789
17/03/2011	17:14:31	-389,9948	0,0043	0,1249	0,978
17/03/2011	17:14:36	-395,7664	0,013	0,1242	0,9785
17/03/2011	17:14:41	-396,413	0,0069	0,1229	0,9785
17/03/2011	17:14:46	-358,6098	0	0,1233	0,9786
17/03/2011	17:14:51	-341,8615	0,0033	0,1255	0,9788
17/03/2011	17:14:56	-337,1932	0,0153	0,1265	1,0418
17/03/2011	17:15:01	-359,0539	0,015	0,1243	0,978
17/03/2011	17:15:06	-373,4308	0,0256	0,1209	0,9797
17/03/2011	17:15:11	-384,1503	0,0163	0,1216	0,9787
17/03/2011	17:15:16	-391,4216	0,0043	0,1213	0,9788
17/03/2011	17:15:21	-344,022	8,2164	1,7479	10,6456
17/03/2011	17:15:26	-349,3788	7,3353	2,9465	6,5725
17/03/2011	17:15:31	-348,0526	12,706	2,9134	6,5517
17/03/2011	17:15:36	-347,9085	18,004	2,8429	6,6885
17/03/2011	17:15:41	-345,576	23,636	2,8383	6,4405
17/03/2011	17:15:46	-342,2282	28,941	2,9102	6,5001
17/03/2011	17:15:51	-344,9446	33,283	2,8212	6,4329
17/03/2011	17:15:56	-344,7614	37,16	2,8033	6,4995
17/03/2011	17:16:01	-344,8274	40,292	2,8147	6,3752
17/03/2011	17:16:06	-341,0913	43,286	2,8621	6,5696
17/03/2011	17:16:11	-345,2256	45,9	2,8956	6,4143
17/03/2011	17:16:16	-343,3786	48,44	2,7966	6,4587
17/03/2011	17:16:21	-345,1508	50,042	2,8467	6,4958
17/03/2011	17:16:26	-344,2668	52,136	2,8068	6,4145
17/03/2011	17:16:31	-344,2772	53,733	2,8417	6,4588
17/03/2011	17:16:36	-344,8983	55,275	2,8397	6,4793

17/03/2011	17:16:41	-345,0062	55,862	2,8665	6,3492
17/03/2011	17:16:46	-342,9583	56,525	2,843	6,4104
17/03/2011	17:16:51	-343,8173	57,01	2,8288	6,5115
17/03/2011	17:16:56	-344,0463	57,77	2,802	6,3751
17/03/2011	17:17:01	-342,5343	57,796	2,8479	6,4035
17/03/2011	17:17:06	-340,2481	58,137	2,8076	6,5026
17/03/2011	17:17:11	-343,6114	58,208	2,8463	6,4951
17/03/2011	17:17:16	-343,8794	58,446	2,842	6,4389
17/03/2011	17:17:21	-345,1265	58,701	2,8023	6,4439
17/03/2011	17:17:26	-344,2595	58,924	2,8276	6,5045
17/03/2011	17:17:31	-344,3744	59,172	2,8209	6,5081
17/03/2011	17:17:36	-344,842	59,314	2,8293	6,4465
17/03/2011	17:17:41	-344,1554	59,535	2,8378	6,3978
17/03/2011	17:17:46	-341,2967	59,491	2,8998	6,2487
17/03/2011	17:17:51	-343,7078	59,246	2,8268	6,4983
17/03/2011	17:17:56	-343,4946	59,3	2,8126	6,4815
17/03/2011	17:18:01	-344,1496	59,349	2,8284	6,4929
17/03/2011	17:18:06	-342,1804	59,544	2,8565	6,441
17/03/2011	17:18:11	-343,382	59,357	2,8753	6,3046
17/03/2011	17:18:16	-341,8342	59,435	2,8551	6,5582
17/03/2011	17:18:21	-344,3189	59,408	2,8249	6,495
17/03/2011	17:18:26	-342,6125	59,671	2,8356	6,5034
17/03/2011	17:18:31	-343,8346	59,454	2,8542	6,498
17/03/2011	17:18:36	-343,6091	59,518	2,8428	6,4863
17/03/2011	17:18:41	-342,8149	59,508	2,845	6,5158
17/03/2011	17:18:46	-344,0459	59,322	2,8303	6,4546
17/03/2011	17:18:51	-343,9723	59,344	2,8254	6,4509
17/03/2011	17:18:56	-344,5621	59,355	2,8435	6,473
17/03/2011	17:19:01	-343,4588	59,536	2,8447	6,461
17/03/2011	17:19:06	-344,7846	59,379	2,8525	6,4632
17/03/2011	17:19:11	-343,9719	59,4	2,8269	6,4304
17/03/2011	17:19:16	-344,2074	59,221	2,8349	6,466
17/03/2011	17:19:21	-344,204	58,988	2,8221	6,4721
17/03/2011	17:19:26	-343,8751	59,519	2,8232	6,4275
17/03/2011	17:19:31	-344,2471	59,099	2,8408	6,5181
17/03/2011	17:19:36	-343,7467	59,343	2,8332	6,4677
17/03/2011	17:19:41	-343,5147	67,323	2,8339	6,5061
17/03/2011	17:19:46	-342,8334	74,53	2,861	6,4329
17/03/2011	17:19:51	-342,6939	79,91	2,7861	6,5854
17/03/2011	17:19:56	-337,1354	83,807	2,863	6,5277
17/03/2011	17:20:01	-339,5669	86,602	2,8159	6,4955
17/03/2011	17:20:06	-341,0134	89,121	2,8321	6,5041
17/03/2011	17:20:11	-339,5272	90,399	2,8026	6,541
17/03/2011	17:20:16	-338,7029	91,845	2,8121	6,4735
17/03/2011	17:20:21	-337,859	92,602	2,7916	6,6231
17/03/2011	17:20:26	-338,8818	93,182	2,7854	6,3841
17/03/2011	17:20:31	-338,4543	94,166	2,8635	6,3858
17/03/2011	17:20:36	-338,4975	93,016	2,7965	6,5634
17/03/2011	17:20:41	-339,8264	94,664	2,8684	6,4778
17/03/2011	17:20:46	-340,0334	94,82	2,7594	6,5846

17/03/2011	17:20:51	-338,3968	94,505	2,8337	6,3735
17/03/2011	17:20:56	-339,0653	94,412	2,7991	6,4973
17/03/2011	17:21:01	-337,0329	95,136	2,7835	6,5462
17/03/2011	17:21:06	-339,4455	95,023	2,8277	6,5139
17/03/2011	17:21:11	-339,4127	95,043	2,7909	6,5744
17/03/2011	17:21:16	-339,964	95,025	2,8039	6,5109
17/03/2011	17:21:21	-338,7704	95,128	2,8478	6,4829
17/03/2011	17:21:26	-338,2777	94,654	2,8285	6,5029
17/03/2011	17:21:31	-339,9193	94,54	2,7858	6,5337
17/03/2011	17:21:36	-340,0758	94,348	2,8174	6,4654
17/03/2011	17:21:41	-338,8259	94,683	2,8398	6,4056
17/03/2011	17:21:46	-339,0954	94,587	2,869	6,4296
17/03/2011	17:21:51	-339,7793	94,368	2,7929	6,5215
17/03/2011	17:21:56	-339,3298	94,641	2,8047	6,4564
17/03/2011	17:22:01	-339,6972	94,704	2,8041	6,5172
17/03/2011	17:22:06	-340,0947	94,979	2,8302	6,4967
17/03/2011	17:22:11	-338,5148	94,5	2,8192	6,4689
17/03/2011	17:22:16	-339,5125	94,678	2,8578	6,4097
17/03/2011	17:22:21	-335,975	94,518	2,8215	6,4416
17/03/2011	17:22:26	-339,0572	94,552	2,8473	6,4445
17/03/2011	17:22:31	-339,5619	94,566	2,7998	6,5564
17/03/2011	17:22:36	-340,6888	94,209	2,8142	6,442
17/03/2011	17:22:41	-340,4671	94,825	2,8445	6,4928
17/03/2011	17:22:46	-339,9914	94,298	2,8044	6,4893
17/03/2011	17:22:51	-339,3032	94,357	2,7603	6,5094
17/03/2011	17:22:56	-339,1667	94,862	2,8522	6,4696
17/03/2011	17:23:01	-339,9139	94,908	2,7904	6,5368
17/03/2011	17:23:06	-337,7638	94,599	2,8764	6,2885
17/03/2011	17:23:11	-335,9839	94,967	2,806	6,6055
17/03/2011	17:23:16	-335,7776	95,245	2,7607	6,593
17/03/2011	17:23:21	-340,1178	95,096	2,8145	6,4814
17/03/2011	17:23:26	-338,5048	99,256	2,7865	6,4486
17/03/2011	17:23:31	-338,0641	106,88	; 2,820	6,478
17/03/2011	17:23:36	-336,5606	112,12	; 2,852	6,473
17/03/2011	17:23:41	-335,3204	116,32	; 2,796	6,491
17/03/2011	17:23:46	-335,0339	119,11	; 2,819	6,507
17/03/2011	17:23:51	-334,9032	119,85	; 2,811	6,509
17/03/2011	17:23:56	-335,2703	120,95	; 2,828	6,511
17/03/2011	17:24:01	-333,919	121,26	; 2,829	6,43
17/03/2011	17:24:06	-336,2379	122,22	; 2,807	6,389
17/03/2011	17:24:11	-334,4414	121,84	; 2,837	6,471
17/03/2011	17:24:16	-333,7247	122,18	; 2,788	6,442
17/03/2011	17:24:21	-334,2008	122,86	; 2,800	6,534
17/03/2011	17:24:26	-334,8408	123,11	; 2,813	6,454
17/03/2011	17:24:31	-334,5227	123,29	; 2,843	6,416
17/03/2011	17:24:36	-333,6908	123,25	; 2,855	6,456
17/03/2011	17:24:41	-335,0335	123,02	; 2,822	6,439
17/03/2011	17:24:46	-331,6398	123,23	; 2,784	6,583
17/03/2011	17:24:51	-334,7972	123,02	; 2,756	6,504
17/03/2011	17:24:56	-334,9892	123,67	; 2,781	6,534

17/03/2011	17:25:01	-333,8138	123,2	; 2,797	6,572
17/03/2011	17:25:06	-334,4896	121,76	; 2,786	6,515
17/03/2011	17:25:11	-332,0423	123	; 2,834	6,454
17/03/2011	17:25:16	-336,1172	122,25	; 2,745	6,52
17/03/2011	17:25:21	-330,8186	123,28	; 2,755	6,594
17/03/2011	17:25:26	-334,2718	122,41	; 2,828	6,504
17/03/2011	17:25:31	-335,0428	122,44	; 2,831	6,502
17/03/2011	17:25:36	-334,4792	121,85	; 2,800	6,472
17/03/2011	17:25:41	-334,697	122,5	; 2,837	6,41
17/03/2011	17:25:46	-333,653	122,66	; 2,841	6,452
17/03/2011	17:25:51	-333,8373	123,27	; 2,824	6,537
17/03/2011	17:25:56	-333,0358	123,05	; 2,819	6,43
17/03/2011	17:26:01	-334,2147	122,32	; 2,825	6,539
17/03/2011	17:26:06	-334,0917	123,21	; 2,791	6,446
17/03/2011	17:26:11	-334,9958	122,55	; 2,812	6,502
17/03/2011	17:26:16	-332,9324	123,05	; 2,835	6,509
17/03/2011	17:26:21	-334,1322	123,24	; 2,803	6,483
17/03/2011	17:26:26	-334,195	122,38	; 2,844	6,492
17/03/2011	17:26:31	-334,8589	123,03	; 2,809	6,436
17/03/2011	17:26:36	-335,0524	122,85	; 2,762	6,47
17/03/2011	17:26:41	-335,0258	123,01	; 2,810	6,57
17/03/2011	17:26:46	-334,202	122,75	; 2,808	6,397
17/03/2011	17:26:51	-333,1661	122,78	; 2,855	6,402
17/03/2011	17:26:56	-334,8647	125,65	; 2,833	6,527
17/03/2011	17:27:01	-333,04	133,94	; 2,786	6,459
17/03/2011	17:27:06	-333,2127	138,71	; 2,838	6,941
17/03/2011	17:27:11	-328,7434	142,33	; 2,760	7,306
17/03/2011	17:27:16	-328,7889	143,96	; 2,854	6,52
17/03/2011	17:27:21	-329,4944	144,81	; 2,831	6,463
17/03/2011	17:27:26	-329,1497	143,86	; 2,827	6,473
17/03/2011	17:27:31	-329,2611	145,7	; 2,781	6,599
17/03/2011	17:27:36	-329,3089	146,05	; 2,847	6,527
17/03/2011	17:27:41	-328,5306	145,93	; 2,772	6,449
17/03/2011	17:27:46	-329,285	145,85	; 2,847	6,436
17/03/2011	17:27:51	-333,483	144,64	; 2,794	6,372
17/03/2011	17:27:56	-328,5679	144,81	; 2,804	6,353
17/03/2011	17:28:01	-332,7663	146,42	; 2,870	6,404
17/03/2011	17:28:06	-330,1652	146,54	; 2,807	6,565
17/03/2011	17:28:11	-330,388	146,21	; 2,820	6,399
17/03/2011	17:28:16	-329,5499	146,65	; 2,825	6,401
17/03/2011	17:28:21	-330,5769	146,66	; 2,813	6,566
17/03/2011	17:28:26	-329,711	145,91	; 2,767	6,474
17/03/2011	17:28:31	-328,4037	145,42	; 2,842	6,387
17/03/2011	17:28:36	-328,0683	146,24	; 2,801	6,422
17/03/2011	17:28:41	-326,2255	144,51	; 2,772	6,557
17/03/2011	17:28:46	-329,7754	146,22	; 2,807	6,428
17/03/2011	17:28:51	-329,8849	145,47	; 2,839	6,432
17/03/2011	17:28:56	-329,3995	146,34	; 2,809	6,416
17/03/2011	17:29:01	-329,6324	146,06	; 2,819	6,425
17/03/2011	17:29:06	-329,9138	146,28	; 2,786	6,501

17/03/2011	17:29:11	-328,987	145,75	; 2,866	6,378
17/03/2011	17:29:16	-329,2206	146,42	; 2,827	6,418
17/03/2011	17:29:21	-327,9619	146,01	; 2,807	6,317
17/03/2011	17:29:26	-329,2804	145,6	; 2,863	6,415
17/03/2011	17:29:31	-329,4038	145,99	; 2,803	6,906
17/03/2011	17:29:36	-329,083	145,62	; 2,821	6,495
17/03/2011	17:29:41	-329,5472	146,05	; 2,783	6,448
17/03/2011	17:29:46	-328,4712	146,03	; 2,799	6,429
17/03/2011	17:29:51	-329,408	145,93	; 2,821	6,84
17/03/2011	17:29:56	-329,2484	145,85	; 2,797	6,445
17/03/2011	17:30:01	-329,7137	146,22	; 2,816	6,782
17/03/2011	17:30:06	-329,8213	146,13	; 2,801	6,551
17/03/2011	17:30:11	-329,238	146,18	; 2,815	6,893
17/03/2011	17:30:16	-329,3247	145,62	; 2,774	6,435
17/03/2011	17:30:21	-328,0537	150,96	; 2,810	6,458
17/03/2011	17:30:26	-324,0943	157,59	; 2,835	6,75
17/03/2011	17:30:31	-324,717	160,13	; 2,805	6,416
17/03/2011	17:30:36	-326,2448	162,9	; 2,772	6,616
17/03/2011	17:30:41	-325,3851	164,61	; 2,767	6,499
17/03/2011	17:30:46	-324,4386	163,65	; 2,841	6,384
17/03/2011	17:30:51	-324,2135	164,73	; 2,779	6,396
17/03/2011	17:30:56	-324,1942	165,16	; 2,841	6,401
17/03/2011	17:31:01	-325,5011	163,94	; 2,820	6,482
17/03/2011	17:31:06	-325,1962	164,9	; 2,826	6,437
17/03/2011	17:31:11	-323,9895	166,01	; 2,827	6,444
17/03/2011	17:31:16	-322,0314	164,23	; 2,737	6,636
17/03/2011	17:31:21	-324,3954	165,31	; 2,790	6,507
17/03/2011	17:31:26	-327,5768	165,18	; 2,790	6,399
17/03/2011	17:31:31	-324,5643	165,11	; 2,812	6,483
17/03/2011	17:31:36	-325,2451	165,81	; 2,816	6,546
17/03/2011	17:31:41	-327,0598	164,2	; 2,778	6,339
17/03/2011	17:31:46	-321,9628	165,2	; 2,802	6,45
17/03/2011	17:31:51	-325,0628	165,71	; 2,776	6,432
17/03/2011	17:31:56	-324,9591	165,75	; 2,834	6,42
17/03/2011	17:32:01	-324,1294	165,44	; 2,797	6,391
17/03/2011	17:32:06	-325,1545	166,21	; 2,868	6,434
17/03/2011	17:32:11	-321,7716	166,28	; 2,751	6,64
17/03/2011	17:32:16	-323,4459	165,79	; 2,788	6,39
17/03/2011	17:32:21	-324,439	165,76	; 2,824	6,423
17/03/2011	17:32:26	-324,572	165,99	; 2,818	6,402
17/03/2011	17:32:31	-324,6645	165,76	; 2,868	6,52
17/03/2011	17:32:36	-324,4486	166,34	; 2,781	6,44
17/03/2011	17:32:41	-324,1807	166,4	; 2,792	6,473
17/03/2011	17:32:46	-324,5986	166,31	; 2,837	6,365
17/03/2011	17:32:51	-319,7649	166,79	; 2,768	6,668
17/03/2011	17:32:56	-323,8896	164,93	; 2,801	6,479
17/03/2011	17:33:01	-325,5142	166,29	; 2,837	6,475
17/03/2011	17:33:06	-321,3571	166,57	; 2,762	6,988
17/03/2011	17:33:11	-324,3322	166,23	; 2,834	6,398
17/03/2011	17:33:16	-324,3542	166,61	; 2,825	6,484

17/03/2011	17:33:21	-325,1765	165,93	; 2,796	6,452
17/03/2011	17:33:26	-325,3057	164,84	; 2,806	6,486
17/03/2011	17:33:31	-324,3002	166,47	; 2,798	6,57
17/03/2011	17:33:36	-324,3322	166,75	; 2,782	6,34
17/03/2011	17:33:41	-324,0323	165,97	; 2,847	6,393
17/03/2011	17:33:46	-322,2793	173,44	; 2,782	6,481
17/03/2011	17:33:51	-320,8614	178,13	; 2,824	6,481
17/03/2011	17:33:56	-319,4241	180,95	; 2,797	6,542
17/03/2011	17:34:01	-316,2077	181,73	; 2,776	6,494
17/03/2011	17:34:06	-317,9117	182,84	; 2,820	6,553
17/03/2011	17:34:11	-317,0798	182,5	; 2,786	6,555
17/03/2011	17:34:16	-315,8233	182,87	; 2,807	7,784
17/03/2011	17:34:21	-320,5722	183,04	; 2,840	6,464
17/03/2011	17:34:26	-319,8914	180,71	; 2,797	6,464
17/03/2011	17:34:31	-319,7387	183,27	; 2,772	6,358
17/03/2011	17:34:36	-319,6057	183,32	; 2,843	6,422
17/03/2011	17:34:41	-318,096	182,97	; 2,753	6,519
17/03/2011	17:34:46	-317,8489	181,95	; 2,833	6,424
17/03/2011	17:34:51	-319,3331	183,39	; 2,813	6,424
17/03/2011	17:34:56	-319,5367	183,11	; 2,780	6,417
17/03/2011	17:35:01	-321,1293	183,35	; 2,762	6,599
17/03/2011	17:35:06	-316,1576	183,48	; 2,788	7,188
17/03/2011	17:35:11	-320,2488	183,84	; 2,810	6,445
17/03/2011	17:35:16	-318,4168	183,62	; 2,807	6,621
17/03/2011	17:35:21	-320,1312	182,18	; 2,764	6,428
17/03/2011	17:35:26	-321,1185	183,87	; 2,798	6,723
17/03/2011	17:35:31	-319,1535	182,87	; 2,795	6,435
17/03/2011	17:35:36	-319,5583	183,5	; 2,781	6,521
17/03/2011	17:35:41	-320,5394	183,14	; 2,759	6,51
17/03/2011	17:35:46	-319,4218	183,51	; 2,862	6,979
17/03/2011	17:35:51	-319,1855	183,39	; 2,888	6,482
17/03/2011	17:35:56	-319,2927	183,93	; 2,748	7,146
17/03/2011	17:36:01	-320,3868	183,61	; 2,779	6,791
17/03/2011	17:36:06	-319,7056	183,88	; 2,771	6,412
17/03/2011	17:36:11	-317,6538	184,04	; 2,812	7,834
17/03/2011	17:36:16	-318,931	184,03	; 2,790	6,78
17/03/2011	17:36:21	-319,6196	182,73	; 2,802	6,452
17/03/2011	17:36:26	-319,9307	183,6	; 2,830	6,457
17/03/2011	17:36:31	-318,793	183,21	; 2,851	6,488
17/03/2011	17:36:36	-319,0444	184,09	; 2,788	6,942
17/03/2011	17:36:41	-319,4866	182,97	; 2,816	6,774
17/03/2011	17:36:46	-318,2537	184,11	; 2,842	6,723
17/03/2011	17:36:51	-319,5471	183,85	; 2,782	6,595
17/03/2011	17:36:56	-317,9275	183,56	; 2,802	7,084
17/03/2011	17:37:01	-315,1845	185,51	; 2,720	7,734
17/03/2011	17:37:06	-313,2704	203,06	; 2,822	6,295
17/03/2011	17:37:11	-308,2787	206,47	; 2,774	6,508
17/03/2011	17:37:16	-306,8977	206,47	; 2,790	6,494
17/03/2011	17:37:21	-305,9763	206,47	; 2,818	6,411
17/03/2011	17:37:26	-305,2766	206,47	; 2,794	6,432

17/03/2011	17:37:31	-304,7727	206,47	; 2,806	6,39
17/03/2011	17:37:36	-305,7512	206,47	; 2,820	6,496
17/03/2011	17:37:41	-305,0569	206,47	; 2,792	6,48
17/03/2011	17:37:46	-301,8505	206,47	; 2,776	6,591
17/03/2011	17:37:51	-305,0596	206,47	; 2,751	6,486
17/03/2011	17:37:56	-305,2527	206,47	; 2,787	6,512
17/03/2011	17:38:01	-306,0345	206,47	; 2,762	6,48
17/03/2011	17:38:06	-304,6675	206,47	; 2,792	6,477
17/03/2011	17:38:11	-304,91	206,47	; 2,819	6,496
17/03/2011	17:38:16	-305,3464	206,47	; 2,773	6,447
17/03/2011	17:38:21	-305,5646	206,47	; 2,800	6,523
17/03/2011	17:38:26	-305,5499	206,47	; 2,775	6,368
17/03/2011	17:38:31	-304,7569	206,47	; 2,792	6,484
17/03/2011	17:38:36	-304,5538	206,47	; 2,787	6,397
17/03/2011	17:38:41	-303,4265	206,47	; 2,793	6,42
17/03/2011	17:38:46	-305,1451	206,47	; 2,835	6,425
17/03/2011	17:38:51	-305,9104	206,47	; 2,746	6,49
17/03/2011	17:38:56	-304,6602	206,47	; 2,856	6,504
17/03/2011	17:39:01	-304,8344	206,47	; 2,772	6,494
17/03/2011	17:39:06	-305,7122	206,47	; 2,815	6,431
17/03/2011	17:39:11	-307,1059	206,47	; 2,808	6,41
17/03/2011	17:39:16	-303,7241	206,47	; 2,833	6,448
17/03/2011	17:39:21	-305,6058	206,47	; 2,779	6,525
17/03/2011	17:39:26	-303,4369	206,47	; 2,798	6,44
17/03/2011	17:39:31	-320,5926	206,47	; 1,495	; 1,597
17/03/2011	17:39:36	-354,3255	206,47	; 0,190	; 0,978
17/03/2011	17:39:41	-354,667	206,47	; 0,179	; 0,977
17/03/2011	17:39:46	-354,4461	206,47	; 0,177	; 0,977
17/03/2011	17:39:51	-354,0456	206,47	; 0,178	; 0,977
17/03/2011	17:39:56	-353,8116	206,47	; 0,177	; 0,978
17/03/2011	17:40:01	-353,6844	206,47	; 0,176	; 0,978
17/03/2011	17:40:06	-354,0629	206,47	; 0,174	; 0,977
17/03/2011	17:40:11	-353,8247	206,47	; 0,175	; 0,978
17/03/2011	17:40:16	-353,7029	206,47	; 0,175	; 0,978
17/03/2011	17:40:21	-353,9438	206,47	; 0,175	; 0,978
17/03/2011	17:40:26	-350,577	206,47	; 0,175	; 0,978
17/03/2011	17:40:31	-344,1901	206,47	; 0,176	; 0,978
17/03/2011	17:40:36	-342,564	206,47	; 0,176	; 0,978
17/03/2011	17:40:41	-342,6029	206,47	; 0,176	; 0,978
17/03/2011	17:40:46	-342,5655	206,47	; 0,177	; 0,977
17/03/2011	17:40:51	-342,5343	206,47	; 0,177	; 0,978
17/03/2011	17:40:56	-342,6341	206,47	; 0,178	; 0,978
17/03/2011	17:41:01	-342,6202	206,47	; 0,178	; 0,978
17/03/2011	17:41:06	-342,6688	206,47	; 0,178	; 0,978
17/03/2011	17:41:11	-342,6997	206,47	; 0,177	; 0,978
17/03/2011	17:41:16	-342,8404	206,47	; 0,178	; 0,978
17/03/2011	17:41:21	-342,695	206,47	; 0,178	; 0,978
17/03/2011	17:41:26	-342,9036	206,47	; 0,177	; 0,977
17/03/2011	17:41:31	-342,7081	206,47	; 0,177	; 0,977
17/03/2011	17:41:36	-342,9653	206,47	; 0,177	; 0,977

17/03/2011	17:41:41	-343,0324	206,47	; 0,177	; 0,977
17/03/2011	17:41:46	-342,7363	206,47	; 0,177	; 0,978
17/03/2011	17:41:51	-342,281	206,47	; 0,177	; 0,978
17/03/2011	17:41:56	-343,0725	206,47	; 0,178	; 0,978

PROMEDIO: **6,51** litros/min