

## **CARACTERIZACION Y COMPORTAMIENTO TERMICO DE PERFILES DE CARPINTERIAS EN DISTINTAS ZONAS BIOCLIMATICAS DE LA REPUBLICA ARGENTINA**

V. L. Volantino<sup>1</sup>, J.T. Bernacchia<sup>2</sup>, G. Lucas Gonzalez<sup>3</sup>  
Unidad Técnica Habitabilidad - INTI Construcciones - Instituto Nacional de Tecnología Industrial  
Av. General Paz 5445 CP B 1650WAB Provincia de Buenos Aires  
Tel. 011 4724-6200 int. 6482 - Fax. 4753-5764 e-mail : vvolutanti@inti.gov.ar

*Recibido: 13/08/12; Aceptado: 27/09/12*

**RESUMEN:** Un programa de simulación numérica por método de elemento finito, permite calcular, entre otras, el comportamiento térmico de una carpintería, y su coeficiente de transmitancia térmica, según norma UNE-EN ISO 10077. Este programa da la pauta de patologías factibles, que pueden aparecer en el perfil y su área de incidencia en el transcurso de vida útil para una determinada geografía. El objetivo del presente es caracterizar térmicamente 3 perfiles: uno de aluminio, (con ruptura de puente térmico / sin ruptura) y de PVC (Policloruro de vinilo) mediante simulación numérica por computadora, con varias condiciones de borde, pertenecientes a zonas bioclimáticas de menor temperaturas de la Republica Argentina. Mediante el estudio, se podrá determinar no solo el coeficiente de transmitancia térmica de los perfiles, sino también el conjunto de la ventana. Además calcula el factor de temperatura y los riesgos de condensación superficial interior.

**Palabras Clave:** Coeficiente de transmitancia térmica en perfiles, condensación superficial en perfiles, ruptura de puente térmico en perfiles.

### **ANTECEDENTES**

La unidad técnica Habitabilidad del centro de Construcciones, tiene un largo trayecto en el estudio teórico y práctico sobre el comportamiento térmico y caracterización de sistemas constructivos, mediante la aplicación de Normas IRAM (Instituto Argentino de Normalización y Certificación), ASTM (American Society for Testing and Materials) e ISO (International Organization for Standardization), sobre acondicionamiento térmico en edificios. En estos últimos años se estuvo trabajando en el estudio de sistemas complejos como perfiles de carpinterías para brindar aportes en los sistemas de clasificación que se cuenta hoy dentro de la normativa Argentina. En la actualidad tiene vigencia la Norma IRAM N° 11507-4 (Carpintería de obra. Ventanas exteriores. Requisitos básicos y Clasificación) cuya aplicación es de carácter obligatoria tras el decreto de la Ley Provincial 13.059. La misma establece una clasificación de categorías de aislamiento térmica para ventanas en 6 niveles. Consiste de un método simplificado, que mediante las tablas A1, A2 y A3 del Anexo A de la norma, se obtiene la transmitancia térmica del conjunto de la ventana, y mediante la cual se verifica por tabla. El actual trabajo entre otras cosas pretende advertir los puntos débiles sobre esta clasificación y promover un estudio complementario que le permite tanto a usuarios como proyectistas una información detallada sobre el comportamiento térmico del mismo. Como Instituto de tecnología industrial, siempre se trata de trazar paralelismos con otros países en donde haya reconocida experiencia, para ganar terreno y desarrollar nuestra propia experiencia con los recursos disponibles, con un claro objetivo: mejorar continuamente la calidad del producto nacional, y contribuir a la eficiencia energética en la construcción.

### **DESARROLLO DEL TRABAJO**

#### **Método empleado.**

Para la determinación del valor de transmitancia térmica (K), se realizó un estudio basado en la resolución de la ecuación de FOURIER de transmisión de calor, en geometría bidimensional de múltiples materiales, que se obtiene numéricamente por computadora. El método considera la influencia de los puentes térmicos si lo hubiera. El programa de medición utilizado es el BISCO<sup>R</sup>, un software de análisis térmico para la transmisión de calor en régimen estacionario a través de objetos bidimensionales (2D) de diferentes materiales con distintas condiciones de borde. La geometría es definida por una imagen coloreada en formato bitmap. El programa requiere información para asociar los colores con las condiciones físicas de los materiales y sus condiciones de borde.

También calcula otros parámetros según normas europeas, tales como: factor de temperatura, transmitancia térmica lineal, transmitancia térmica de un marco de ventana.

#### **APLICACIÓN:**

-Análisis de puentes térmicos: cálculo de pérdida de calor, condensación superficial

a. ISO 10211: Puentes térmicos en edificación. Cálculo de flujos de calor y temperaturas superficiales. Parte 1: Métodos generales.

b. ISO 13788: Hygrothermal performance of building components and building elements -- Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation -- Calculation methods.

-Comportamiento térmico de la carpintería.

a. ISO 1077-2: Comportamiento térmico de ventanas, puertas y persianas. Cálculo De transmitancia térmica. Parte 2: Método numérico para los marcos.)

## PROCESO DE CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSMITANCIA TERMICA.

La norma EN ISO 10077-2:2003 establece el procedimiento para calcular el coeficiente de transmisión térmica del marco. Dicha magnitud se calcula para cada sección de acuerdo con la expresión (1):

$$U_f = (L_f^{2D} - U_p \cdot b_p) / b_f \quad (1)$$

Donde:

$U_f$ : es el coeficiente de transmitancia térmica  $W/m^2K$

$L_f^{2D}$ : es el la transmitancia térmica lineal.  $W/mK = Q/(t_i - t_e)$

$U_p$ : Es la transmitancia térmica del panel de calibración, cuya conductividad térmica es de  $0,035 W/mK$  (ISO 10077-2:2003).

$b_p$ : longitud visible del panel de calibración en metros.

$b_f$ : longitud proyectada del marco en metros

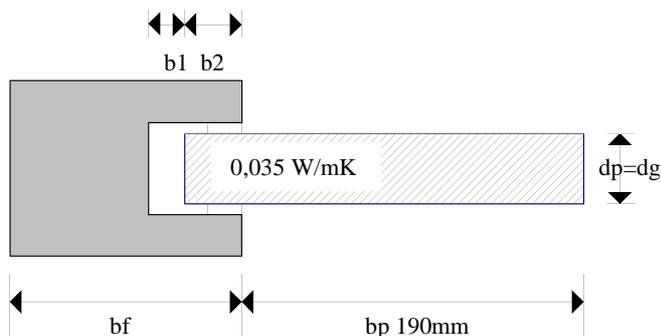


Figura 1. Esquema descrito en norma ISO 10077-2:2003.

La condición de contorno utilizadas son las que establece la norma UNE-EN ISO 10077-2:2003 – Anexo normativo B – Resistencias Superficiales para Flujo de Calor Horizontal.-

POSICION	Exterior (Rse) m <sup>2</sup> K / W	Interior (Rsi) m <sup>2</sup> K / W
Normal. (Superficie Plana)	0,04	0,13
Radiación / Conveccion reducida (en bordes o uniones entre dos superficies)	0,04	0,20

Tabla 1. Valores de resistencias superficiales según posición. Norma UNE EN ISO 10077-2:2003

Condiciones de Cálculo:

Se efectuó el análisis para siete provincias de la región Argentina mas afectada por la época invernal. Las provincias, son aquellas que están comprendidas debajo de Latitud S 34°06'. Estas son: Río Negro, Chubut, Santa Cruz, Neuquén, La Pampa, Buenos Aires y Córdoba. Tierra del fuego, no aparece, dado que los valores se asemejan a los de Santa Cruz. De cada provincia se adopto los valores de la zona urbanizada con condiciones climáticas mas desfavorables, según clasificación de la NORMA IRAM 11603, en la que se establece la temperatura mínima de diseño (Te); la temperatura interior (Ti) y la humedad relativa exterior (HRE). Se adoptaron de acuerdo a lo establecido en la NORMA IRAM 11625. En segunda instancia se determinó una clase de higrometría para el estudio de condensación superficial interior, que abarca espacios en los que no se prevea una alta producción de humedad. Se incluyen en esta categoría todos los espacios de edificios residenciales (Hr 50%). Las magnitudes mencionadas se detallan en la Tabla 2

	Provincia	Localidad	Ti	HRI	Te	HRE
A	Río Negro	Catedral 2000	20°C	50%	-9,4°C	90%
B	Chubut	Esquel			-7,0°C	90%
C	Santa Cruz	Lago Argentina			-6,5°C	90%
D	Neuquén	Las Lajas			-5,4°C	90%
E	La Pampa	Puelches			-3,5°C	90%
F	Buenos Aires	Pigüé			-2,6°C	90%
G	Córdoba	Laboulaye			-0,6°C	90%

Tabla 2. Valores de temperatura de diseño mínimo para invierno según norma IRAM 11603:

## CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA.

### SISTEMA 1. CARPINTERÍA DE PVC

La ventana consta de un paño fijo, mas otra pivotante- oscilo batiente. Toda la periferia esta constituida por PVC (Policloruro de vinilo) de 3 cámaras. El acristalamiento esta constituido por un DVH (doble vidriado hermético)

CORTE A-A / CORTE B-B

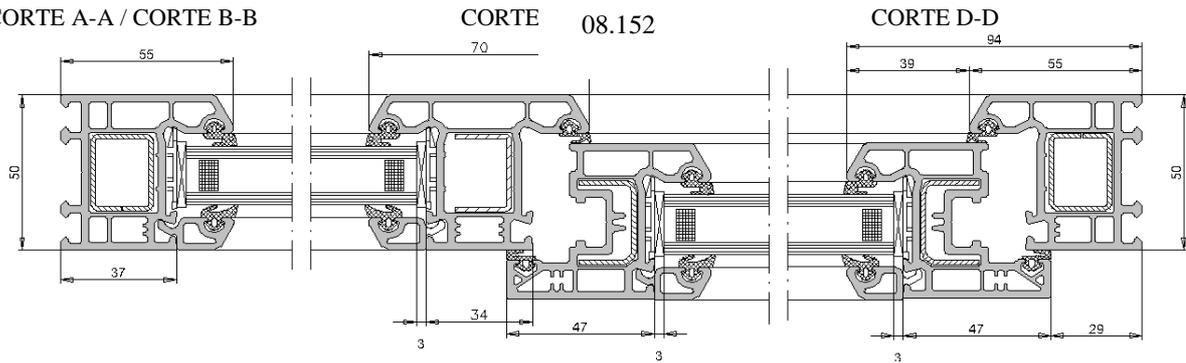


Figura 2. Corte longitudinal de la carpintería de PVC.

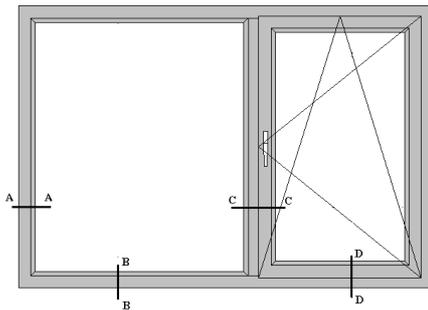


Figura 3. Vista interior de carpintería de PVC

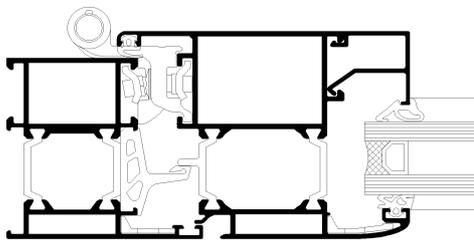
Material	W/m²K
PANEL CALIB.	0,035
EPDM	0,25
PVC	0,17
VIDRIO	0,65
CAMARA DE AIRE	SEGÚN ISO 10077

Tabla 3. Valores de Conductividad Térmica.

**SISTEMA 2 Y 3. CARPINTERIA DE ALUMINIO CON Y SIN RUPTURA DE PUENTE TERMICO.**

La ventana es de aluminio y tiene una apertura oscilo batiente. Se utilizo un mismo sistema, pero con dos variantes. El perfil es de aluminio de 3 cámaras en sentido horizontal. La sección del mismo tiene una longitud de 56mm y una altura de 11mm. En el sistema 2 a diferencia del 3, se le incorpora al sistema un ruptor de puente térmico (barras de poliamida sustituyen las de aluminio).

CORTE A-A



CORTE B-B

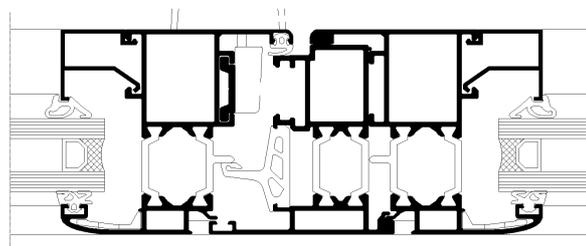


Figura 4. Corte longitudinal de carpintería de aluminio

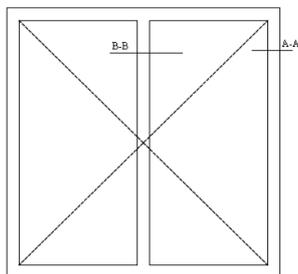


Figura 5. Vista interior de carpintería de Aluminio

Material	W/m²K
PANEL CALIB.	0,035
EPDM	0,25
ALUMINIO	160,00
POLIAMIDA	0,17
CAMARA DE AIRE	SEGÚN ISO 10077

Tabla 4. Valores de Conductividad Térmica

**RESULTADOS OBTENIDOS:**

**Condiciones de Cálculo:**

Se efectuó el análisis solicitado para, en primer instancia la determinación del coeficiente de transmitancia térmica de los perfiles, tanto de PVC como de aluminio, con y sin ruptura de puente térmico, que se detallan a continuación. Para el mismo, las temperaturas de los ambientes a ambos lados de los perfiles se han establecido en 20°C en lado interior, y en 0°C en el exterior. Estos valores son los empleados en la normativa EN ISO 12567-1 de determinación experimental de las propiedades de transmisión térmica de ventanas. Desde un punto de vista teórico, estos valores no influyen en el resultado final, puesto que el

valor de U se da por grado de diferencia, y el modelo realizado mantiene las propiedades térmicas de los materiales constantes a cualquier temperatura.

**SISTEMA 1. CARPINTERÍA DE PVC**

08.153

SECCION D-D

SECCION A-A

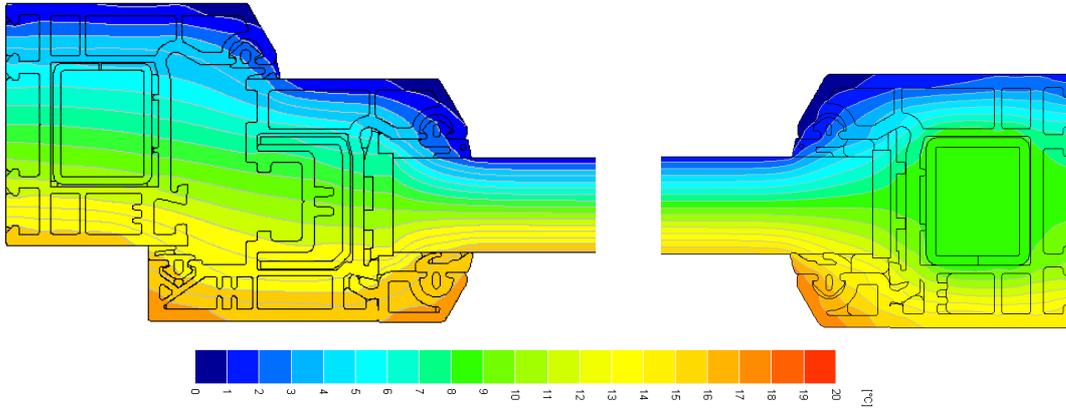


Figura 6. Distribución de temperatura y flujo de calor en el perfil sección D-D y A-A.

SECCION C-C

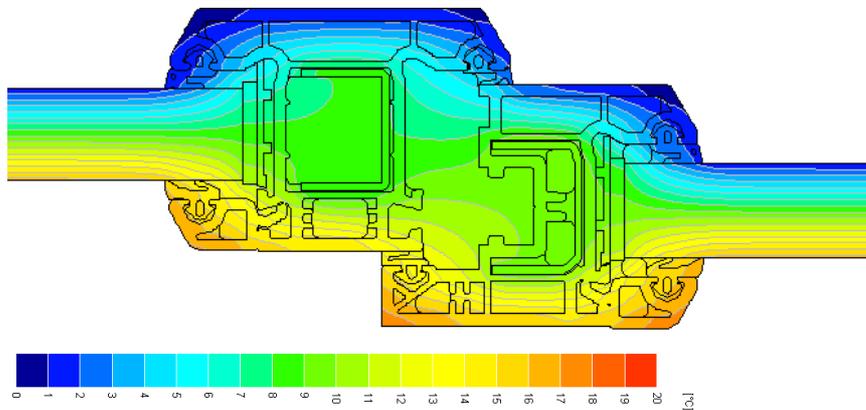


Figura 7. Distribución de temperatura y flujo de calor en el perfil sección C-C

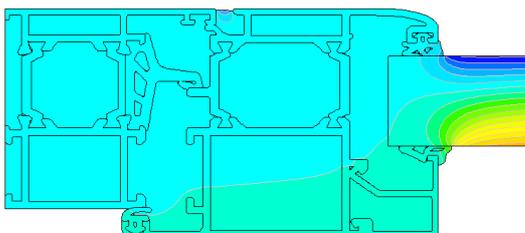
	$L_f^{2D}$ (W/mK)	$U_p$ (W/m <sup>2</sup> K)	$b_p$ (m)	$b_f$ (m)	$U_f$
SECCION A-A	0,420	1,409	0,219	0,054	<b>2,08</b>
SECCION C-C	0,5492	1,382	0,236	0,1096	<b>2,04</b>
SECCION D-D	0,4778	1,409	0,232	0,0914	<b>1,66</b>

Tabla 5. Valores de coeficientes de transmitancia térmica de las secciones del perfil de PVC

**SISTEMA 2. CARPINTERÍA DE ALUMINIO SIN RUPTURA DE PUENTE TÉRMICO**

SECCION A-A

SECCION B-B



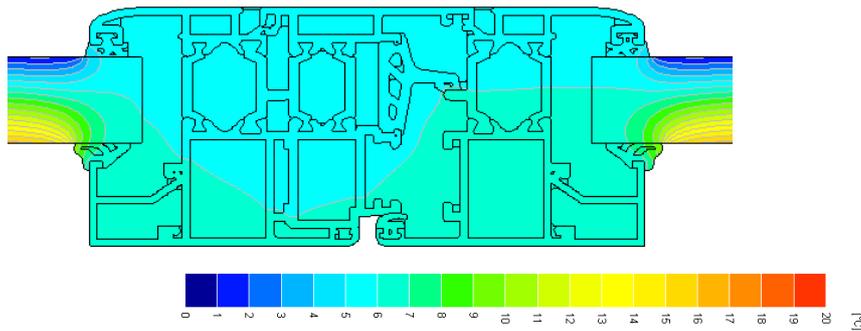


Figura 8. Distribución de temperatura y flujo de calor en el perfil sección A-A y B-B

	$L_r^{2D}$ (W/mK)	$U_p$ (W/m <sup>2</sup> K)	$b_p$ (m)	$b_r$ (m)	$U_f$
SECCION A-A	0,98115	1,251	0,1902	0,1048	<b>7,09</b>
SECCION B-B	1,29755	1,251	0,2463	0,1390	<b>7,12</b>

Tabla 6. Valores de coeficientes de transmitancia térmica de las secciones del perfil de aluminio s/RPT.

### SISTEMA 3. CARPINTERÍA DE ALUMINIO CON RUPTURA DE PUENTE TÉRMICO

SECCION A-A

SECCION B-B

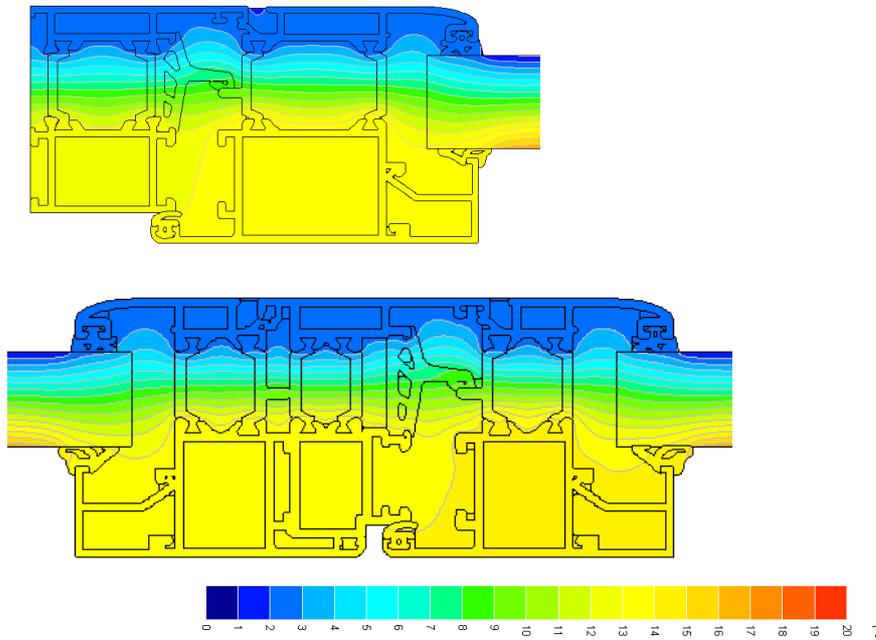


Figura 9. Distribución de temperatura y flujo de calor en el perfil sección A-A y B-B

	$L_r^{2D}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$U_p$ (W/m <sup>2</sup> K)	$b_p$ (m)	$b_r$ (m)	$U_f$
SECCION A-A	0,5861	1,251	0,1902	0,1048	<b>3,32</b>
SECCION B-B	0,7694	1,251	0,2463	0,1390	<b>3,32</b>

Tabla 7. Valores de coeficientes de transmitancia térmica de las secciones del perfil de aluminio c/RPT.

### TRASMISIÓN EN VENTANA COMPLETA.

En todos los casos se adoptaron las un acristalamiento de doble vidrio hermético (DVH) incoloro-incoloro de 6-12-6, que según Anexo A de la norma IRAM 11507-4:2010 posee un valor de transmitancia térmica de 2,8 W/m<sup>2</sup>K. A pesar de que la carpintería de PVC difiere de la de aluminio, poseen una misma área de perfiles como de acristalamiento.

### SISTEMA 1. CARPINTERÍA DE PVC.

DVH		SECCION A-A		SECCION C-C		SECCION D-D		TOTAL	
Sup=2,48m <sup>2</sup>	U=2,8	Sup= 0,35m <sup>2</sup>	U=2,08	Sup= 0,25	U=2,04	Sup= 0,47	U= 1,66	Sup= 3,55m <sup>2</sup>	<b>Uv=2,52</b>
6,94 W/K		0,73 W/K		0,51 W/K		0,78 W/K			

Tabla 8. Transmitancia térmica de la ventana con el sistema 1.

## SISTEMA 2. CARPINTERÍA DE ALUMINIO SIN RUPTURA DE PUENTE TÉRMICO

DVH		SECCION A-A		SECCION B-B		TOTAL	
Sup=2,48m <sup>2</sup>	U=2,8	Sup= 0,82m <sup>2</sup>	U=7,09	Sup= 0,25m <sup>2</sup>	U=7,12	Sup= 3,55m <sup>2</sup>	U=4,10
6,94 W/K		5,81 W/K		1,78 W/K			

Tabla 9. Transmitancia térmica de la ventana con el sistema 2.

## SISTEMA 3. CARPINTERÍA DE ALUMINIO CON RUPTURA DE PUENTE TÉRMICO

DVH		SECCION A-A		SECCION B-B		TOTAL	
Sup=2,48m <sup>2</sup>	U=2,8	Sup= 0,82m <sup>2</sup>	U=3,32	Sup= 0,25m <sup>2</sup>	U=3,32	Sup= 3,55m <sup>2</sup>	U=2,96
6,944 W/K		2,72 W/K		0,83 W/K			

Tabla 10. Transmitancia térmica de la ventana con el sistema 3.

La norma IRAM 11507-4:2010 establece una clasificación y designación de la transmitancia térmica del conjunto de la ventana, con todos sus componentes, incluyendo sus herrajes y burletes. Según establecido en la IRAM 11601, debe presentar un valor de transmitancia térmica menor a 4,0 W/m<sup>2</sup>K.

Categoría de aislación	Transmitancia térmica, K (W/m <sup>2</sup> K)
K1	K < 1,0
K2	1,0 ≤ K ≤ 1,5
K3	1,5 < K ≤ 2,0
<b>K4</b>	<b>2,0 &lt; K ≤ 3,0</b>
K5	3,0 < K ≤ 4,0
<b>No clasificable</b>	<b>K &gt; 4,0</b>

NOTA: Las categorías de clasificación establecidas en la tabla 1, son exigibles en función del desempeño térmico requerido en las condiciones ambientales de uso previstas para la zona climática donde se instale la ventana (IRAM 11603)

→ S1 – S3

→ S2

Tabla 11. Clasificación de Ventanas según IRAM 11507-4.

El hecho de que la carpintería esta afectada, en mayor porcentaje por el área vidriada, hace que el valor de la transmitancia térmica de la ventana adopte un valor más cercano al de un DVH (doble vidriado hermético). Se puede observar una reducción energética del 30% en la ventana, mediante la incorporación de la ruptura de puente térmico en perfiles de aluminio. Si bien el S1 y el S3, se encuentran en la misma categoría K4, hay una reducción energética del 15% por parte de la ventana con perfil de PVC. Como siguiente paso, se procede a la verificación de riesgo de condensación superficial, que no se encuentra categorizado en la actualidad en la Republica Argentina.

### IMPLICANCIAS DE ESTA CLASIFICACIÓN: RIESGO DE CONDENACIÓN SUPERFICIAL.

La condensación se produce porque para cada temperatura, el aire acepta una cantidad determinada de agua (gr/m<sup>3</sup>). Cuando se satura esta capacidad, aparece el fenómeno de la condensación, sobre superficies que se encuentre por debajo de la temperatura de rocío. La ecuación analítica del punto de rocío esta dada por la formula 2.

$$Pr = \sqrt[5]{\frac{H}{100} \cdot (112 + 0,9 \cdot T) + (0,1 \cdot T) - 112} \quad (2)$$



Foto 1,2 y 3. Registro de condensación superficial interior tanto en los perfiles como en el paño vidriado de una vivienda unifamiliar

Para la determinación de riesgo de condensación superficial, en primera instancia se tomo un solo modelo de perfil representativo de cada sistema. Para el sistema 1, se adopto la sección D-D. En cuanto al sistema 2 y 3, se adopto la sección A-A. Este estudio solo contempla la condensación sobre el perfil de carpintería y no sobre el acristalamiento.

El factor de temperatura es una expresión adimensional de la temperatura superficial mínima que permite conocer el riesgo de condensación superficial. Solamente puede ser evaluada cuando hay una diferencia de temperatura. El mismo se determina por la ecuación 3:

$$f = \frac{\theta_{si, \min} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad (3)$$

$f$  = factor de temperatura (°C)  
 $\theta_{si, \min}$  = temperatura mínima superficial (°C)  
 $\theta_e$  = condición externa de temperatura (°C)  
 $\theta_i$  = condición interna de temperatura (°C)

En el siguiente gráfico, se determino por computadora la temperatura de rocío, para conocer la temperatura a la cual se produce riesgo de condensación superficial interior de cualquier elemento que este por debajo de esa temperatura, para las condiciones de interior explicitadas previamente.

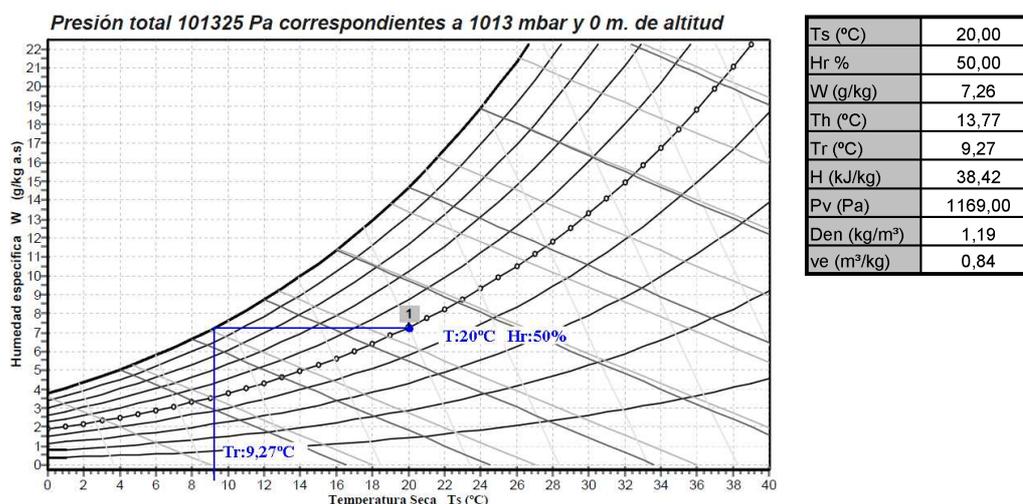


Gráfico 1. Determinación de punto de rocío, para T=20°C y Hr= 50%

Esto significa que cualquier superficie interior del perfil, que se encuentre por debajo de 9,27°C, se manifestara el riesgo de condensación superficial.

## RESULTADOS:

En la tabla 7 se evidencia el riesgo de condensación de los perfiles para las distintas zonas bioclimática. El orden alfabético de cada zona se corresponde con la severidad de cada clima. Siendo A para la zona con menor temperatura de diseño exterior, y H para la de mayor temperatura de diseño exterior.

Zona		Sistema 1. Perfil de PVC U=1,66 W/M²k Factor temp: 0,73			Sistema 2. Perfil aluminio sin ruptura de puente térmico U=7,09 W/M²k Factor temp: 0,28			Sistema 3. Perfil aluminio con ruptura de puente térmico U=3,32 W/M²k Factor temp: 0,61		
		TI °C	Hrc %	CONDENSACION	TI °C	Hrc %	CONDENSACION	TI °C	Hrc %	CONDENSACION
A	-9,5	12,01	60	NO VERIFICA	-1,55	23	VERIFICA	8,67	48	VERIFICA
B	-7	12,75	63	NO VERIFICA	0,45	27	VERIFICA	9,57	51	NO VERIFICA
C	-6,5	12,99	64	NO VERIFICA	0,95	28	VERIFICA	9,57	51	NO VERIFICA
D	-5,4	13,23	65	NO VERIFICA	1,44	29	VERIFICA	10,14	53	NO VERIFICA
E	-3,5	13,69	67	NO VERIFICA	2,82	32	VERIFICA	10,97	56	NO VERIFICA
F	-2,6	13,92	68	NO VERIFICA	3,68	34	VERIFICA	11,23	57	NO VERIFICA
G	-0,6	14,37	70	NO VERIFICA	5,26	38	VERIFICA	12,01	60	NO VERIFICA

Tabla 12. Verificación de riesgo de condensación en las distintas localidades.

Mediante el cálculo teórico, se pudo determinar el factor de temperatura y así conocer los riesgos de condensación para cada provincia del cono sur de la Republica Argentina de los tres sistemas de carpintería en cuestión. En el cuadro se destaca Ti (temperatura interior del perfil) y Hrc (humedad relativa de condensación siempre a 20°C). El sistema 1, conformado por el PVC, es el que mejor comportamiento térmico tuvo. En ningún momento, alcanzo una temperatura interior por debajo de la de rocío. En cuanto al sistema 2, el perfil de aluminio s/RPT no demostró ser favorable para ningún clima. En todos los casos se evidencia riesgo de condensación, producto de no poseer una ruptura de puente térmico, generalmente conformada por una serie de barras de poliamida, cuya conductividad es ampliamente inferior al del aluminio, permitiendo así una homogeneidad de la temperatura interior y menor pérdidas térmico-energéticas. El sistema 3, demostró tener una gran mejora en su comportamiento térmico, llegando a diferir en hasta 6,5°C de temperatura mínima interior de diferencia respecto del sistema que no tenía ruptor de puente térmico.

## GRAFICO DE RIESGO DE CONDENSACION SUPERFICIAL

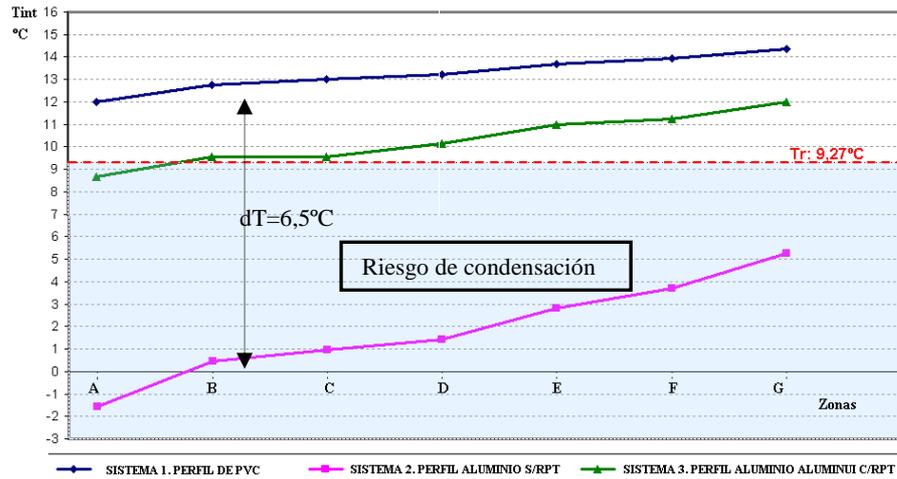


Gráfico 2. Comportamiento térmico de los 3 sistemas de perfiles.

### CONCLUSIONES:

El comportamiento higrotérmico de una ventana es una cuestión que requiere cierta atención a la hora del diseño. Su colocación en un proyecto tiene una gran implicancia, y posibles consecuencias. Este trabajo, totalmente técnico, desprovisto de intereses, y tiene la finalidad de advertir tanto proyectistas como usuarios, sobre posibles consecuencias de una mala elección de carpintería para un determinado clima. Es de gran necesidad incorporar el estudio no solo de coeficiente de transmitancia térmica, sino también de estudio de riesgos de condensación superficial. Actualmente este estudio es de aplicación obligatoria para los fabricantes de carpinterías en la mayoría de los países desarrollados que padecen de climas rigurosos en época invernal. Si bien en la norma IRAM 11507-4, se establece un límite inferior, esta carece de claridad y no permite conocer con mayor información sobre los problemas que pueda tener de condensación para una determinada región del país. El mismo trabajo demostró que a pesar de que dos sistemas se encontraban en la misma categoría, para una misma condición climática, uno verificaba riesgo de condensación superficial, mientras que otro no. Este estudio, contribuirá no solo al uso eficiente de energía en la construcción, sino también a garantizar un espacio habitable, evitando situaciones de discomfort higrotérmico.

### REFERENCIAS UTILIZADAS POR EL SOFTWARE.

- EN ISO 6946 (December 2007) Building components and building elements- Thermal resistance and thermal transmittance- Calculation method.
- EN ISO 10077-2 (October 2003). Thermal performance of windows, doors and shutters. Calculation of thermal transmittance- Part 2: Numerical method for frames.
- EN ISO 10211 (December 2007). Thermal bridges in building construction- Heat flows and surface temperatures- Detailed calculations.
- EN 673 (November 1997). Glass building- Determination of thermal transmittance (U value) - Calculation method.

**ABSTRACT:** A numerical simulation program for finite element method allows to calculate, among others, the thermal behavior of a window frame, and its coefficient of thermal transmittance, according to UNE-EN ISO 10077. This program gives the pattern of feasible diseases that may appear on the profile and its area of influence on the course of life for a given geography. The aim of this work is to characterize three window frames: aluminum (with thermal break / no break) and PVC (polyvinyl chloride) by numerical computer simulation with various boundary conditions, belonging to bioclimatic zones of lower range of temperatures from Argentine Republic. Through this study, we can determine not only the thermal transmission coefficient ( $U=W/m^2K$ ) of the window frame, but also the U-value from the whole window. The temperature factor can be calculate to check the risk of condensation on the inside surface.

**Keywords:** Coefficient of thermal transmittance profiles, surface condensation profiles, thermal break profiles.