

**MEZeroE**



**Cracow University of Technology**  
Faculty of Civil Engineering

**TEMA:**

**Ensayos mecánicos, de durabilidad, acústicos y simulaciones térmicas  
de marco de ventana Indresmat.**

**SOCIO INDUSTRIAL:**

**INDRESMAT SL**  
CASTILLEJOS 361, 3-2  
BARCELONA 08025, ESPAÑA

**CONTRATO:**

Las pruebas se han realizado en el marco del proyecto H2020 MEZeroE Open Innovation Test Bed (OITB). El proyecto MEZeroE ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención n.º 953157. Para más información sobre MEZeroE, visite:  
<https://www.mezeroe.eu/>.

**EQUIPO DEL AUTOR:**

Aneta Nowak-Michta, Ph.D.  
Łukasz Hojdys, Ph.D.  
Piotr Krajewski, Doctor en Filosofía.  
Jarosław Górszczyk, Ph.D.  
Konrad Malicki, Ph.D.  
Teresa Stryzewska, Ph.D., D.Sc., Prof. de la CUT  
Marta Dudek, Ph.D.  
Mateusz Sitarz, Doctor en Filosofía.  
Krzysztof Nering, Ph.D.  
Jarosław Chelmecki, M.Sc.  
Tomasz Kisilewicz, Ph.D., D.Sc., Prof. de CUT

**Jefe de Construcción**  
Centro de certificación  
**MEZeroE**  
Coordinador de PM&VL7

**MEZeroE**  
Líder de PM&VL7

**Autorizado por:**  
Jefe de Investigación de Materiales  
y Estructuras de Construcción  
Laboratorio

**Autorizado por:**  
Jefe de Investigación de Materiales  
y Estructuras de Construcción  
Laboratorio

Cracovia, noviembre de 2023

## 1 FUNDAMENTOS DEL ESTUDIO

- NÚMERO DE ACUERDO DE SUBVENCIÓN 953157 - MEZeroE: H2020-NMBP-TO-IND-2018-2020 / H2020-NMBP-TO-IND-2020-twostage.
- EN 12697-46:2020 Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo. Parte 46: Fisuración a baja temperatura y propiedades mediante ensayos de tracción uniaxial.
- EN 514:2018 Plásticos - Perfiles a base de poli(cloruro de vinilo) (PVC) - Determinación de la resistencia de esquinas soldadas y juntas en T
- EN 14351-1+A2:2016-10 Ventanas y puertas. Norma de producto, características de rendimiento. Parte 1: Ventanas y puertas peatonales exteriores.
- EN 13165:2012+A2:2016 Productos de aislamiento térmico para edificios. Productos de espuma de poliuretano (PU) rígida fabricados en fábrica. Especificación.
- EN 12091:2013 Productos aislantes térmicos para la edificación. Determinación de la resistencia al ciclo de hielo-deshielo.
- EN ISO 12354-1:2017 Acústica de edificios. Estimación del rendimiento acústico de los edificios a partir del rendimiento de los elementos. Parte 1: Aislamiento acústico aéreo entre habitaciones.
- EN ISO 12354-2:2017 Acústica de edificios. Estimación del rendimiento acústico de los edificios a partir del rendimiento de los elementos. Parte 2: Aislamiento acústico de impactos entre habitaciones.
- EN ISO 13788:2012 Comportamiento higrotérmico de componentes y elementos de edificación. Temperatura superficial interna para evitar la humedad superficial crítica y la condensación intersticial. Métodos de cálculo.
- EN ISO 10211:2017 Puentes térmicos en la construcción de edificios. Flujos de calor y temperaturas superficiales. Cálculos detallados.
- EN ISO 10077-2:2017 Rendimiento térmico de ventanas, puertas y contraventanas. Cálculo de la transmitancia térmica. Parte 2: Método numérico para marcos.
- EN ISO 10456: 2007 Materiales y productos de construcción — Propiedades higrotérmicas — Valores de diseño tabulados y procedimientos para determinar los valores térmicos declarados y de diseño.
- Resultados de pruebas técnicas realizadas por:
  - o el Laboratorio de Investigación de Materiales y Estructuras de Construcción acreditado de la Universidad Tecnológica de Cracovia AB 1251 fuera del alcance de la acreditación,

- o el Laboratorio acreditado de Deformaciones y Vibraciones de Estructuras de la Universidad Tecnológica de Cracovia AB 846 fuera del alcance de la acreditación, el Laboratorio de
- o Investigación de Materiales y Pavimentos Viales de la Universidad Tecnológica de Cracovia,
- o Laboratorio de Investigación en Diseño y Física de Edificios de la Universidad Tecnológica de Cracovia.

## 2 OBJETIVO Y ALCANCE DE LAS PRUEBAS

El propósito del estudio fue determinar las siguientes propiedades del marco de ventana Indresmat KLIMA-PUR:

I. Agrietamiento a baja temperatura.

### II. Durabilidad

a. Resistencia al envejecimiento artificial por exposición al ciclo de congelación y descongelación. El diagnóstico de durabilidad por envejecimiento incluyó características no definidas en la norma. Las pruebas incluyeron:

- Ensayo mecánico antes del envejecimiento artificial - Resistencia de las esquinas según EN 514,
- Congelación-descongelación según EN 13165 con modificación,
- Ensayo mecánico después del envejecimiento artificial - Resistencia de las esquinas según EN 514.

b. Resistencia al envejecimiento acelerado por exposición a temperatura de acuerdo Conforme a los requisitos de la norma EN 13165. El diagnóstico de durabilidad por envejecimiento acelerado incluyó características no definidas en la norma. Las pruebas incluyeron:

- Ensayo mecánico antes del envejecimiento artificial - Resistencia de las esquinas según EN
- 514, Envejecimiento acelerado según EN 13165,
- Ensayo mecánico después del envejecimiento artificial - Resistencia de las esquinas según EN 514.

III. Diferencia de nivel de velocidad de unión promediada según la dirección para el conector o para el modelo de conexión.

IV. Temperatura de la superficie interna.

De acuerdo con los acuerdos con el socio industrial, las pruebas incluyeron dos tipos de marcos de ventana. Las muestras de marcos para las pruebas fueron suministradas por Indresmat y, según las figuras 2 a 5, se marcaron en el laboratorio CUT según la tabla 1.



Figura 1 IWF-16: muestras de marco de ventana para las pruebas



Figura 2 IWF-10: muestras de marco de ventana para las pruebas

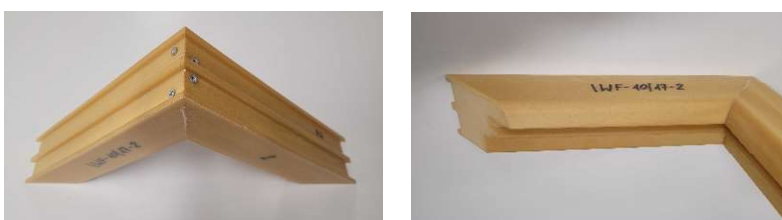


Figura 3 IWF-10/17: muestras de marco de ventana para los ensayos

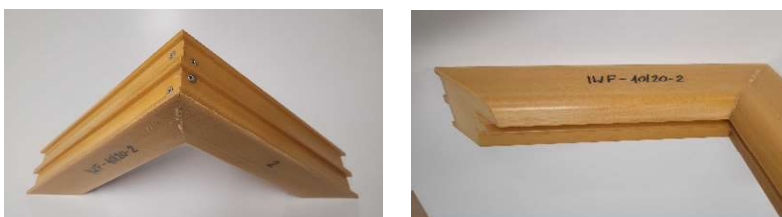


Figura 4 IWF-10/20: muestras de marco de ventana para las pruebas

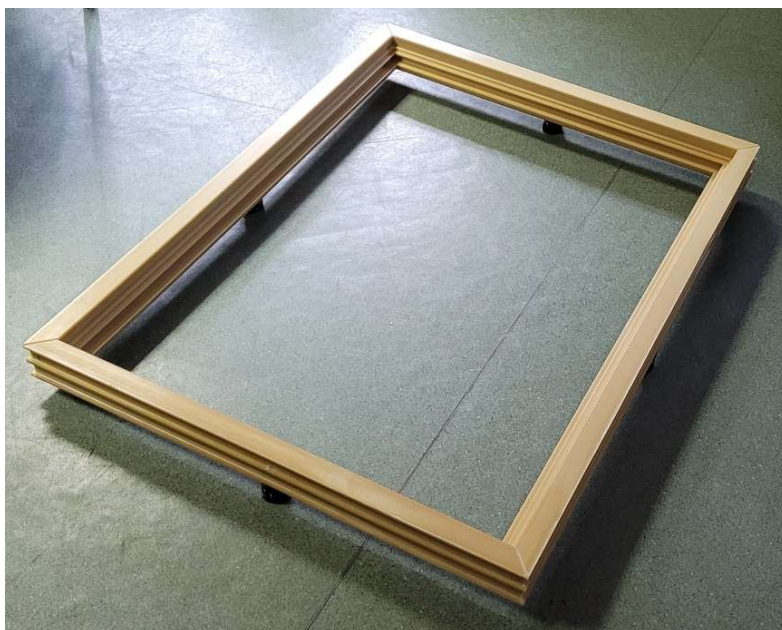


Figura 5 IWF-27: muestra de marco de ventana para las pruebas

Tabla 1 Marcado de muestras para prueba

Símbolo	Prueba
IWF-16	Agrietamiento a baja temperatura
IWF-10	Resistencia de las esquinas/prueba mecánica de referencia antes del envejecimiento artificial/
IWF-10/17	Resistencia de las esquinas/envejecimiento artificial tras congelación-descongelación/
IWF-10/20	Resistencia de las esquinas /después del envejecimiento acelerado/
IWF-27	Diferencia de nivel de velocidad de unión promediada según la dirección para el conector o para el modelo de conexión

### 3 MÉTODOS DE PRUEBA

#### 3.1 Agrietamiento a baja temperatura

El objetivo de la medición del agrietamiento a baja temperatura es determinar la resistencia del elemento probado contra el agrietamiento a baja temperatura realizado midiendo la temperatura y

fuerza. Las mediciones se realizaron en el Laboratorio de Investigación de Materiales y Pavimentos Viales (L-5) de CUT según EN 12697-46, con modificaciones.

Las pruebas se llevaron a cabo en un sistema de pruebas servohidráulico MTS Landmark de 100 kN equipado con mordazas especiales para la fijación de la muestra y cámara de temperatura Mytron para realizar pruebas de enfriamiento a la temperatura de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Figura 6).

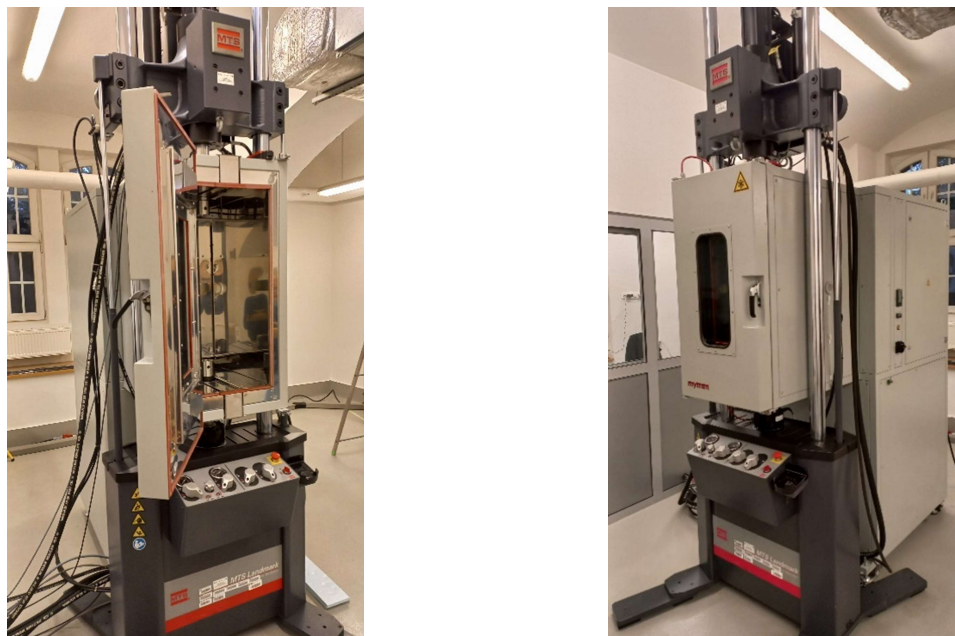


Figura 6. Banco de pruebas utilizado en el ensayo de agrietamiento a baja temperatura (instalaciones existentes)

Las pruebas se realizaron en cinco muestras cortadas del marco de la ventana (Figura 1). Las dimensiones de las muestras en la sección transversal se derivan de las dimensiones de la sección transversal del marco de la ventana ensayado. La longitud de las muestras es de  $300 \pm 1\text{ mm}$ . El área de la sección transversal de la muestra fue de  $3134\text{ mm}^2$ . El esquema de la sección transversal del marco de la ventana con líneas que indican el centroide del área de la sección transversal se muestra en la Figura 7.

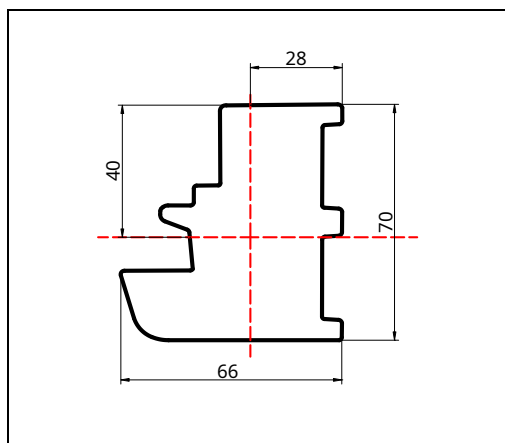


Figura 7 Esquema de la sección transversal del marco de la ventana [mm]



Todas las muestras proporcionadas por un productor para análisis deben estar en buen estado técnico y sin daños visibles (causados, por ejemplo, por el transporte). Las muestras dañadas no podrán ser analizadas.

La muestra se fijó a placas de acero rígidas con un adhesivo adecuado. Posteriormente, las placas de acero se montaron en las juntas esféricas, el dispositivo de giro y las abrazaderas. La muestra se acondicionó antes de la prueba durante un mínimo de 4 horas a la temperatura inicial. La muestra durante la preparación para la prueba se muestra en la Figura 8. El conjunto de muestras y la muestra preparada para el ensamblaje en la máquina se muestran en la Figura 9.

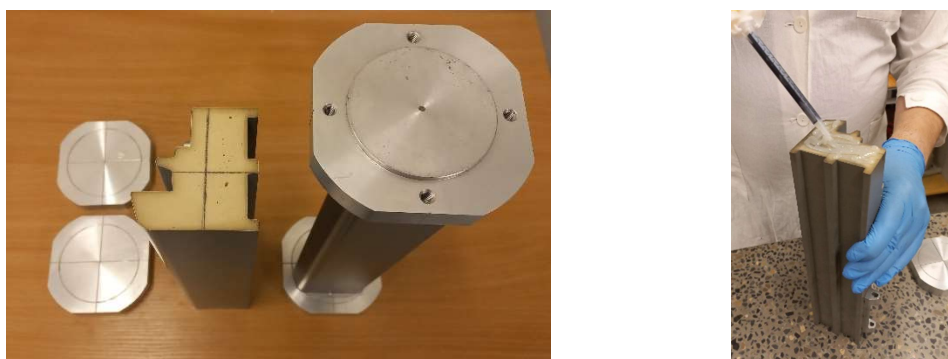


Figura 8 Muestra durante la preparación para la prueba

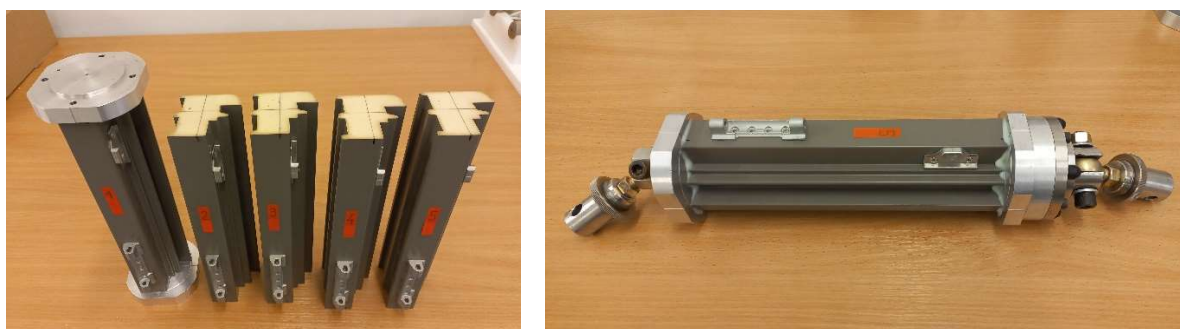


Figura 9 Conjunto de muestras y muestra preparada para ensamblaje en la máquina MTS

La muestra preparada se monta verticalmente en la máquina MTS bajo un pistón hidráulico. La muestra montada en la máquina se muestra en la Figura 10.



Figura 10 Muestra montada en la máquina MTS

### 3.1.1 Procedimiento de prueba

El banco de pruebas está equipado con sensores que controlan la fuerza, el desplazamiento y la temperatura de la muestra. Las señales se adquieren mediante un sistema de adquisición multicanal calibrado.

En el primer paso, se estabiliza la temperatura inicial. A continuación, se inicia el programa de control de la prueba. Se aplica la precarga para eliminar la holgura del sistema. Se bloquea el desplazamiento vertical de la muestra.

En el segundo paso, la muestra se mantiene a una longitud constante mientras su temperatura disminuye con el tiempo, a una velocidad de  $10 \pm 1$  °C por hora. Debido a la contracción térmica (deformación térmica), la muestra se somete a tensión criogénica. El protocolo de prueba se detiene cuando se produce la falla de la muestra o se alcanza la temperatura final. La temperatura criogénica final de la prueba es de  $-25 \pm 1$  °C.

La tensión criogénica se calcula como la relación entre la fuerza inducida térmicamente resultante de las deformaciones térmicas bloqueadas y el área de la sección transversal de la muestra probada.

### 3.1.2 Observaciones y mediciones

Durante el ensayo se miden la fuerza y la temperatura. La clase de precisión de los transductores de fuerza de la máquina de ensayo es de 0,5 en un rango de valores de fuerza del 1 % al 100 %. La cámara climática permite realizar ensayos a temperaturas de +60 °C a -40 °C. La temperatura se mide con una precisión de  $\pm 1$  °C.



### 3.1.3 Criterios de evaluación

El criterio de evaluación incluye la temperatura final de la prueba. La temperatura criogénica final requerida para la prueba se fijó en  $-25 \pm 1$  °C.

Hay dos modos posibles de finalizar la prueba:

- Falla de la muestra ensayada antes de alcanzar la temperatura final. Se informa la temperatura de falla criogénica y se calcula la tensión criogénica de falla. La muestra no cumple con el criterio de evaluación de temperatura requerido.
- No se observó falla en la muestra antes de alcanzar la temperatura final del ensayo. Se reportó la temperatura criogénica final del ensayo ( $-25 \pm 1$  °C) y se calculó la tensión criogénica máxima. La muestra cumplió con el criterio de evaluación de temperatura requerido.

Las muestras de prueba se analizaron a una temperatura inicial de  $22 \pm 1$  °C y una humedad del 30-70 %. La duración de la prueba se determinó a partir de la temperatura final estimada.

### 3.2 Resistencia de las esquinas

La resistencia de las esquinas de los marcos de ventanas/abatibles se determinó en el Laboratorio de Investigación de Materiales y Estructuras de Construcción acreditado de la Universidad Tecnológica de Cracovia AB 1251, fuera del ámbito de acreditación según la norma EN 514. El objetivo de los ensayos era determinar la resistencia de las esquinas de los marcos de ventanas/abatibles. El procedimiento de ensayo está destinado a marcos de ventanas/abatibles de poliuretano.

Las pruebas se llevaron a cabo en una máquina de pruebas universal Z100 Zwick/Roell –LB 039 equipado con juego de rodillos. Las dimensiones de la esquina de la ventana/marco probados se dan en Figura 11.

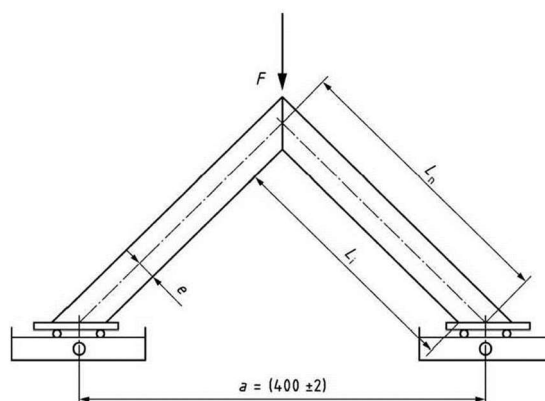


Figura 11 Dimensiones de la esquina de la ventana/marco probado

Se analizaron tres muestras de esquinas en cada prueba (Figura 2 ÷ Figura 4). Las muestras se acondicionaron y se probaron a una temperatura de  $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ .

### 3.3 Durabilidad

Las pruebas de durabilidad se realizaron en el Laboratorio de Investigación de Materiales y Estructuras de Construcción acreditado de la Universidad Tecnológica de Cracovia AB 1251, fuera del ámbito de acreditación. Según el punto 4.15 de la norma EN 14351-1:2006+A2:2016, la durabilidad de las ventanas depende, entre otros factores, de la durabilidad de las características de cada componente y material. Los marcos de ventana KLIMA-PUR están fabricados con espuma de poliuretano, por lo que se aplicaron los requisitos de la norma EN 13165:2012+A2:2016, con la modificación acordada con Indresmat, para evaluar la durabilidad.

#### 3.3.1 Resistencia a la congelación y descongelación

Resistencia al congelamiento y descongelamiento de tres esquinas de marcos de ventanas: muestras IWF-10\_17 Se determinó según un método modificado incluido en el Anexo E.6 de la norma EN 13165. Las muestras no se sometieron a absorción de agua por difusión ni a inmersión total antes del ensayo de congelación-descongelación. El método de ensayo, según el Anexo E.6 de la norma EN 13165, consiste en exponer las muestras a 300 ciclos de congelación-descongelación. La modificación de las recomendaciones de la norma EN 12091 consistió en ampliar las temperaturas al rango de  $-40 ^\circ\text{C}$  a  $+80 ^\circ\text{C}$  y extender el ciclo de congelación-descongelación a 8 horas de acuerdo con la Figura 12.

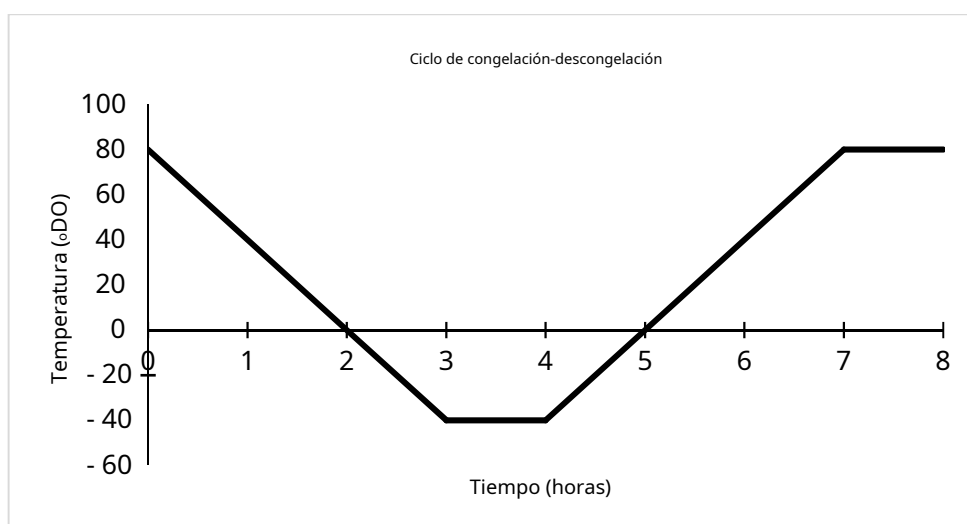


Figura 12 Ciclo de congelación-descongelación

Las pruebas de congelación-descongelación se realizaron en cámara climática LB 222 (Figura 13). Las muestras de prueba se acondicionaron durante 6 h a  $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ . La exposición a 300 ciclos de congelación-descongelación se realizó de febrero a mayo de 2023 y tuvo una duración de 100 días.



Figura 13 Cámara climática LB 222 (comprado con fondos MEZeroE)

### 3.4 Procedimiento de envejecimiento acelerado

Resistencia al envejecimiento acelerado de tres esquinas de marcos de ventanas: muestras IWF-10\_20Se determinó según el Anexo C de la norma EN 13165. El método de ensayo consiste en almacenar las muestras a  $(70 \pm 2)^\circ\text{C}$  durante  $(175 \pm 5)$  días. El ensayo se realizó en un horno ventilado con control de temperatura LB 114 (Figura 14). Las muestras de prueba se acondicionaron a  $(23 \pm 3)^\circ\text{C}$  y  $(50 \pm 10)\%$  de humedad relativa durante 16 h. El envejecimiento acelerado se llevó a cabo entre septiembre de 2022 y marzo de 2023.



Figura 14 Horno ventilado con control de temperatura LB 114 (instalaciones existentes)

### 3.5 Diferencia de nivel de velocidad de unión promediada según la dirección para el conector o para el modelo de conexión

El objetivo de la diferencia de nivel de velocidad de unión promediada por dirección para el conector o para el modelo de conexión es determinar la capacidad de transferir vibraciones a través del nodo con el conector probado aplicado, lo cual se realiza midiendo la diferencia de velocidad de vibración entre los extremos del nodo. Los parámetros probados, que proporcionan la fuerza de impulso y miden la aceleración de la respuesta del sistema, se determinaron según nuestro propio procedimiento basado en las normas EN ISO 12354-1 y EN ISO 12354-2.

Las pruebas de diferencia de nivel de velocidad de unión promediada por dirección en marcos de ventanas se realizaron en el Laboratorio de Ensayos de Deformación y Vibración de Edificios de la Universidad Tecnológica de Cracovia. La prueba, denominada VAVLD, se realizó seis veces en marcos de ventanas Indresmat.

Las pruebas se realizaron mediante excitador dinámico – máquina de golpeteo o martillo modal y acelerómetros IEPE (designación del dispositivo sujeto a supervisión en el Laboratorio acreditado por PCA AB 0846).

Procedimiento de prueba:

1) Diseño del banco de pruebas teniendo en cuenta el conector de los testículos y en relación con el acoplamiento vibroacústico

a. Las condiciones ambientales deben cumplir con las condiciones de funcionamiento del equipo usado.

2) Proporcionar aislamiento vibratorio en la muestra probada y la fuente de impacto.

3) Aplicar fuente de impacto a la muestra.

- a. Se utilizan tanto un martillo modal como una máquina de golpeteo. Los resultados de la máquina de golpeteo son preferibles siempre que no se registre una distorsión significativa en los acelerómetros.

4) Mida las aceleraciones utilizando acelerómetros IEPE conectados a la muestra delante y detrás del conector.

- a. Los acelerómetros deben ser desmontables, la instalación de los acelerómetros debe realizarse con una frecuencia de resonancia mayor que la frecuencia máxima medida durante la prueba.

El marco de la ventana probado contiene cuatro nodos, por lo que se consideró un conector.

La multiplicación de las pruebas de medición por el número de muestras debe ser mayor.

Mayor o igual a 6. Se deben utilizar al menos 3 conectores de prueba en el procedimiento de prueba. La muestra analizada y las fuentes de impacto se separaron vibroacústicamente durante la prueba. Se utilizó aislamiento de vibraciones de la máquina roscadora y de la muestra analizada.

En la Figura 5 se muestra una fotografía de la muestra de prueba y en la Figura 15 se muestra el soporte de prueba.

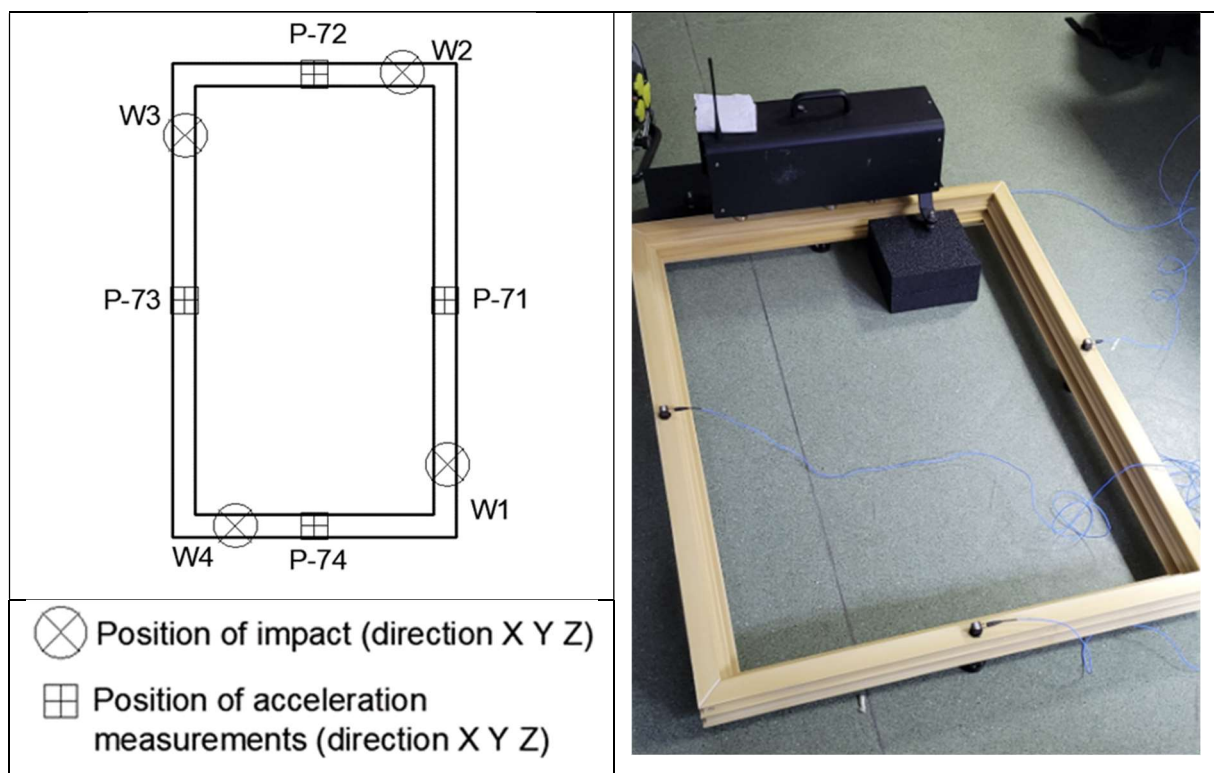


Figura 15 Plano de configuración de prueba (izquierda), en laboratorio con máquina de roscado (comprada con fondos MEZeroE) (derecha)

Diferencia de nivel de velocidad de vibración [dB] mediante la función de movilidad (basada en la función de inercia). La excitación se realizará mediante un martillo modal y una máquina de golpeteo. La respuesta de la muestra se medirá mediante acelerómetros IEPE. La frecuencia de prueba se limitará a 5 kHz si

Posible. Frecuencia mínima inferior a 50 Hz. Se recomienda que la reproducibilidad de la medición sea igual o inferior a 3 dB.

Se evaluarán los siguientes parámetros: daños visibles en la muestra analizada y cambios en la diferencia de nivel en el dominio de la frecuencia. Los criterios de evaluación, los valores umbral y las tolerancias se ajustarán individualmente, considerando el carácter innovador del procedimiento de prueba y la novedad de las muestras analizadas, que no se ajustan a las normas o directrices actuales que se ajusten exactamente a este procedimiento.

#### Prueba 01: Marco de ventana VAVLD Indresmat

Marco de ventana suministrado por el socio de INDRESMAT. La prueba tuvo como objetivo verificar la reducción de la velocidad de vibración en las esquinas del marco.

Aislamiento vibroacústico del marco de la ventana (que evita el acoplamiento con diferentes elementos del laboratorio). Un aislamiento vibroacústico demasiado blando provocó un comportamiento no lineal del marco de la ventana, mientras que uno demasiado rígido generó acoplamiento con el suelo. La máquina de impacto tuvo que aislarse vibroacústicamente con granulado de caucho para evitar el acoplamiento con otros equipos del laboratorio. La configuración de prueba se muestra en la Figura 15.

#### Condiciones de prueba:

- $T = 21 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$  (IC95 %, 20,4;21,7)  $\phi_{\text{CP cajero automático}} =$
- 1001 hPa (IC95 %, 988;1020) hPa HR = 41 %
- (IC95 %, 35;51)%

Ciclo de medición único de 8h, 6 ciclos en total.

### 3.6 Temperatura de la superficie interna

El objeto de la prueba son los elementos de la envolvente exterior de edificios energéticamente eficientes, sus interconexiones entre sí y con la estructura del edificio. El procedimiento tiene como objetivo emitir un dictamen sobre la conformidad de la solución de diseño innovadora con las normas pertinentes. El objetivo del estudio es verificar la humedad crítica superficial, que puede causar problemas como la formación de moho en las superficies internas de los edificios. El ámbito de aplicación del procedimiento propuesto se centra en los componentes de la envolvente exterior del edificio sometidos a diferencias de temperatura, como paredes opacas, ventanas, etc.

La disminución de la temperatura del aire en la superficie interna del edificio, especialmente en los puentes térmicos, provoca un aumento de la humedad relativa del aire, lo que puede provocar condensación capilar o saturación del aire con vapor de agua. Finalmente, puede producirse un aumento del contenido de humedad del material de la partición. En estas condiciones, el moho puede proliferar. Al comprobar la humedad crítica, es importante indicar la temperatura más baja en la superficie interna (caliente) de la junta ensayada. La temperatura más baja se puede determinar de dos maneras: computacionalmente con un software de simulación o mediante mediciones en un laboratorio o en edificios existentes.



## 4 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

## 4.1 Agrietamiento a baja temperatura

Los resultados de las pruebas realizadas en condiciones operativas normales entre agosto y octubre de 2023 utilizando el método recomendado se muestran en la Tabla 2. La relación entre el estrés criogénico y la temperatura se muestra en la Figura 16.

Tabla 2 Resultados de las pruebas

Muestra número	A partir de temperatura	Máximo criogénico estrés	Final temperatura	Falla modo	Evaluación de resultado
1	$22 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$	1,19 MPa	$- 25 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$	No hay fallo de el espécimen	El ejemplar se encontró la evaluación criterio
2	$22 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$	1,47 MPa	$- 25 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Sin fallos de el espécimen	El ejemplar se encontró la evaluación criterio
3	$22 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$	1,34 MPa	$- 25 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$	No falla de el espécimen	El ejemplar se encontró la evaluación criterio
4	$22 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$	1,27 MPa	$- 25 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$	No hay fallo de el espécimen	El ejemplar se encontró la evaluación criterio
5	$22 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$	1,53 MPa	$- 25 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$	No hay fallo de el espécimen	El ejemplar se encontró la evaluación criterio
Los hombres valoran:		1,36 MPa			
Desviación estándar:		0,14 MPa			
Coeficiente de variación:		10,4%			

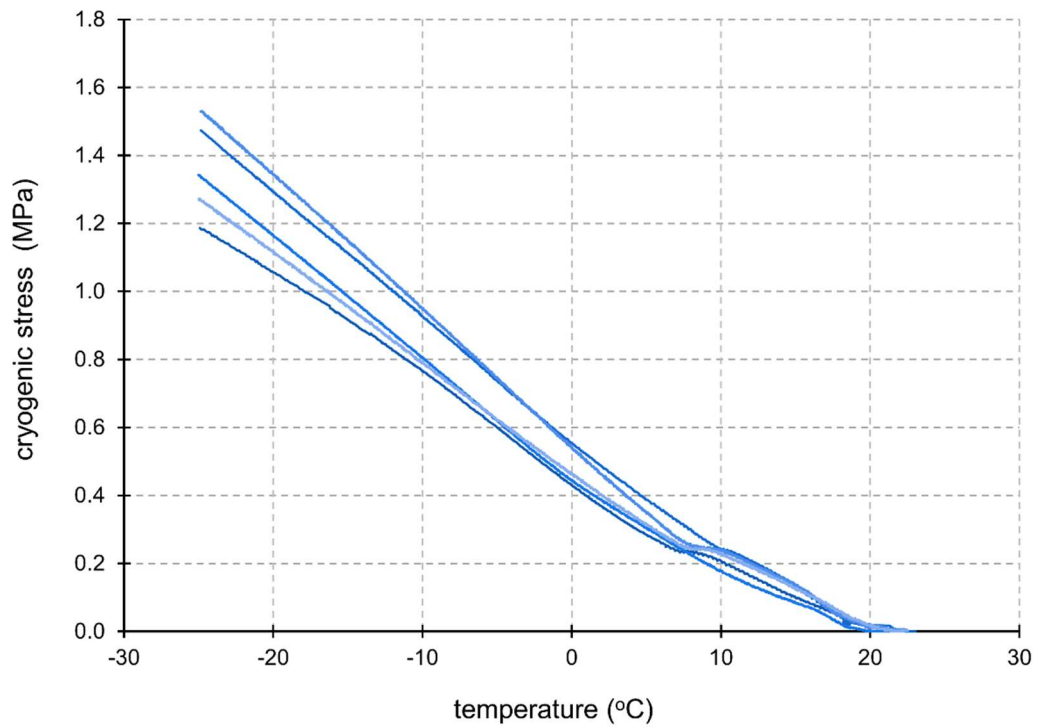


Figura 16 Relación entre el estrés criogénico y la temperatura

El estado de la muestra se observa durante la prueba. En la fase final de la prueba, Se puede observar la congelación de la muestra. La Figura 17 muestra una vista de la muestra en varias etapas de la prueba.



Figura 17 Vista de la muestra al inicio de la prueba (a la izquierda), durante la prueba y al final de la prueba (a la derecha)

## 4.2 Durabilidad

### 4.2.1 Resistencia de las esquinas antes del envejecimiento

Los resultados de los ensayos de resistencia de las esquinas antes del envejecimiento, realizados el 21 de septiembre de 2023 según el método recomendado por la norma EN 514, se muestran en la Tabla 3. El gráfico de carga y desplazamiento vertical se muestra en la Figura 18.

Tabla 3 Resistencia de las esquinas

Identificación de la muestra	Carga de falla (NORTE)	Longitud interior de las piernas (milímetros)	Distancia entre el ejes de rotación de los carruajes (milímetros)	Estrés por fallo (N/mm <sup>2</sup> )
IWF-10-1	687	199	392	3.2
IWF-10-2	735	198	391	3.4
IWF-10-3	720	198	391	3.3
Esfuerzo de falla promedio:				3,3 N/mm <sup>2</sup>
Desviación estándar:				0,1 N/mm <sup>2</sup>
Coeficiente de variación				3,2%

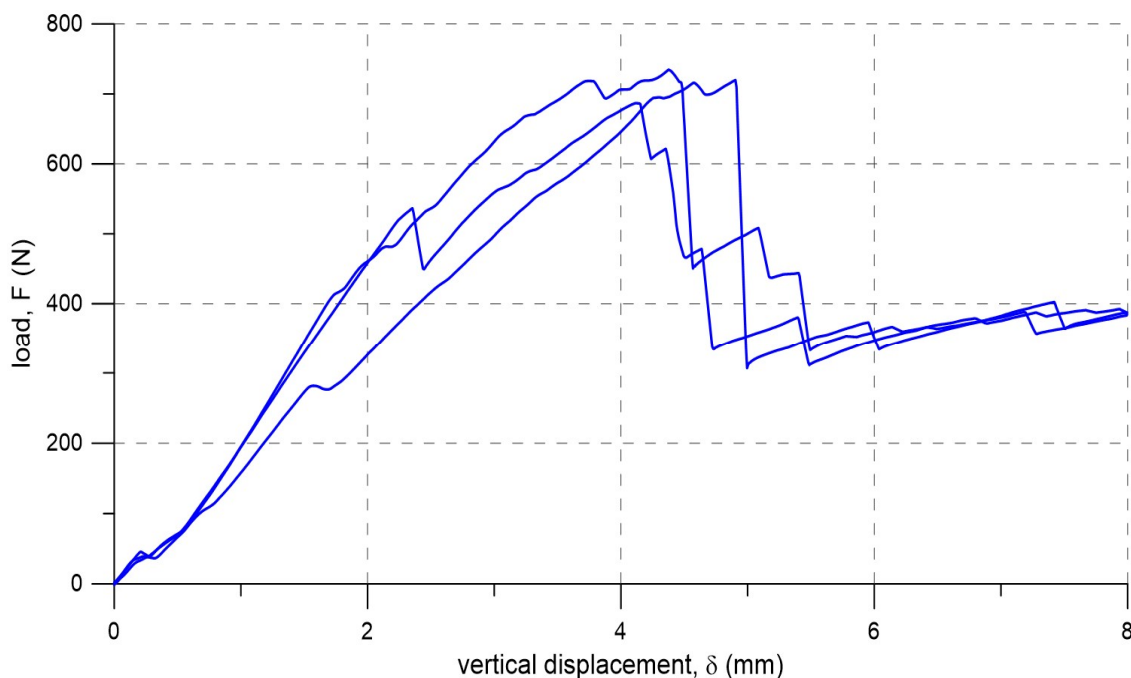


Figura 18 Relación entre la carga y el desplazamiento vertical de las esquinas antes del envejecimiento.

Las probetas IWF-10 durante el ensayo (resistencia de las esquinas antes del envejecimiento) se presentan en la Figura 19.

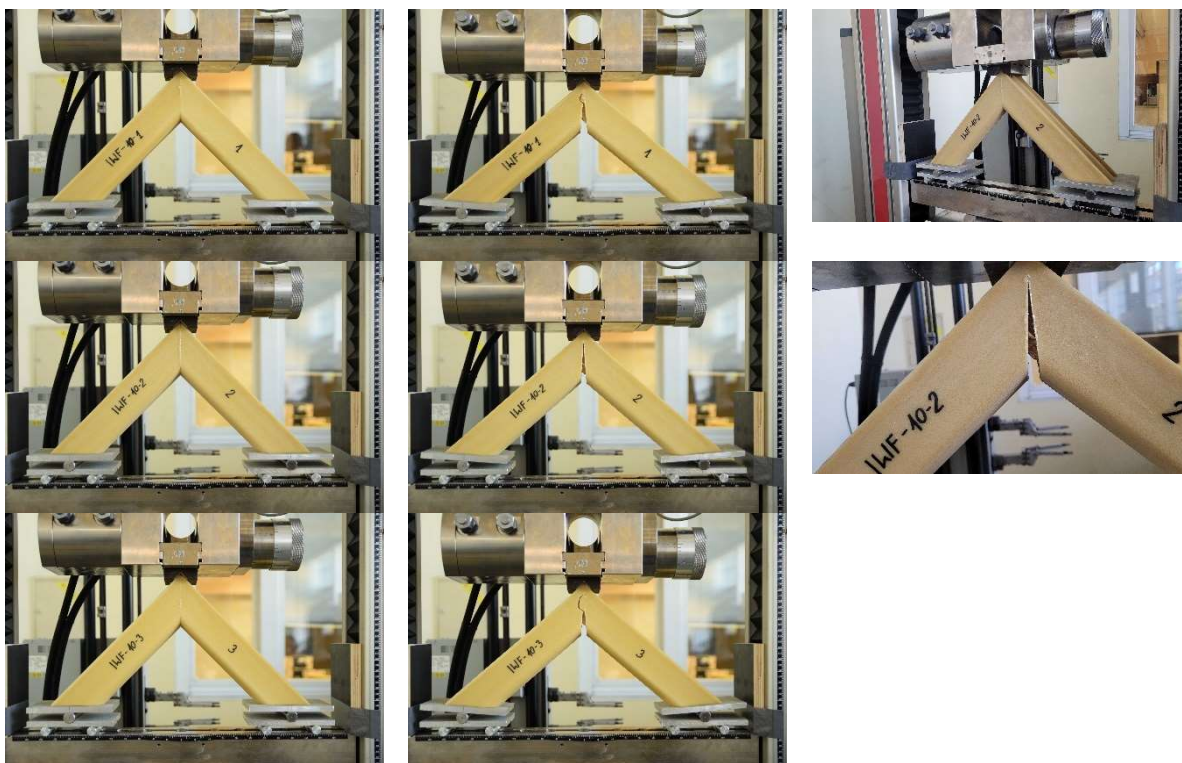


Figura 19 Probetas IWF-10 durante el ensayo de resistencia de las esquinas antes del envejecimiento (Mordazas y mangos para ensayo) Máquinas y kit para probar materiales y máquina de prueba - Zwick Roell adquirido con fondos MEZeroE)

#### 4.2.2 Resistencia de las esquinas después del envejecimiento por congelación y descongelación

Los resultados de los ensayos de resistencia de las esquinas tras el envejecimiento por congelación-descongelación realizados el 21 de septiembre de 2023 utilizando el método recomendado de EN 514 se muestran en la Tabla 4. El gráfico de carga y desplazamiento vertical se muestra en la Figura 20.

Tabla 4 Resistencia de las esquinas después del envejecimiento por congelación y descongelación

Identificación de la muestra	Carga de falla (NORTE)	Longitud interior de las piernas (milímetros)	Distancia entre el ejes de rotación de los carruajes (milímetros)	Estrés por fallo (N/mm <sup>2</sup> )
IWF-10/17-1	609	199	392	2.8
IWF-10/17-2	550	199	392	2.6
IWF-10/17-3	424	199	392	2.0
Esfuerzo de falla promedio:				2,5 N/mm <sup>2</sup>
Desviación estándar:				0,4 N/mm <sup>2</sup>
Coeficiente de variación				17,9%



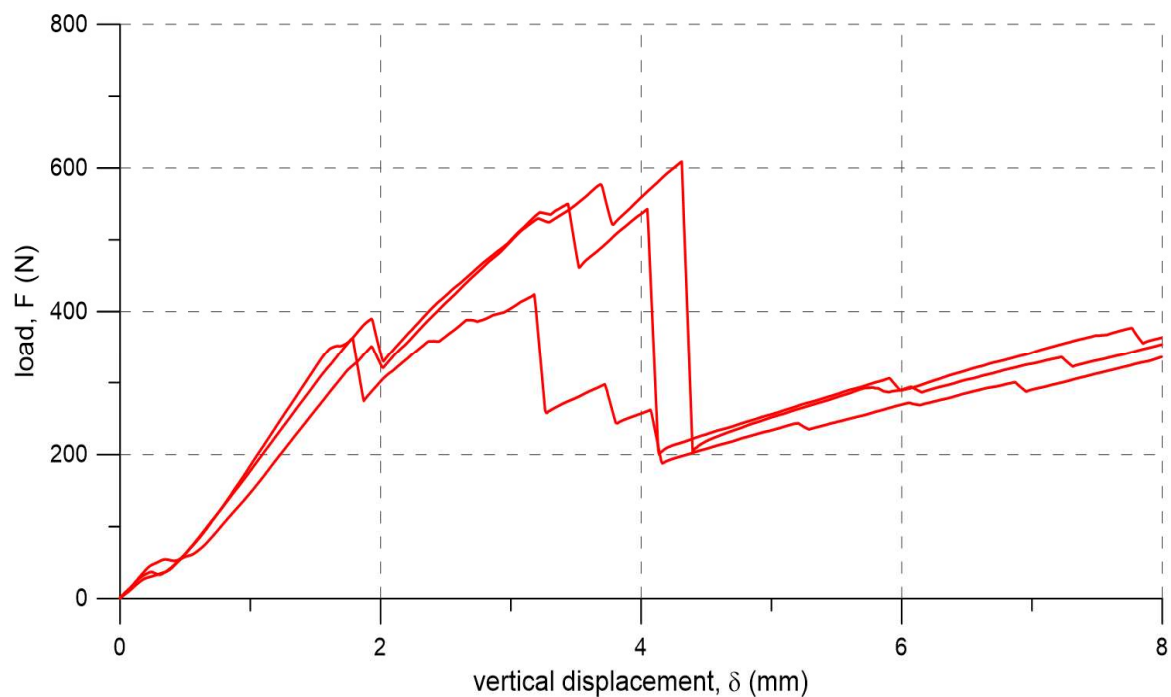


Figura 20 Relación entre la carga y el desplazamiento vertical de las esquinas después del envejecimiento por congelación-descongelación

Las probetas IWF-10/17 durante el ensayo (resistencia de las esquinas después del envejecimiento por congelación-descongelación) se presentan en la Figura 21.

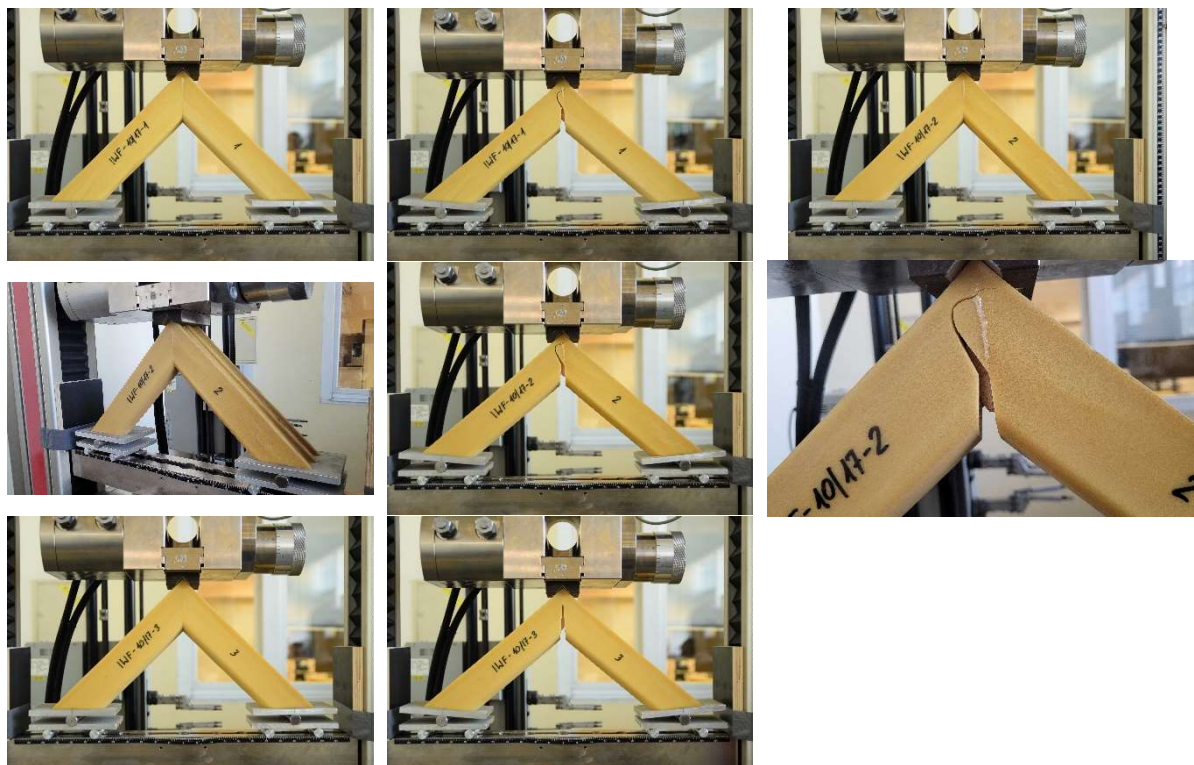


Figura 21 Probetas IWF-10/17 durante la prueba de resistencia de las esquinas después del envejecimiento por congelación y descongelación (Mordazas y mangos para máquinas de prueba y Kit para materiales de prueba y máquina de prueba - Zwick Roell comprados con Fondos MEZeroE)

#### 4.2.3 Resistencia de las esquinas después del envejecimiento acelerado

Los resultados de los ensayos de resistencia de las esquinas después del envejecimiento acelerado, que se llevaron a cabo el 21 de septiembre de 2023 utilizando el método recomendado de EN 514, se muestran en la Tabla 5. El gráfico de carga y desplazamiento vertical se muestra en la Figura 22.

Tabla 5 Resistencia de las esquinas después del envejecimiento acelerado

Identificación de la muestra	Carga de falla (NORTE)	Longitud interior de las piernas (milímetros)	Distancia entre el ejes de rotación de los carruajes (milímetros)	Estrés por fallo (N/mm <sup>2</sup> )
IWF-10/20-1	654	199	392	3.0
IWF-10/20-2	632	199	392	2.9
IWF-10/20-3	600	199	392	2.8
Esfuerzo de falla promedio:				2,9 N/mm <sup>2</sup>
Desviación estándar:				0,1 N/mm <sup>2</sup>
Coeficiente de variación				4,3%

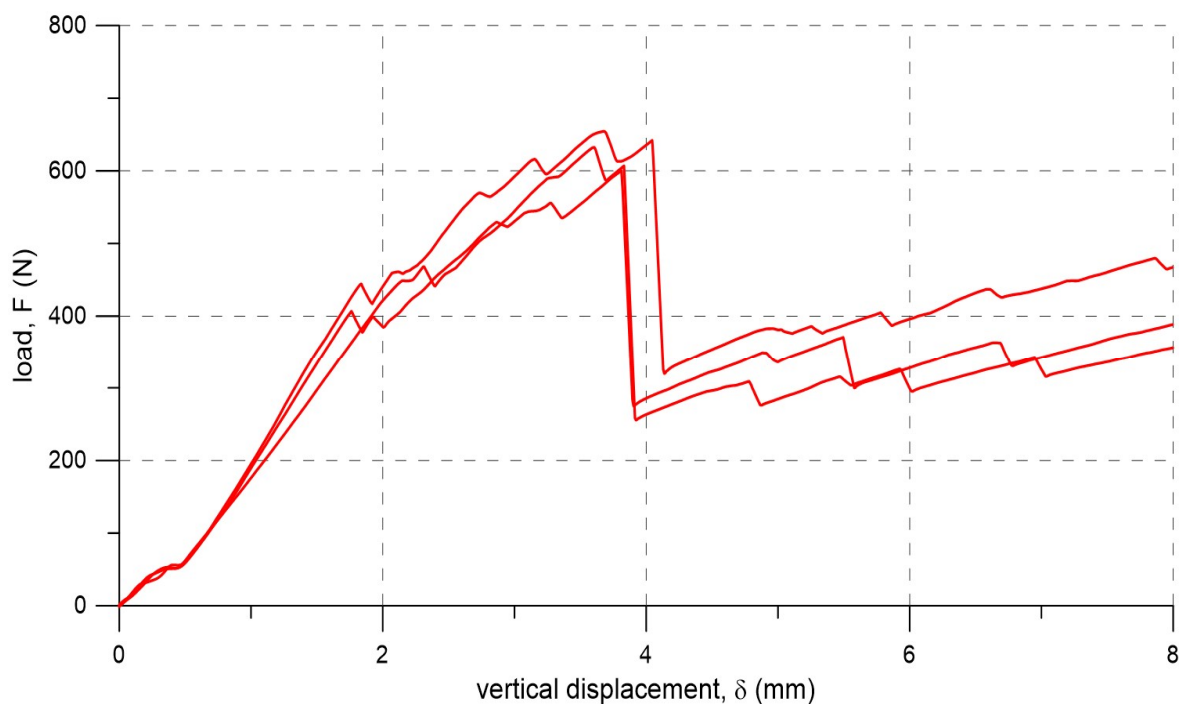


Figura 22 Relación entre la carga y el desplazamiento vertical de las esquinas después del envejecimiento acelerado

Las probetas IWF-10/20 durante el ensayo (resistencia de las esquinas después del envejecimiento acelerado) se presentan en la Figura 23.



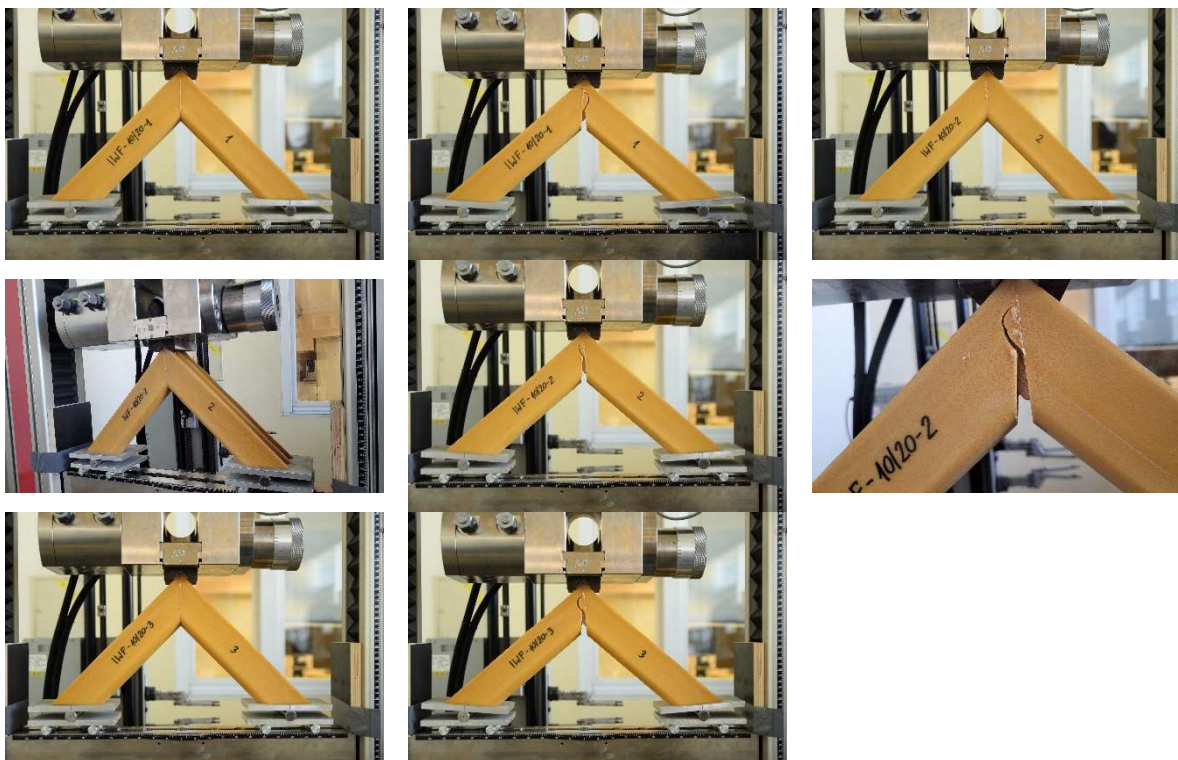


Figura 23 Probetas IWF-10/20 durante el ensayo de resistencia de las esquinas después del envejecimiento acelerado (Mordazas y mangos)  
Para máquinas de prueba y kit para materiales de prueba y máquina de prueba - Zwick Roell comprado con MEZeroE fondos)

#### 4.2.4 Resistencia al envejecimiento artificial por exposición al ciclo de congelación y descongelación

Los resultados promedio de las pruebas de resistencia de las esquinas antes y después del envejecimiento por congelación-descongelación se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6 Resistencia al envejecimiento artificial por exposición al ciclo de congelación y descongelación

Identificación de la muestra	Promedio Estrés por fallo (N/mm <sup>2</sup> )	Estándar Desviación (N/mm <sup>2</sup> )	Coefficiente de Variación (%)
antes del envejecimiento	3.3	0.1	3.2
después del envejecimiento por congelación y descongelación	2.5	0.4	17.9

#### 4.2.5 Resistencia al envejecimiento acelerado

Los resultados promedio de las pruebas de resistencia de las esquinas antes y después del envejecimiento acelerado se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7 Resistencia al envejecimiento acelerado

Identificación de la muestra	Promedio Estrés por fallo (N/mm <sup>2</sup> )	Estándar Desviación (N/mm <sup>2</sup> )	Coefficiente de Variación (%)
antes del envejecimiento	3.3	0.1	3.2
después del envejecimiento acelerado	2.9	0.1	4.3

4.3 Diferencia de nivel de velocidad de unión promediada según la dirección para el conector o para el modelo de conexión

Los resultados de las pruebas realizadas el 2 de septiembre de 2023 utilizando el método recomendado se muestran en la Tabla 8. La diferencia de nivel de velocidad de los puntos fuente W1 ÷ W4 se muestra en la Figura 24 ÷ Figura 28.

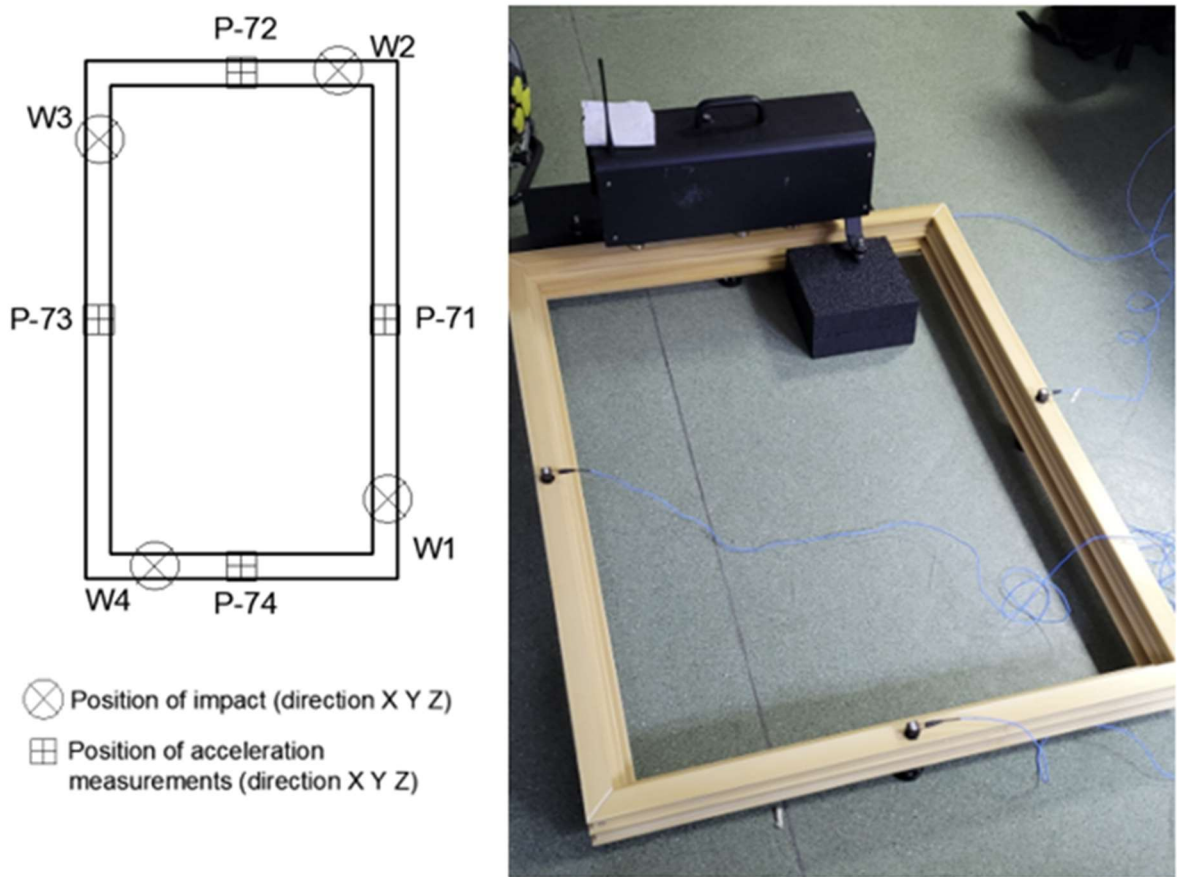


Figura 24 Plano de configuración de prueba (izquierda), en laboratorio con máquina de roscado (derecha)

Tabla 8 Observaciones durante la prueba

Dispositivo	Observaciones
Máquina de roscado	Los acelerómetros IEPE tienden a presentar altas distorsiones debido a la alta fuerza de impacto. Es posible que la máquina de impacto no sea adecuada como fuente de impacto universal para esta prueba.
Acelerómetros IEPE	De forma aleatoria, el adhesivo de los acelerómetros perdió su capacidad de carga y se desprendió de la estructura. Dado que los acelerómetros deben retirarse de la muestra medida, este problema no se puede mitigar.
Martillo modal	No se produjeron problemas

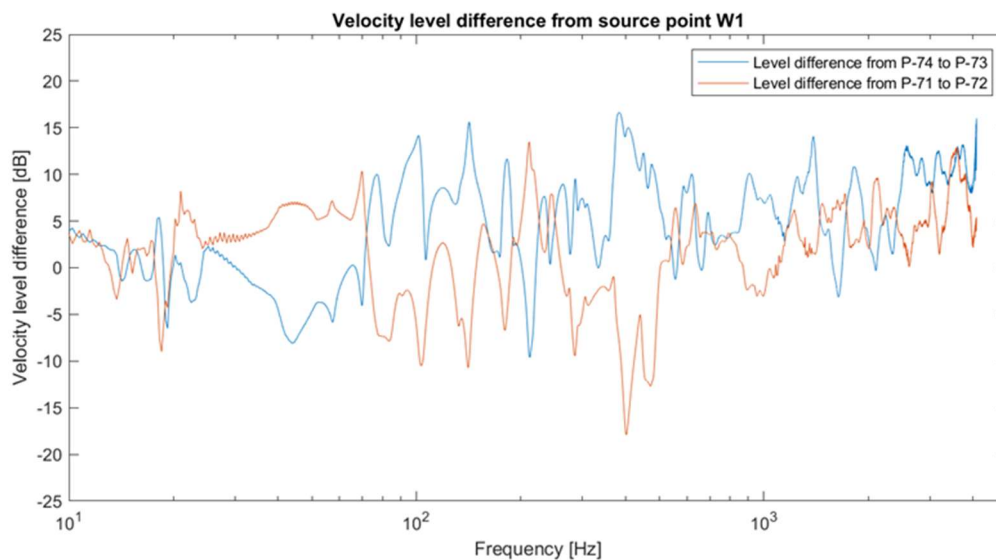


Figura 25 Diferencia de nivel de velocidad desde el punto fuente W1.

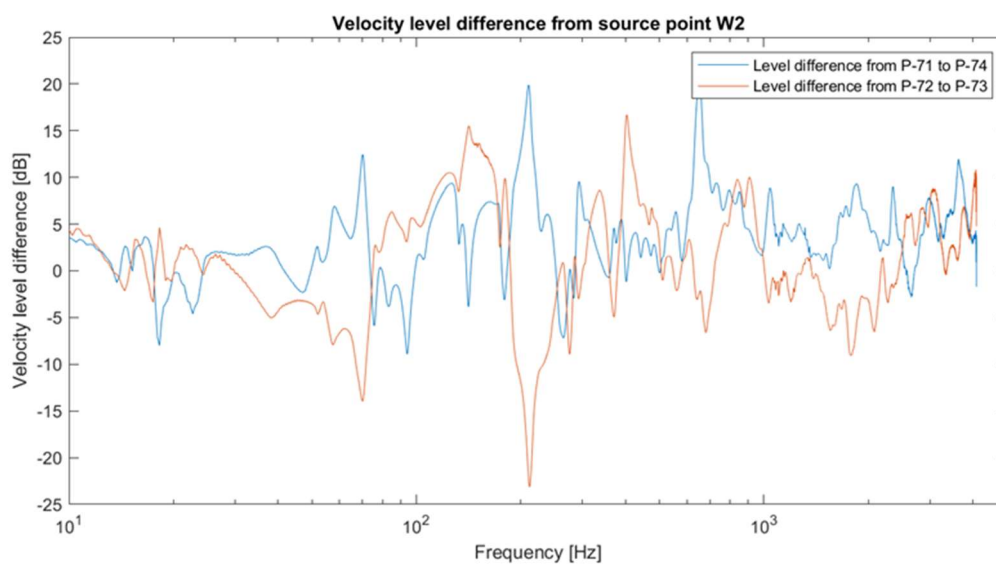


Figura 26 Diferencia de nivel de velocidad desde el punto fuente W2.

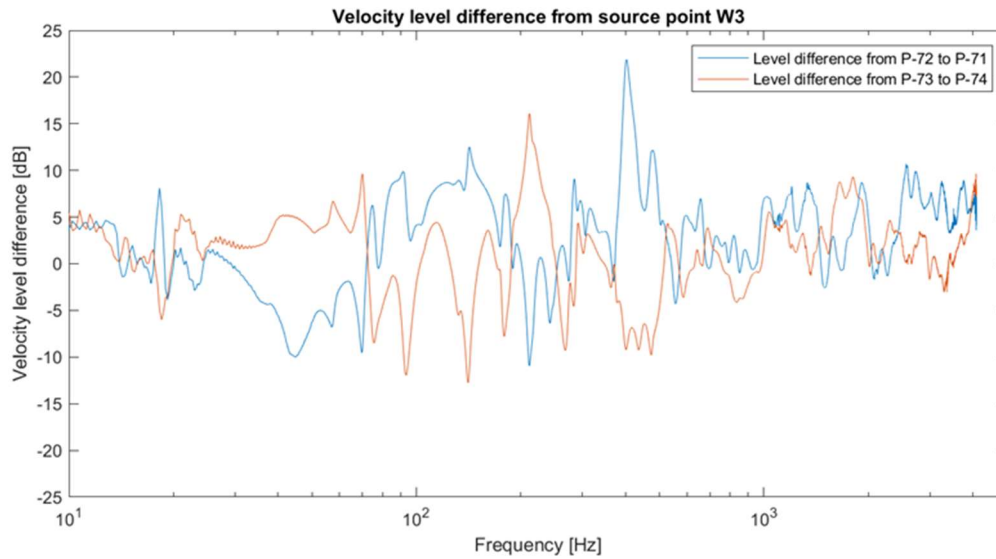


Figura 27 Diferencia de nivel de velocidad desde el punto fuente W3.

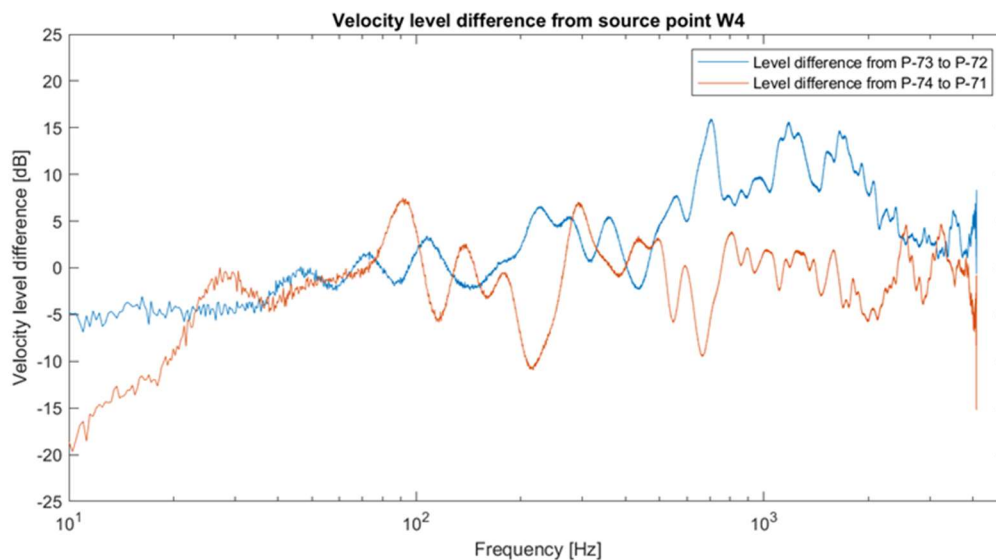


Figura 28 Diferencia de nivel de velocidad desde el punto fuente W4.

En la Figura 29 se presentan fotografías del marco de la ventana durante la prueba.



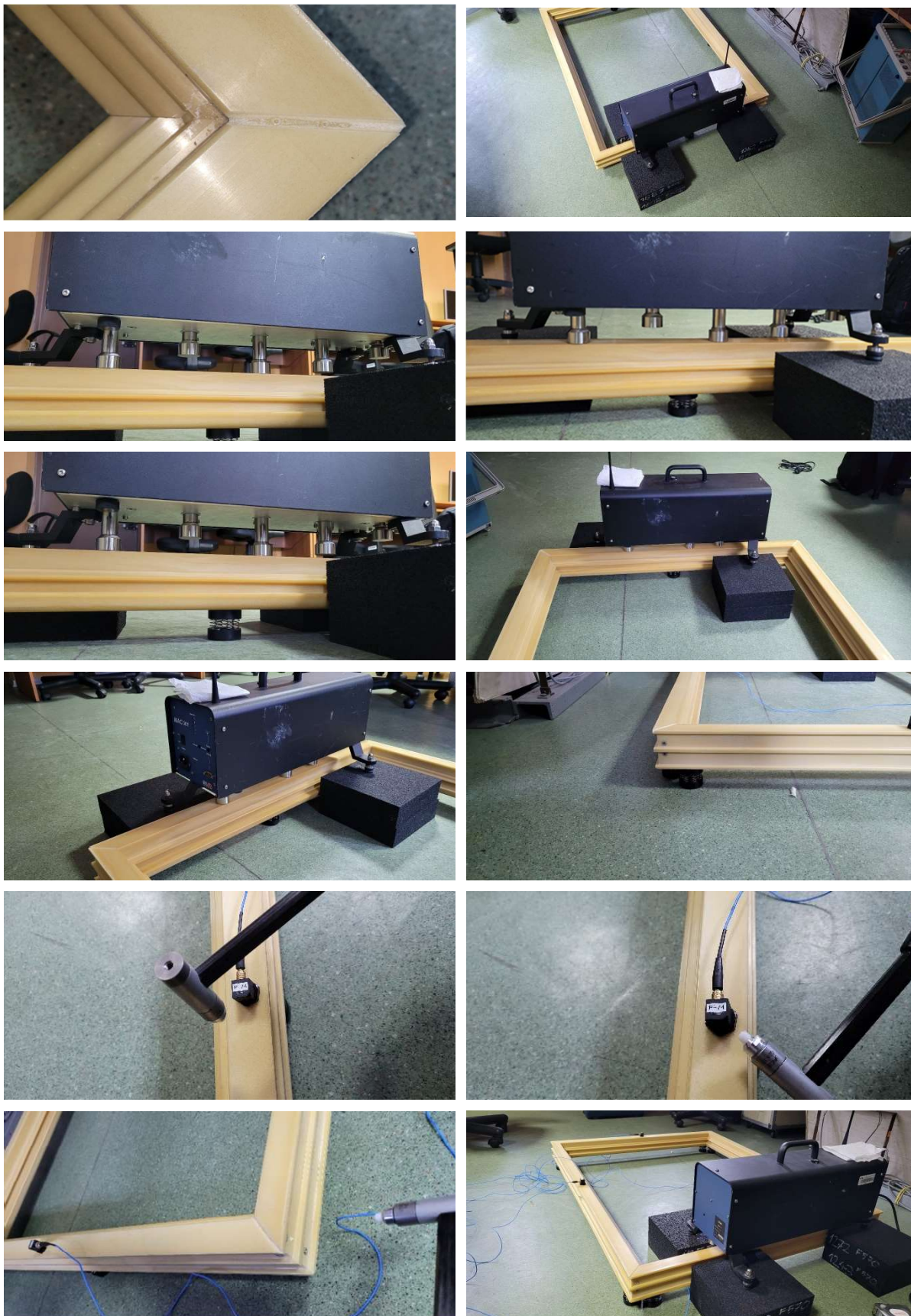


Figura 29 Fotografías del marco de la ventana durante la prueba.

#### 4.4 Temperatura de la superficie interna para evitar la condensación superficial.

1. Identificación de la temperatura superficial interna más baja  $\theta_{si}$  La prueba de la unión se realizó mediante el software Therm 7.6 (Figuras 30 y 31). Se simularon dos ensamblajes. Condiciones de contorno: temperatura del aire interior +20°C, temperatura del aire exterior -20°C. Se debe destacar que los valores calculados a continuación del factor de temperatura  $f_{Rsi}$  Son independientes de las condiciones de contorno asumidas.

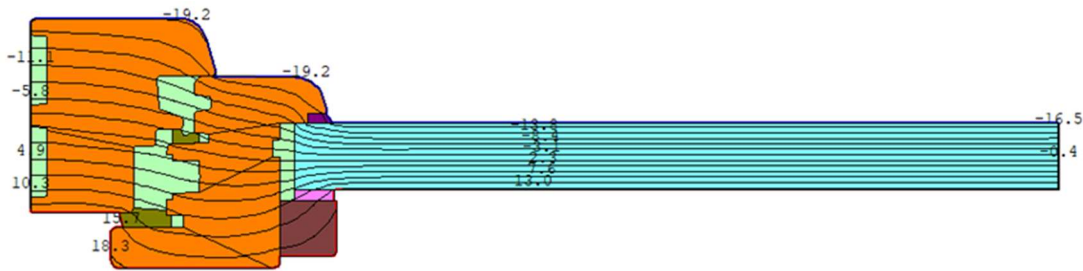


Figura 30 Borde del marco

La temperatura más baja de la superficie interna del marco fue igual a 14,1°C, en el punto de contacto entre el marco principal y el sello.

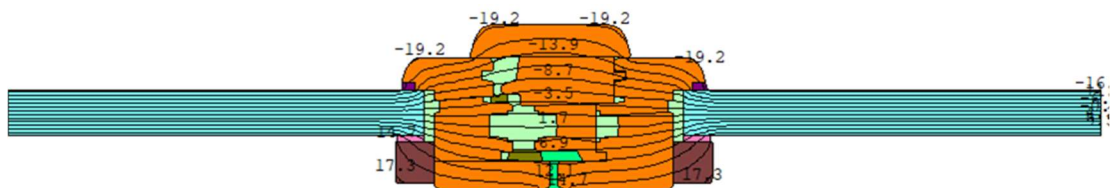


Figura 31 Parte central del marco

La temperatura más baja de la superficie interna (visible) del marco fue de 13,6°C, la temperatura más baja de la superficie interior de la cavidad central abierta al ambiente interno fue de 6,6°C.

#### 2. Cálculo del factor de temperatura en la superficie interna:

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_{mi}}{\theta_{i} - \theta_{mi}}$$

- donde:  $\theta_{si}$ - temperatura de la superficie interna,  $\theta_{mi}$ - temperatura del aire exterior,  $\theta_i$ - Temperatura del aire interior. Según la norma EN 13788, para la condensación o la formación de moho en las superficies de las ventanas, se requiere una resistencia térmica superficial interna de 0,13 m<sup>2</sup>·Se tomará K/W si no existen otras normas nacionales.
- $f_{Rsi}(14.1^{\circ}\text{C}) = 0,86$
- $f_{Rsi}(13.6^{\circ}\text{C}) = 0,84$
- $f_{Rsi}(6.6^{\circ}\text{C}) = 0,67$



### 3. Identificación de las condiciones climáticas y del uso previsto del edificio.

Se asumió que la temperatura del aire interior en invierno es de 20°C, clase de humedad interna 3 como para alta ocupación, temperatura externa 0°C y la humedad relativa del aire exterior igual al 85%.

### 4. Con una humedad relativa máxima aceptable del marco de la ventana en la superficie $\phi_{s,cr}$ Igual al 100% según la norma EN ISO 13788, la temperatura superficial mínima aceptable para las condiciones límite dadas es igual a 11,1°C y el factor de temperatura mínima:

$$F_{Rsi,min} = 0,56$$

### 5. Criterios para la aceptación de los resultados de las pruebas

Para evitar la formación de moho es necesario satisfacer la siguiente desigualdad:

$$F_{Rsi} > f_{Rsi,min}$$

El resultado de la prueba según la norma EN 13788 es positivo si se cumple la desigualdad anterior.

### 6. Conclusiones finales

Porque todo lo anterior calculó tres valores de  $f_{Rsi}$  son más grandes que la  $f_{Rsi,min}$  Valor que debe concluirse que en las condiciones internas asumidas no hay riesgo de condensación en la superficie interna de los marcos de borde y centrales de las ventanas, incluso dentro de la cavidad abierta del marco central.

Si se utiliza un paquete de vidrio específico con un espaciador de metal, se recomienda verificar la temperatura en el punto de contacto entre el vidrio interno y el sello.

El valor umbral  $f_{Rsi,min}$  es sensible a las condiciones climáticas internas y externas locales asumidas.