

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA



**MANUAL DE ENSAYOS DE CALIDAD Y RESISTENCIA DE
PANELES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DE
INTERÉS SOCIAL**

(Reglamento Técnico – Según Disposiciones de la Norma COVENIN 2438)

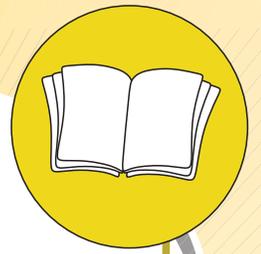
Elaborado por:

→ Br. Gómez A., Gabriel E.

→ Br. Novoa L., Angelo

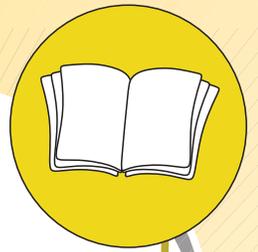
→ Prof. Peñuela, César

Caracas, Octubre de 2011



CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
I. OBJETO DE PRUEBA	3
II. REFERENCIAS	4
II.1. Referencias Normativas	4
II.2. Referencias de Trabajos de Investigación	5
II.3. Otras Referencias.....	5
III. DEFINICIONES.....	6
IV. NOTACIONES	9
V. MÉTODOS DE ENSAYO	10
 V.1. ENSAYO DE COMPRESIÓN	10
 V.2. ENSAYO DE FLEXIÓN	13
 V.3. ENSAYO DE IMPACTO.....	18
 V.4. PRUEBA DE FUEGO POR MEDIO DEL USO DE UN HORNO.....	24
 V.5. ENSAYO DE REACCIÓN AL FUEGO CUANDO SE SOMETE A LA ACCIÓN DIRECTA DE LA LLAMA.....	34
 V.6. ENSAYO DE CICLO DE CALOR-HUMEDAD.....	41
 V.7. ENSAYO DE AISLAMIENTO TÉRMICO.....	44
 V.8. ENSAYO DE AISLAMIENTO ACÚSTICO	50
VI. ANEXOS INFORMATIVOS.....	53



INTRODUCCIÓN

Los paneles, como elementos de la construcción de viviendas de interés social, han representado una opción satisfactoria que ha permitido la reducción de costos en materiales, mano de obra y tiempo de levantamiento, también han constituido una elección muy acertada para disminuir el peso de una edificación, esto trae consigo una serie de beneficios, entre los cuales destaca menor vulnerabilidad ante la acción de un sismo y disminución de cargas a miembros principales de la edificación.

Aunque en la mayoría de los casos, los paneles no se utilizan como miembros para resistir cargas o como miembros principales en una edificación, no se debe dejar a un lado la evaluación de la capacidad de dichos elementos, ante cualquier condición de servicio que se pueda presentar luego de que han sido colocados.

Así como en probetas de concreto, barras metálicas, y otros elementos de construcción se realizan ensayos físicos y de durabilidad, en los paneles de construcción se pueden y se requiere hacer este tipo de ensayos para evaluar sus capacidades. En el presente manual se proveerá la información necesaria y argumentada (en normativas nacionales e internacionales) para la realización de los ensayos de *compresión*, *flexión e impacto* como ensayos físicos de los paneles, *pruebas de fuego y evaluación al calor y humedad*, como ensayos de durabilidad, y los ensayos de *aislamiento térmico y acústico*.

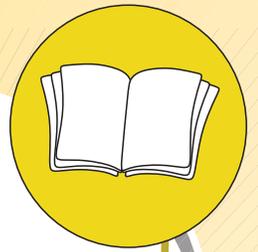
La formulación de los ensayos contribuirá a los procesos de selección y uso de los paneles, específicamente como elementos de tabiquerías o paredes. El manual podrá ser usado por ingenieros civiles y técnicos especializados en estructuras, materiales y técnicas de construcción, de manera que su alcance se pueda extender a organismos y fundaciones relacionados al campo de la construcción, y directamente a la edificación de viviendas de interés social.

Los ensayos son planteados a elementos individuales. Sin embargo, se deben tomar las previsiones y apoyarse en otros ensayos, cuando el nivel de investigación y evaluación requiera que los paneles se estudien en conjunto, con los elementos a los cuales irá acompañado al



momento de levantar la edificación. De manera general, también es importante acotar que, los riesgos potenciales de los ensayos deben ser identificados y previstos para proporcionar los medios de precaución necesarios. Se deben editar las instrucciones de seguridad y el personal adscrito al ensayo debería recibir formación adecuada al respecto. Asimismo, el personal del laboratorio se asegurará en todo momento de que dichas instrucciones se sigan por parte de todos los implicados.

Como el presente manual es un planteamiento basado en normativas, en su mayoría, internacionales y no vigentes, una vez que los ensayos acá proyectados, hayan sido estudiados, se deben caracterizar a las condiciones del laboratorio en donde serán aplicados, manteniendo como directriz principal, el objetivo para el cual se realizan y la forma en que se deben asimilar los resultados obtenidos.



I. OBJETO DE PRUEBA

En cada uno de los ensayos, del presente manual, se recomienda la aplicación de sus procedimientos como mínimo, a tres paneles de la misma naturaleza. En cada una de las pruebas se necesita que dichos paneles sean representativos en material y tamaño, de una sección usada como tabiquería. A menos de que se indique lo contrario¹, las características que deben cumplir los paneles a ensayar, en cada una de las pruebas propuestas, son:

I.1. Largo: Debe estar en correspondencia con el elemento en uso, es decir, como se trata de paneles a emplear como tabiquería, depende de la altura de entepiso o de la cantidad de paneles, que colocados verticalmente, son necesarios para levantar una pared en una vivienda. *Generalmente los paneles son fabricados con un largo de 2,44 m.*

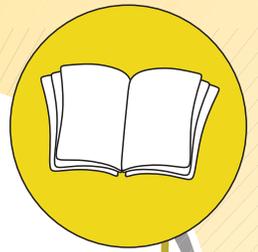
I.2. Ancho: También es una medida variable, que depende de las condiciones de construcción. Sin embargo, *se suelen fabricar paneles para tabiquería con un ancho de 1,2 m.*

I.3. Espesor: Para asegurar el comportamiento en condiciones de servicio, a los paneles a ensayar, se les puede colocar o no, un recubrimiento correspondiente al del tabique en obra. Por lo tanto este parámetro no es fijo. Usualmente, *sin recubrimiento, los paneles son fabricados con un espesor de 7,5 cm (3 pulgadas aproximadamente). El espesor normal de un panel con recubrimiento va desde los 10 cm hasta los 15 cm.*

I.4. Edad: Los paneles se someten a los ensayos entre los primeros *25 a 31 días después de su fabricación*, y en el caso de que se use un mortero de recubrimiento, no deben ser ensayados *menos de 25 días, ni más de 56 días*, luego de que el mortero usado para el recubrimiento haya alcanzado su resistencia de diseño.

Observación: *El mortero que se usa para recubrimiento de los paneles (en caso de requerirse) debe ensayarse individualmente por la Norma Venezolana COVENIN 338: 2002 (Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto) para obtener y evaluar la resistencia de diseño.*

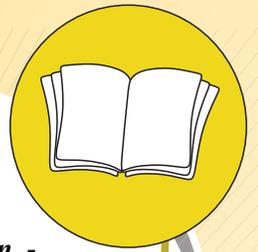
¹ En los ensayos de: *Reacción al fuego cuando se somete a la acción directa de la llama (N° 05) y el Ciclo de Calor Humedad (N° 06)*, las características de los paneles están especificadas en la descripción de la prueba.



II. REFERENCIAS

II.1. Referencias Normativas: Para el desarrollo de los ensayos, se usan las siguientes normas como referencias:

- 1) **Ensayo de Compresión:** *Norma ASTM E72-05: Standard Test Methods of Conducting Strength Tests of Panels for Building Construction*, específicamente la sección correspondiente a ensayos de carga de compresión en paredes. También se toman aspectos en cuanto a la redacción y descripción de equipos a usar, de la *Norma Venezolana COVENIN 338:2002: Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto*.
- 2) **Ensayo de Flexión:** *Norma ASTM E72-05: Standard Test Methods of Conducting Strength Tests of Panels for Building Construction*, específicamente la sección correspondiente a ensayo de carga transversal (tanto para muestra vertical como horizontal). Se toman además, los criterios para clasificación de paneles, según los resultados del presente ensayo, de la *Norma Colombiana ICONTEC 2446: Paneles prefabricados: Clasificación y Requisitos*.
- 3) **Ensayo de Impacto:** *Norma ASTM E695-79: Standard Method of Measuring Relative Resistance of Wall, Floor, and Roof Construction to Impact Loading*, se toman las indicaciones referentes, tanto para ensayo vertical, como horizontal. También se toman los criterios para clasificación de paneles, según los resultados del presente ensayo, de la *Norma Colombiana ICONTEC 2446: Paneles prefabricados: Clasificación y Requisitos*.
- 4) **Prueba de Fuego por medio del uso de un horno:** *Norma ASTM E119-81: Standard Methods of Fire Tests of Building Construction and Materials*. De dicha norma se siguen todos los lineamientos, a excepción de las condiciones de aceptación, en donde se toman únicamente las relacionadas a paredes y particiones no cargadas.
- 5) **Ensayo de Reacción al fuego cuando se somete a la acción directa de la llama:** *Norma Española UNE-EN ISO 11925-2:2002: Ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción. Parte 2: Ensayo con una fuente de llama única*, que adopta íntegramente la Norma Internacional ISO 11925-2:2002.



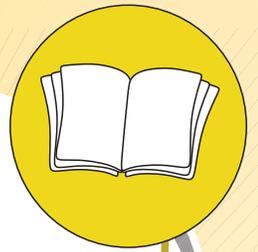
- 6) **Ciclo de Calor-Humedad:** Para el planteamiento de este ensayo no se siguió alguna norma internacional establecida.
- 7) **Aislamiento Térmico:** *Norma Internacional ISO 9869:1994: Thermal insulation - Building elements - In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance.*
- 8) **Aislamiento Acústico:** De la *Norma Española UNE- EN ISO 140: Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción*, se usó como referencias varias de sus secciones, las cuales son: UNE- EN ISO *140-1*:1994: Requisitos de las instalaciones del laboratorio sin transmisiones indirectas, UNE- EN ISO *140-3*:1995: Medición en laboratorio del aislamiento acústico al ruido aéreo de los elementos de construcción y UNE-EN ISO *140-10*:1994: Medición en laboratorio del aislamiento al ruido aéreo de los elementos de construcción pequeños.

II.2. Referencias de Trabajos de Investigación: Además de referencias normativas, en algunos casos se usó la información de ciertos trabajos investigativos, desarrollados en institutos universitarios o laboratorios, estos son:

- 1) **Ensayo de Compresión:** Se usó el siguiente *Trabajo Especial de Grado:*
Herrera, J., Peña, M. & Sánchez, E. (1987). *Propiedades Estructurales de un Sistema Prefabricado constituido por paneles Tipo Sandwich*. Caracas: Ingeniería Civil – Universidad Central de Venezuela.
También se empleó la información que contiene el *Informe Técnico:*
Ing. San Bartolomé, A. (2009). *Evaluación Experimental del Sistema Constructivo “M2”*. Lima: Departamento de Ingeniería – Pontificia Universidad Católica del Perú.

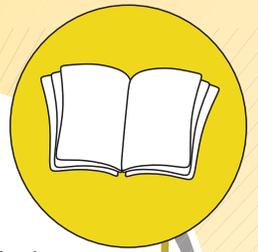
II.3. Otras Referencias:

- 6) **Ciclo de Calor-Humedad:** El planteamiento de este ensayo, se basa en un procedimiento no normalizado, usado comúnmente en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad Central de Venezuela (IMME-UCV).

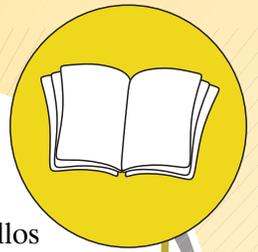


III. DEFINICIONES

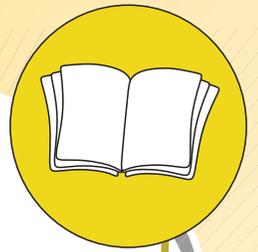
- **Aislante:** Material que impide la transmisión del calor, la electricidad, el sonido, etc.
- **Anemómetro:** Aparato meteorológico que se usa para la predicción del tiempo y, específicamente, para medir la velocidad del viento.
- **Calor:** Transferencia de energía entre diferentes cuerpos o diferentes zonas de un mismo cuerpo que se encuentran a distintas temperaturas. Este flujo siempre ocurre desde el cuerpo de mayor temperatura hacia el cuerpo de menor temperatura, ocurriendo la transferencia de calor hasta que ambos cuerpos se encuentren en equilibrio térmico.
- **Cámara de combustión:** Lugar donde se realiza la combustión del combustible con el comburente.
- **Carga:** Peso sostenido por una estructura.
- **Combustión:** Reacción química en la cual generalmente se desprende una gran cantidad de calor y luz. En toda combustión existe un elemento que arde (combustible) y otro que produce la combustión (comburente), generalmente oxígeno en forma de O_2 gaseoso.
- **Compresión:** Esfuerzo a que está sometido un cuerpo por la acción de dos fuerzas opuestas que tienden a disminuir su volumen.
- **Cronómetro:** Reloj de gran precisión para medir fracciones de tiempo muy pequeñas, utilizado en industria y en competiciones deportivas.
- **Deflexión:** Desviación de la dirección de una corriente.
- **Deformación:** Cambio en el tamaño o forma de un cuerpo debido a esfuerzos internos producidos por una o más fuerzas aplicadas sobre él mismo o la ocurrencia de dilatación térmica.
- **Dinamómetro:** Instrumento de medición utilizado para medir la intensidad de las fuerzas de tracción y compresión. El dinamómetro basa su funcionamiento en un resorte que aplica la Ley de Hooke, siendo las deformaciones proporcionales a la fuerza aplicada.
- **Energía Potencial:** Energía que mide la capacidad que tiene un sistema para realizar un trabajo en función exclusivamente de su posición o configuración.



- **Ensayo:** Conjunto de pasos que se siguen para determinar alguna capacidad o función de un elemento.
- **Flexímetro:** Instrumento de medida de los desplazamientos de una estructura bajo la acción de las fuerzas estáticas o de carga de un edificio.
- **Flexión:** Tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. El término "alargado" se aplica cuando una dimensión es dominante frente a las otras.
- **Fuego:** Reacción química de oxidación violenta de una materia combustible, con desprendimiento de llamas, calor, vapor de agua y dióxido de carbono. Es un proceso exotérmico.
- **Gato Mecánico:** Dispositivo mecánico usado para ejercer grandes fuerzas o levantar pesos considerables. Para su funcionamiento, el gato mecánico emplea ya sea un cilindro hidráulico o un hilo (o roscada, como en los tornillos) para convertir fuerzas, resultando en una considerable fuerza lineal.
- **Horno quemador:** Instalación donde se transforma la energía química de un combustible en calor que se utiliza para aumentar la temperatura de aquellos materiales depositados en su interior y así llevarles al estado necesario para posteriores procedimientos industriales.
- **Humedad relativa:** Humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica.
- **Impacto:** Efecto de una fuerza aplicada bruscamente.
- **Llama:** Masa gaseosa en combustión, que se eleva de los cuerpos que arden y despiden luz.
- **Medidor de Flujo de Calor:** Elemento, a través del cual se mide la cantidad de energía calórica que se transmite entre dos cuerpos.
- **Micrómetro:** Instrumento de medición cuyo funcionamiento está basado en el tornillo micrométrico y que sirve para medir las dimensiones de un objeto con alta precisión.
- **Panel para edificaciones:** Elemento prefabricado que se utiliza para construir divisiones verticales u horizontales en el interior de las viviendas y otras edificaciones. Debe ser manejable como una sola pieza y su dimensión menor debe ser por lo menos diez veces mayor que su espesor.



- **Pirómetro:** Dispositivo capaz de medir la temperatura de una sustancia sin necesidad de estar en contacto con ella. El término se suele aplicar a aquellos instrumentos capaces de medir temperaturas superiores a los 600 grados Celsius.
- **Prensa Universal:** Máquina que sirve para comprimir, cuya forma varía según los usos a que se aplica.
- **Sensor:** Dispositivo que detecta una determinada acción externa, temperatura, presión, etc., y la transmite adecuadamente.
- **Sonómetros:** Instrumento que mide y compara los sonidos e intervalos musicales.
- **Tabique:** Pared delgada que sirve para separar las piezas de una casa.
- **Termocuplas:** Dispositivo para medir temperaturas, mediante las fuerzas electromotrices originadas por el calor en las soldaduras de dos metales distintos.
- **Termómetro:** Instrumento que sirve para medir la temperatura. El más usual se compone de un bulbo de vidrio que se continúa por un tubo capilar y que contiene mercurio o alcohol teñido; su dilatación por efecto de la temperatura se mide sobre una escala graduada.
- **Tiempo de Reverberación:** En un auditorio, tiempo que ha de transcurrir para que el sonido se reduzca en una proporción determinada.



IV. NOTACIONES

$^{\circ}\text{C}$ = Grados Centígrados

cm = Centímetros

Db = Decibeles

fs = Resistencia a la rotura del acero de refuerzo (Kg/cm^2)

fy = Tensión cedente especificada del acero (Kg/cm^2)

h = Hora

K = Kelvin

Kg = Kilogramo

kPa = Kilopascal

m = Metro

mm = Milímetro

min = Minuto

psi = libras/pulgada²

W = Vatio

SIGLAS:

ACI = American Concrete Institute.

ASTM = American Society for Testing Materials.

COVENIN = Comisión Venezolana de Normas Industriales.

ICONTEC = Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

IMME - UCV = Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad Central de Venezuela.

ISO = International Standard Organization.

UNE = Una Norma Española.

V. MÉTODOS DE ENSAYO

V.1. ENSAYO DE COMPRESIÓN:

a) **Principio:** Este ensayo contempla el método para determinar el comportamiento del panel o su deformación, ante fuerzas o cargas de compresión.

b) **Muestras:** Los paneles a ensayar deben seguir los parámetros especificados (anteriormente) en la sección “I” del manual, correspondiente a **OBJETO DE PRUEBA**. Como se comentó en dicho punto, es recomendable ensayar 3 ó más paneles, para obtener un valor de resultados representativo, del promedio de ellos. Cuando algún parámetro de medición, arroje valores irregulares o la prueba no se realice correctamente, se debe descartar la muestra ensayada bajo esas condiciones.

c) **Equipos y materiales:**

El equipo se arma como se muestra en la *Figura 01*:

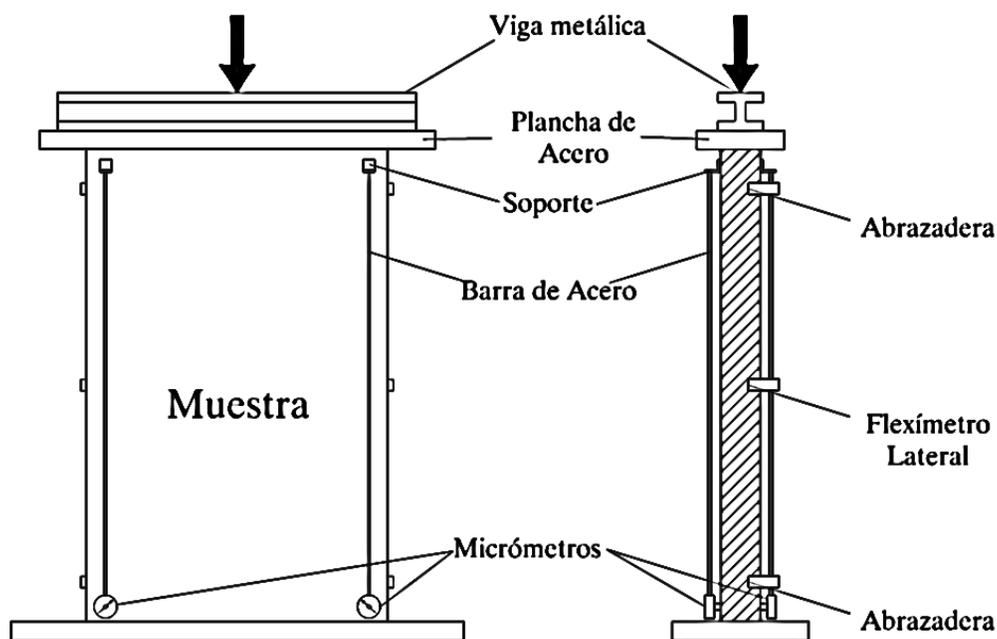


Figura 01: Ensamblaje del Equipo usado para el ensayo a compresión. Fuente: Elaboración Propia

Los componentes que forman el aparato para realizar el ensayo a compresión son los siguientes:



- **Máquina de ensayo**, que puede ser una prensa universal, con una capacidad suficiente para producir la rotura del panel y en la cual se pueda regular la velocidad de carga, de modo que, se alcance la velocidad requerida para el ensayo.
- Un **sistema de medición de deformación longitudinal** que consiste básicamente en lo siguiente: Cuatro **soportes** distribuidos en la cara frontal del panel (Uno cerca de cada esquina) y otros cuatro soportes en la cara posterior del panel, distribuidos de la misma manera. Los cuatro soportes inferiores (dos por cada cara) están asociados con un **micrómetro** cada uno. Cuatro **barras de metal** unen los respectivos soportes inferiores y superiores. La punta cónica de cada una de las barras se une al soporte por medio de un agujero y el contacto se realiza a través de **bandas de goma estiradas**. Los flexímetros se deben graduar a 0,025 mm o menos.
- Se debe colocar dos **flexímetros laterales** para la medición de los desplazamientos en la parte central de los paneles.

d) Procedimiento:

- **Aplicación de la carga:** Se aplican cargas de compresión sobre una *plancha de acero* que cubre el borde superior de la muestra. La carga se aplica uniformemente a lo largo de una línea paralela al ancho del panel, a la mitad de su espesor. Se sugiere usar una *viga metálica* entre la máquina de ensayo y la plancha de acero, para garantizar la distribución uniforme. Sí es necesario, se debe nivelar la muestra, con algún elemento apropiado, de manera que la acción de los esfuerzos transmitidos por la máquina de ensayos sea perpendicular a los bordes tanto inferior como superior de la muestra. La carga se aplica a una velocidad necesaria que permita realizar las lecturas de deformación de los flexímetros. Y se deben tomar al menos entre 10 y 15 lecturas dentro del rango elástico.
- **Recopilación de datos de Carga-Deformación:** Por medio del *sistema de medición de deformación longitudinal* explicado anteriormente se mide el acortamiento de la muestra. Se registran lecturas en múltiplos de 0,025 mm a través de los micrómetros.
- **Medición de la deflexión lateral:** Con los *flexímetros* colocados en el centro de cada borde de la muestra, se determina la deflexión. Se registran las lecturas al múltiplo de 0,25 mm más cercano.



e) Cálculos:

- **Deformación del panel:** Por cada micrómetro utilizado, se calcula el acortamiento correspondiente a cada carga, como la diferencia entre la lectura del micrómetro cuando la carga es aplicada y la lectura inicial. El acortamiento de la muestra se calcula como, el promedio de los acortamientos por cada uno de los cuatro micrómetros.
- **Deflexión lateral en la parte media del panel:** Se calcula la deflexión lateral de cada carga por cada flexímetro, como la diferencia entre la lectura del flexímetro cuando la carga está aplicada y la lectura inicial. Se calcula la deflexión del espécimen como el promedio de estos parámetros de los dos flexímetros.

f) Expresión de los resultados: Se debe presentar:

- La **carga máxima** de cada muestra y (sí el panel es ensayado con recubrimiento) la **carga al momento de la primera fisura** producto del ensayo.
- Reporte por medio de tablas y gráficamente de las medidas de **Carga-Deformación** correspondiente a cada micrómetro y luego las medidas de **Carga-Deformación** correspondientes a la muestra.
- Reporte por medio de tablas y gráficamente de las medidas de **Carga-Deflexión Lateral** correspondiente a cada flexímetro y luego las medidas de **Carga-Deflexión Lateral** correspondientes a la muestra.
- La deformación y deflexión final del panel.

g) Criterio de aceptación y rechazo:

Se debe realizar un análisis de carga del peso por área tributaria, que irá sobre el panel ensayado como tabiquería, al momento de ser integrado a una vivienda. El valor de peso (Kg) resultante del análisis de carga, debe ser menor al valor de carga máxima promedio de los tres (o más) paneles, para que la muestra sea aceptada.



V.2. ENSAYO DE FLEXIÓN:

a) **Principio:** A través de este ensayo se busca medir la ductilidad de ciertos materiales, o su capacidad para resistir la flexión.

b) **Muestras:** Los paneles a ensayar deben seguir los parámetros especificados (anteriormente) en la sección “I” del manual, correspondiente a **OBJETO DE PRUEBA**. Como se comentó en dicho punto, es recomendable ensayar 3 ó más paneles, para obtener un valor de resultados representativo, del promedio de ellos. Cuando algún parámetro de medición, arroje valores irregulares o la prueba no se realice correctamente, se debe descartar la muestra ensayada bajo esas condiciones.

c) Equipos y materiales:

El ensayo se plantea tanto para la muestra colocada en posición vertical, como en posición horizontal, es por este motivo que, aunque se emplean prácticamente los mismos instrumentos y/o elementos, la colocación de la muestra varía por la forma en que se aplica la carga de flexión.

El equipo para el ensayo del panel en *posición vertical* se arma como se muestra en la *Figura 02*:

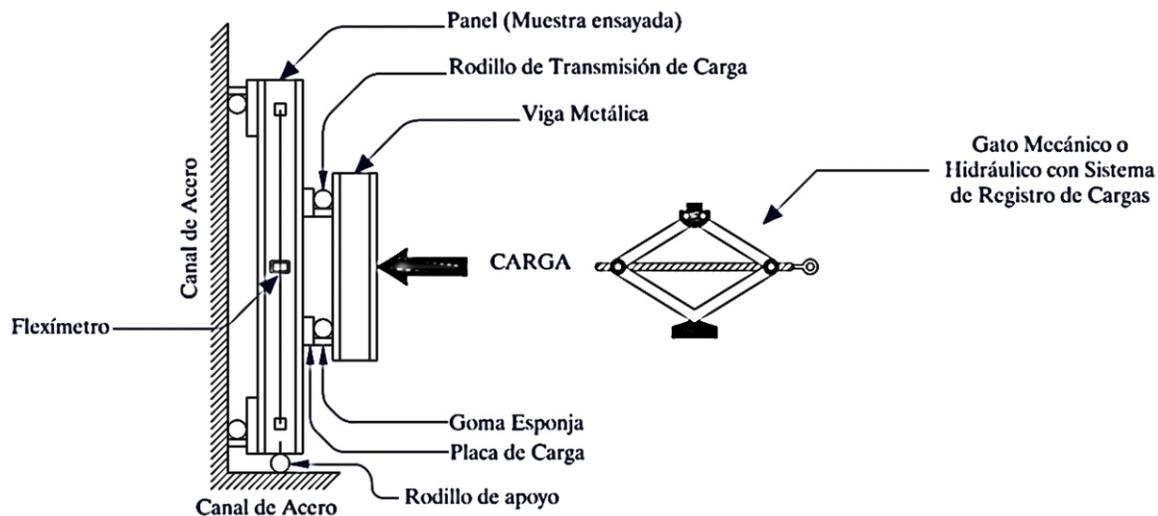


Figura 02: Ensamblaje del Equipo para el ensayo a Flexión (Carga Transversal-Muestra Vertical).

Fuente: Elaboración Propia

Mientras que el equipo para la muestra en *posición horizontal* se construye de la siguiente manera:

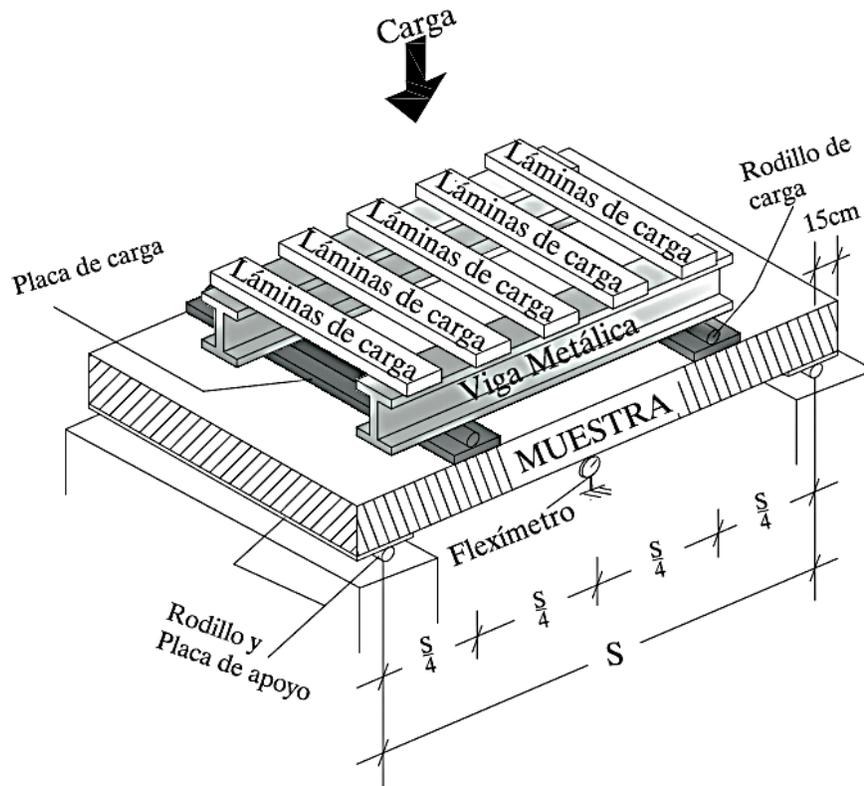


Figura 03: Ensamblaje del Equipo para el ensayo a Flexión (Carga Transversal-Muestra Horizontal).

Fuente: Elaboración Propia

Los componentes que forman el aparato para realizar el ensayo a flexión de la muestra en *posición vertical*, deben cumplir con los siguientes requerimientos:

- **Canal de acero**, en donde reposa la muestra.
- **Rodillos**: Tres de apoyo, para estabilizar la muestra y dos para transmitir la carga.
- **Placas metálicas**: Dos de apoyo y dos de carga, para que vayan asociados a los respectivos rodillos de apoyo y de transmisión de carga.
- **Gato Mecánico o Hidráulico**, para aplicar la carga.
- **Sistema de registro de cargas**.
- **Dos Flexímetros**, para la medición de los desplazamientos en la parte central de los paneles (flecha).
- **Viga Metálica**, con longitud menor a la del panel, para distribuir la carga aplicada.



Por su parte, en el ensayo para la muestra colocada en *posición horizontal* (Ver Figura 03), se requiere de lo siguiente:

- **Rodillos:** Dos de apoyo, para estabilizar la muestra y dos para transmitir la carga.
- **Placas metálicas:** Dos de apoyo y dos de carga, para que vayan asociados a los respectivos rodillos de apoyo y de transmisión de carga.
- **Dos vigas metálicas**, con longitud menor a la del panel, para distribuir la carga aplicada. En caso de no contar con las vigas metálicas, se pueden usar listones de madera como elementos para distribuir las cargas.
- **Planchas de acero (material para proporcionar la carga)**, con dimensiones de 75 ± 5 cm de largo, 15 ± 5 cm de ancho y $2 \pm 0,5$ cm de espesor, y peso de $17 \pm 2,5$ Kg. En caso de usarse listones de madera para distribuir la carga, los elementos para proporcionar la carga pueden ser bolsas de arena con dimensiones no fijas y pesadas en una balanza calibrada bajo un ente certificado.
- **Dos Flexímetros**, para la medición de los desplazamientos en la parte central de los paneles (flecha).

d) Procedimiento:

Los pasos que se siguen para el ensayo de la muestra en *posición vertical*, son:

- Las **cargas** se deben aplicar con la muestra colocada verticalmente para simular las condiciones de servicio, de un panel usado como pared, tal cual se muestra en la *Figura 02*.
- La muestra debe estar en un **canal de acero** y apoyarse en rodillos cilíndricos para evitar condiciones de traslación vertical y rotación, en los apoyos. Los ejes de los rodillos deben ser paralelos a las caras de la muestra.
- **Dos rodillos de apoyo** deben estar en contacto entre una superficie vertical (marco de apoyo) y la cara no cargada del panel. El rodillo de apoyo superior se coloca a una distancia de 15 cm, a partir del borde superior, y el rodillo de apoyo inferior se dispone de igual manera, a partir del borde inferior. Adicionalmente se coloca un **tercer rodillo de apoyo**, en el centro del borde horizontal inferior del panel. Cada rodillo debe apoyarse a su vez, horizontalmente en una goma esponja de 10 mm de grosor.



- Por su parte, los dos **rodillos de carga** deben estar en contacto entre la cara a cargar y la viga metálica. El rodillo de carga superior se coloca a una distancia de 1/4 del largo del panel, a partir del borde superior, y el rodillo de carga inferior se dispone de igual manera, a partir del borde inferior. Estos rodillos también están apoyados en una goma esponja, del mismo tipo que la explicada anteriormente.
- Las cargas se aplican horizontalmente (a la viga metálica) por medio del **gato mecánico o hidráulico** y se miden con el respectivo **sistema de registro**. El error en la carga indicada no debe exceder el 1%. La carga transversal se aplica de manera tal, que se puedan tomar al menos entre 10 y 15 lecturas dentro del rango elástico.
- Los **dos flexímetros**, que miden la flecha, se colocan en la parte central de cada borde vertical del panel. Se registran las lecturas al múltiplo de 0,25 mm más cercano.

En lo que se refiere al ensayo con la muestra colocada en **posición horizontal**, se deben seguir las siguientes especificaciones:

- La muestra se apoya en **rodillos y placas de apoyo**, ubicados a 15 cm de cada borde, como se muestra en la *Figura 03*. Los rodillos deben apoyarse a su vez, en una goma esponja de 10 mm de grosor.
- Los **rodillos y placas metálicas de carga**, se colocan sobre la cara superior a un cuarto de la luz entre apoyos, a partir de cada borde, para representar la aplicación de las cargas. Estos rodillos también están apoyados en una goma esponja, del mismo tipo que la explicada anteriormente.
- Las dos **vigas metálicas** se posicionan perpendicular a los dos rodillos de carga, cada una a una de distancia de un cuarto del ancho del panel a partir de los bordes laterales.
- Las **planchas de acero** se colocan perpendicularmente a las vigas metálicas, en suficientes capas de manera que se genere la deflexión máxima.
- Los **dos flexímetros**, que miden la flecha, se colocan a la mitad de la longitud del panel, abajo de cada borde. Se registran las lecturas al múltiplo de 0,25 mm más cercano.



e) Cálculos:

- **Deflexión lateral en la parte media del panel (flecha):** Para las muestras colocadas en ambas posiciones, se calcula la flecha de cada carga por cada flexímetro, como la diferencia entre la lectura del flexímetro cuando la carga está aplicada y la lectura inicial. Se calcula la flecha del espécimen como el promedio de estos parámetros de los dos flexímetros.

f) Expresión de los resultados: Se debe presentar, para las muestras en ambas posiciones:

- La **carga máxima** de cada muestra y (sí el panel es ensayado con recubrimiento) la **carga al momento de la primera fisura** producto del ensayo.
- Reporte por medio de tablas y gráficamente de las medidas de **Carga-Flecha Instantánea** correspondiente a cada flexímetro y luego las medidas de **Carga-Flecha Instantánea** correspondientes a la muestra.
- La deflexión final (flecha) del panel.

g) Criterio de aceptación y rechazo:

Por medio de este ensayo, no se busca aceptar o rechazar el panel, según los resultados obtenidos. Ya que las cargas transversales, no son cargas comunes de servicio. No obstante, se propone una clasificación de los paneles, de acuerdo a las cargas transversales a la rotura y, de acuerdo a la deformación producida por la carga transversal, tal cual como se visualiza en las siguientes tablas:

Tabla 01: Cargas Transversales a la Rotura

Grado:	Carga a la Rotura (Kgf/m):
No Clasifica	Menor a 500
1	500 – 1000
2	1001 – 2000
3	2000 o más

Tabla 02: Deflexión Lateral en Cargas Transversales

Sub-Grado:	Flecha (mm):
No Clasifica	Mayor a 100
A	50 - 100
B	25 – 50
C	25 o menos



V.3. ENSAYO DE IMPACTO:

a) **Principio:** Los procedimientos descritos en la presente sección, permiten evaluar el desempeño relativo de paredes bajo las condiciones representativas en estado de servicio, cuando están sometidas a impactos de objetos pesados.

b) **Muestras:** Los paneles a ensayar deben seguir los parámetros especificados (anteriormente) en la sección "I" del manual, correspondiente a **OBJETO DE PRUEBA**. Como se comentó en dicho punto, es recomendable ensayar 3 ó más paneles, para obtener un valor de resultados representativo, del promedio de ellos. Cuando algún parámetro de medición, arroje valores irregulares o la prueba no se realice correctamente, se debe descartar la muestra ensayada bajo esas condiciones.

c) **Equipos y materiales:**

Para la aplicación de la carga en la muestra colocada verticalmente, el equipo se arma como se muestra en la *Figura 04*:

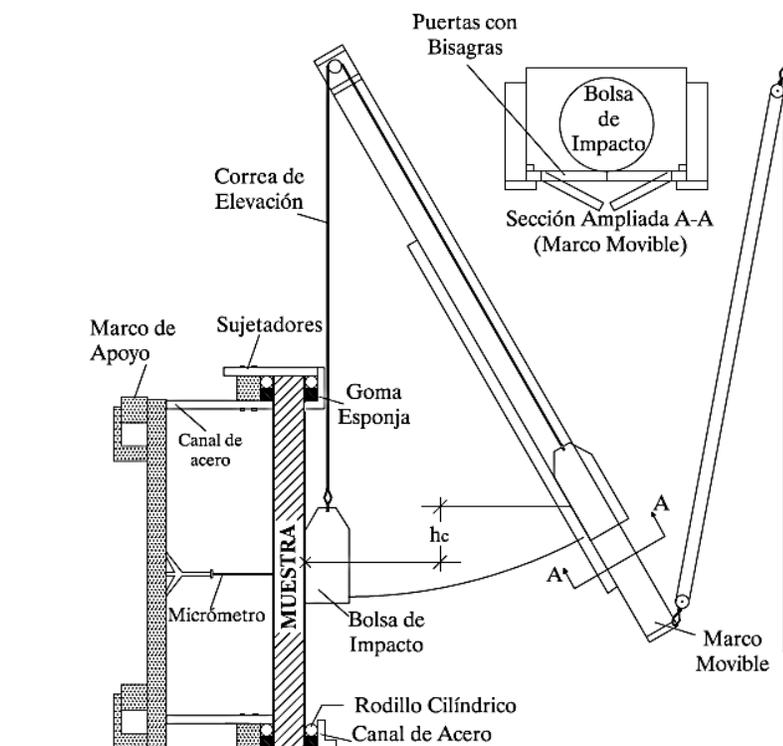


Figura 04: Ensamblaje del equipo de la Prueba de Impacto, para muestra en posición vertical. Fuente:

Elaboración Propia



El ensayo de impacto, se realizará por medio de los siguientes elementos:

c.1) Elementos de apoyo: Se debe contar con *canales de acero* para soportar la muestra arriba y abajo, además de cuatro *rodillos cilíndricos* (dos para la parte superior de la muestra y dos para la parte inferior), los cuales deben ir acompañados de sus respectivos soportes, que pueden ser *goma esponja* de 12,7 mm de espesor o cualquier otro tipo de banda de goma.

c.2) Instrumento de Impacto: El impacto debe hacerse con **una bolsa de cuero llena de plomo**, como se especifica:

- **Cuero:** El cuero usado para la construcción de la bolsa, según su *procedimiento de curtido*², puede ser cualquiera de los siguientes tipos: curtido vegetal, curtido al alumbre o al aluminio o curtido al cromo. Según su tratamiento de post-curtido, se tiene cuero cocido, cuero engrasado, cuero teñido o charol.
- **Hilo:** El hilo usado en la fabricación o cocido de la bolsa debe ser una cuerda de lino de cuatro o más hebras.
- **Fabricación:** La bolsa de cuero debe estar constituida por una parte vertical y una base circular. El lado vertical de la bolsa será de 710 mm de alto por 735 mm de ancho y 3 mm de espesor. Los bordes verticales son cocidos con el lado del cuero hacia adentro y la costura debe ser reforzada con un pedazo de cuero que se sobrepone 9 mm a cada lado. Este lado debe ser, después volteado y cocido en el fondo con la base. La base debe ser de 230 mm de diámetro y 5 mm de grosor. La costura que une a la pared con la base se debe hacer a 6 mm del borde de la base. Dos filas de puntadas deben ser usadas para la costura de la pared vertical, y la costura que une la pared con la base.
- **Correa de elevación:** La correa que elevará a la bolsa será de cuero de 3 mm de grosor por 16 mm de ancho y 610 mm de largo. Para la unión con la bolsa de cuero, la correa se pasa a través de agujeros, diametralmente opuestos en las paredes internas a unos 40 mm del tope de su pared vertical. Estos agujeros deben ser reforzados con pedazos cuadrados de cuero de 75 mm, de manera que se evite el estiramiento excesivo de la pared del cuero o la falla de la costura vertical. La correa de cuero deberá pasar dos veces a través de un anillo elevador de 50 mm de diámetro.

² Cuando se trata la piel del cuero, se realiza un proceso de **curtido** para evitar que se pudra y que conserve la flexibilidad. Durante este procedimiento se aplican ciertas sustancias para conseguir un resultado final. Estos procedimientos no son excluyentes, a menudo se mezclan los distintos elementos curtientes para obtener un producto final intermedio.



- **Perdigones de plomo:** La bolsa debe ser llenada libremente con perdigones de plomo enfriado de 2,4 mm de diámetro aproximadamente. Dos capas de 76 mm de espesor de espuma de caucho o un relleno similar, son colocadas sobre los perdigones de plomo, dentro de la bolsa, para prevenir derrames durante la prueba.
- **Peso Total:** La masa total de la bolsa, incluyendo los perdigones, será ajustada al nivel deseado con una precisión de $\pm 1\%$. La masa de la bolsa podrá ser ajustada a cualquier masa especificada, dependiendo de la información deseada.
- **Marco Movable:** Sirve para ajustar la posición de la bolsa de cuero y para nivelar el punto de impacto. El marco debe tener capacidad para almacenar la bolsa de cuero, para hacer dicho ajuste.

c.3) Varas de medición: Una vara colocada en incrementos de 5 cm, o una serie de varas cuyas longitudes sean de múltiplos de 5 cm, se necesitan para medir de forma precisa la altura de caída. En sustitución se puede usar un puntero de deslizamiento graduado, una cinta métrica de metal estándar o cualquier instrumento similar que pueda medir con precisión la altura de caída.

c.4) Micrómetro (u otro dispositivo para determinar la deflexión): Consiste en un tubo hueco de metal, que tiene una base en el extremo inferior y una abrazadera en el extremo superior. En la dirección de su eje, puede desplazarse una barra de metal ligera, la cual debe tener divisiones cada 0,25 mm, para registrar la deflexión.

c.5) Sujetadores: Abrazaderas u otro dispositivo de restricción colocado en los extremos de la muestra para minimizar la traslación.

c.6) Marco de apoyo rígido al cual estarán unidos los rieles de apoyo y el medidor de deflexión (a través de su base).

d) Procedimiento:

(Información previa a la realización del ensayo):

- ✓ La prueba se le aplica a un solo lado de la pared, este lado se escoge de acuerdo a la información que requiera el cliente. El reporte se hará con el lado de la muestra que haya sido ensayado.
- ✓ Se recomienda definir los siguientes tópicos: la habilidad de sostener la carga de la bolsa de cuero después de la caída de impacto, limitación de la deflexión instantánea,



penetración del panel, destrucción del panel, entre otros, que no sean especificados en el procedimiento.

El procedimiento a emplear es el siguiente:

d.1) La muestra debe estar colocada verticalmente, de manera que, la base o apoyo sea su ancho. Los rodillos cilíndricos tanto superiores (2) como inferiores (2) se colocan para eliminar la restricción transversal, los ejes de dichos rodillos deben ser paralelos a las caras de las muestras. Los rodillos de apoyo deben estar en contacto con los respectivos canales de acero y cada rodillo debe apoyarse horizontalmente en una goma esponja de aproximadamente 12,7 mm de espesor para prevenir la restricción longitudinal.

d.2) La bolsa para el impacto se sujeta como un péndulo en el marco movable, tal como se muestra en la *Figura 04*. Cuando se verifique que los sujetadores no afecten la deflexión de la muestra, se aplica la carga de impacto en el medio de la cara de la muestra. La bolsa se puede liberar, del marco movable, luego de que éste abre sus puertas con bisagras, produciendo un balanceo como un péndulo real. Primero se deja caer la bolsa a una determinada altura de caída (h_c) (desde el centro de gravedad de la bolsa de impacto al centro del panel) y luego se incrementa esa altura (h_c) de forma constante. La máxima altura útil debe ser la que ocurra primero en cualquiera de los siguientes casos: (i) cuando el péndulo quede perpendicular a la muestra o (ii) cuando se rompa la muestra. Se debe eliminar el golpe a la muestra por oscilación natural, por lo que, debe haber un solo golpe por cada altura de caída. El tiempo entre cada golpe no es exacto, recomendando que no exceda de un minuto. La altura de caída (h_c) se inicia a partir de los 10 cm y se incrementa cada 10 cm para paneles muy rígidos, mientras que para paneles menos rígidos se inicia a los 5 cm y se incrementa cada 5 cm.

d.3) Se usa el instrumento para medir la deflexión instantánea de la muestra. Antes de la aplicación de la carga, la barra de metal ligero en contacto a la mitad de la cara no impactada de la muestra con la abrazadera, debe permanecer estática. Cuando la muestra se deflece bajo la acción de la carga de impacto, la barra se debe mover debido a la fricción de la abrazadera y se muestra la lectura de la deflexión. Se registran las lecturas al valor más cercano cada 0,25 mm.



(Ensayo aplicado a la muestra horizontalmente):

El ensayo de impacto puede ser realizado de igual manera con la muestra dispuesta horizontalmente, dejando caer la bolsa de impacto con desplazamiento vertical, a través de algún sistema de poleas, a diferencia de la muestra colocada verticalmente en donde se usa un marco movable. El procedimiento a emplear es el mismo, particularizado a la posición de la muestra, en donde la única diferencia es que, la máxima altura de caída viene dada solamente por el múltiplo (de h_c) que genera la rotura del panel. A continuación se presenta un diagrama del ensamblaje para esta configuración:

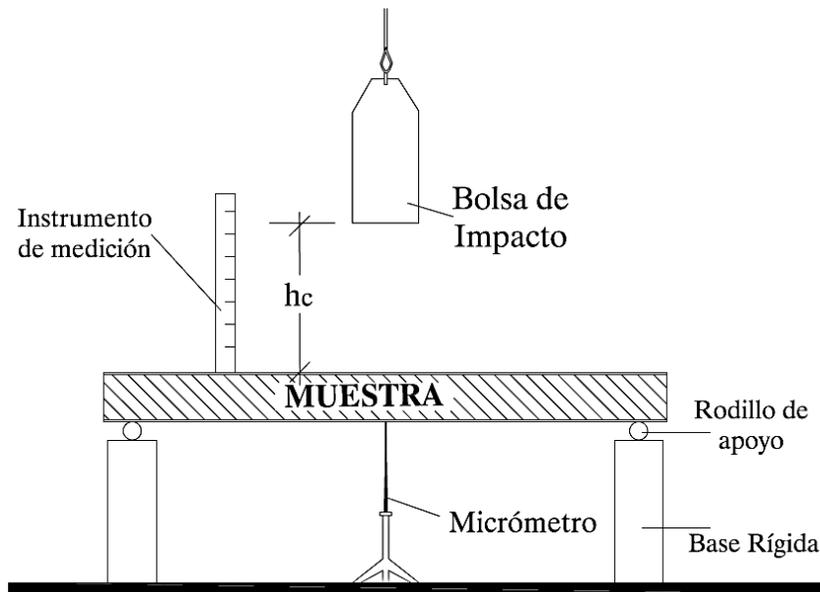


Figura 05: Ensamblaje del equipo de la Prueba de Impacto, para muestra en posición horizontal.

Fuente: Elaboración Propia

e) Cálculos: Se realizan en base a la muestra colocada en ambas posiciones:

- **Deflexión lateral en la parte media del panel:** Para cada altura de caída se calcula la deflexión como: la lectura del deflector al momento del golpe menos la lectura inicial.
- **Energía potencial (U):** Se calcula al momento de cada golpe, a través de la siguiente ecuación: $(U = m * g * h)$

Dónde:

m = Masa en Kilogramos

g = Aceleración de gravedad de la tierra en metros por segundos al cuadrado

h = Altura de caída en metros



f) Expresión de los resultados: Se debe reportar lo siguiente:

- **Peso total** de la bolsa de impacto (sin la correa de elevación).
- **Deflexión** al momento de cada golpe.
- La **primera altura** a la cual el panel presenta **deterioro aparente**.
- La **altura** a la cual **se rompe** el panel.
- La **máxima altura de caída**, con su respectiva estimación de la deflexión.
- **Energía potencial (U)** al momento de cada golpe.
- Reporte por medio de tablas y gráficamente de las medidas de **Altura de caída-Deflexión lateral**.
- Reporte por medio de tablas y gráficamente de las medidas de **Energía Potencial-Deflexión lateral**.

g) Criterio de aceptación y rechazo:

El ensayo de impacto se usa como un ensayo prototipo, y no como una rutina de control de calidad, por lo que, no existen condiciones estrictas de aceptación o rechazo para los paneles. Sin embargo, un panel se considera satisfactorio si cumple con los siguientes requisitos:

g.1) Bajo un choque de 120 Joule (aproximadamente 12 Kgf-m) el panel no presenta deterioro aparente.

g.2) Bajo un choque de 240 Joule (aproximadamente 24 Kgf-m) el panel no se rompe.



V.4. PRUEBA DE FUEGO POR MEDIO DEL USO DE UN HORNO:

a) Principio: Los procedimientos que a continuación se describen, proveen información que puede ser usada para medir y describir las propiedades de las paredes y/o particiones no cargadas, en respuesta al calor y la llama bajo condiciones controladas de laboratorio.

b) Muestras: Los paneles a ensayar deben seguir los parámetros especificados (anteriormente) en la sección “I” del manual, correspondiente a **OBJETO DE PRUEBA**. Como se comentó en dicho punto, es recomendable ensayar 3 ó más paneles, para obtener un valor de resultados representativo, del promedio de ellos. Cuando algún parámetro de medición, arroje valores irregulares o la prueba no se realice correctamente, se debe descartar la muestra ensayada bajo esas condiciones.

c) Equipos y materiales:

- ✓ Para la realización del ensayo se requiere de un **horno quemador**, al cual se le pueda controlar la temperatura, tal que, pueda desempeñar el comportamiento deseado, durante la prueba de fuego. Se sugiere que el horno proporcione calor, al menos a una temperatura de 300°C.
- ✓ Para el control de la temperatura en el horno, es necesario el uso de nueve (9) **termocuplas/termopares** con sus respectivos tubos de protección. Además de esto en la cámara del horno debe haber un tubo de pirómetro.
- ✓ Para la medición de la temperatura externa se requiere de **nueve (9) termocuplas o termómetros**. También de igual número de **almohadillas adhesivas** para fijarlos a la cara no expuesta del panel, las almohadillas deben ser de fieltro, flexibles y secas, y cumplir con las siguientes especificaciones:
 - Largo o ancho de $152 \pm 3,18$ mm.
 - Espesor de $10,2 \pm 1,3$ mm.
 - Peso Seco de $0,12 \text{ Kg} \pm 0,01 \text{ Kg}$.
 - Conductividad térmica de $0,15 \pm 0,003 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$.
 - Patrón de Dureza entre 10 y 25. Las almohadillas deben ser lo suficientemente suaves para que, sin ningún rompimiento, puedan ser amoldadas a la muestra y las termocuplas y termómetros.



Se recomienda que, el diámetro externo del tubo protector o aislante de la termocupla o el tallo del termómetro no deba ser mayor a 8 mm. Los termómetros deben ser del tipo de inmersión parcial, con una longitud de tallo, entre el extremo del bulbo y la marca de inmersión de 76 mm. El diámetro de los cables para la termocupla en la zona cubierta por la almohadilla, no debe ser mayor a 1,02 mm y deben estar aislados eléctricamente con recubrimiento resistente al calor y la humedad.

- ✓ Para la prueba de manguera de flujo, se requiere de una *manguera de descarga de agua*, de 64 mm de diámetro, con una punta de descarga de 29 mm de diámetro.

d) Procedimiento:

De manera general, la prueba de resistencia al fuego consiste en la aplicación controlada de incrementos de temperatura en una cara de la muestra, hasta que ocurra la falla, o hasta que la muestra haya resistido las condiciones de la prueba especificadas en el punto de *condiciones de aceptación y rechazo*. Para obtener datos adicionales de desempeño del panel, la prueba puede continuar más allá del tiempo determinado para la clasificación de resistencia al fuego.

(Información previa a la realización del ensayo):

- ✓ Se deben proveer *condiciones de humedad* en equilibrio para la muestra, tal que, sean representativas de lo que probablemente se presente en condiciones de servicio. Para ello se recomienda secar la muestra en un ambiente entre 50 % y 70 % de humedad relativa a $23 \pm 3^{\circ}\text{C}$. En caso de que el ambiente no reúna estos requisitos, o que la naturaleza del panel sea tal que, no se pueda secar el interior del mismo, los requisitos pueden ser obviados, y la muestra se ensaya en condiciones de servicio.

Sí es deseable o necesario usar técnicas de secado acelerado, es responsabilidad del laboratorio que hace el ensayo, evitar que los procedimientos alteren significativamente las propiedades estructurales y de resistencia al fuego de la muestra.

Se debe obtener la información de humedad en la muestra, 72 horas antes de la aplicación de la prueba de fuego y se debe incluir en el reporte del ensayo. Si la condición de humedad del conjunto de la prueba de fuego, tiene probabilidad de cambiar drásticamente en las 72 horas antes de la aplicación de la prueba, la medición de la humedad debe hacerse en un tiempo no mayor a 24 horas antes de la prueba.



- ✓ El equipo de ensayo y la muestra sometida a la prueba de fuego, deben ser protegidos de cualquier *condición de viento o clima*, que pueda provocar resultados anormales. La temperatura del aire en el ambiente al inicio de la prueba, debe estar entre 10°C y 32°C. La velocidad del aire en la cara no expuesta de la muestra, medida antes de que inicie la prueba, no debe exceder los 1,3 m/s. Sí se emplea ventilación mecánica durante la prueba, no deben existir corrientes de aire directas a la superficie de la muestra.
- ✓ Todo el personal relacionado con la gestión y realización del presente ensayo debe tener en cuenta la peligrosidad que trae, debido a la presencia de humos y gases. También pueden surgir riesgos operativos durante la manipulación de las muestras y la disposición de los residuos de los ensayos. Por lo que, se recomienda tomar las precauciones pertinentes en cuanto a higiene y seguridad industrial.
- ✓ Existe una *curva estándar* (teórica) de *Tiempo-Temperatura* que, para efectos de este ensayo, controla la conducta de las pruebas de fuego en materiales y construcciones. La curva se define con los puntos (Temperatura-Tiempo) que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 03: Datos para curva estándar de tiempo-temperatura

Temperatura (°C):	Tiempo:
538	5 min
704	10 min
843	30 min
927	1 h
1010	2 h
1093	4 h
1260	8 h o más

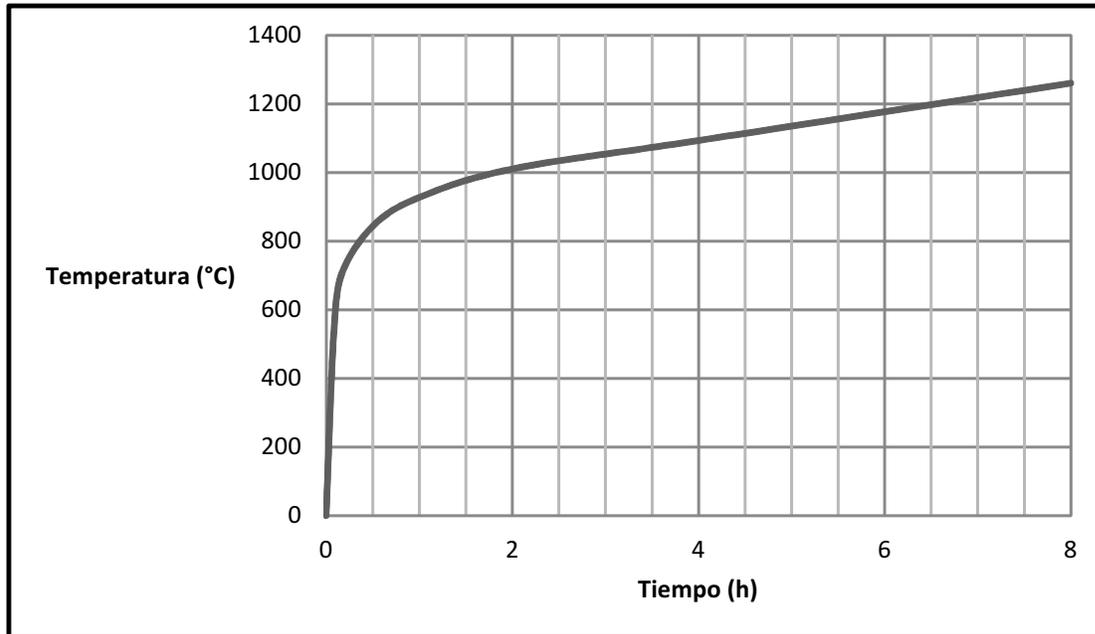


Gráfico 01: Curva estándar de tiempo-temperatura

En los primeros pasos, referentes al control de temperatura en el horno y en la superficie no expuesta de la muestra, se explica el control de temperatura que se requiere para la realización de la prueba fuego.

(Control de Temperatura en el horno):

d.1) Cada una de las temperaturas a graficar en la *Curva Real Tiempo-Temperatura*, deben ser consideradas como el promedio de las temperaturas obtenidas de las lecturas de no menos de nueve (9) termocuplas. Los termopares deben estar distribuidos a 152 mm de distancia de la cara expuesta al inicio de la prueba, y en caso de haber deflexión no deben tocar la muestra. Las partes expuestas de los termocuplas deben estar protegidas en tubos de materiales y dimensiones tales que, permitan la lectura adecuada de la temperatura del horno. La longitud expuesta del tubo de protección y del termopar en la cámara del horno, no debe ser menor a 305 mm. A continuación se muestra un esquema del proceso:

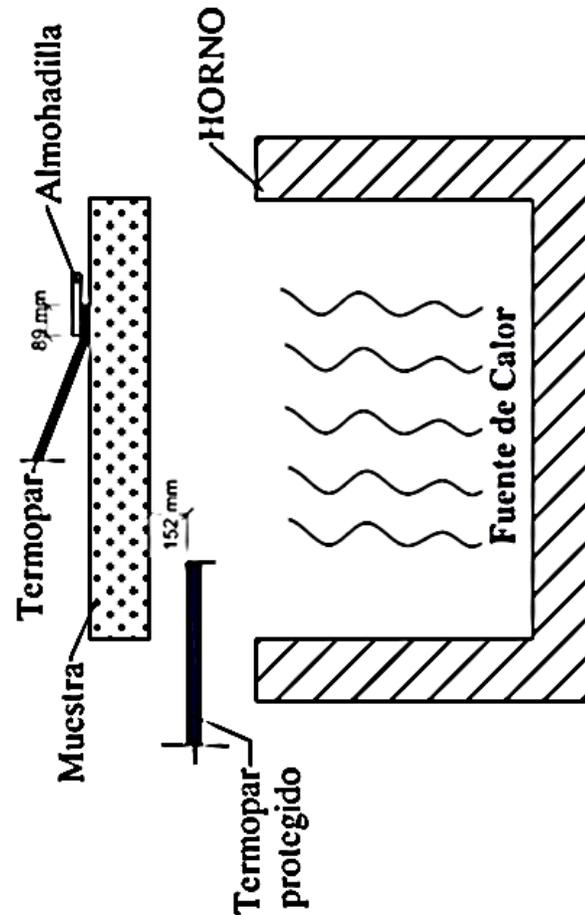


Figura 06: Esquema de la lectura de temperatura en la Prueba de Fuego. Fuente: Elaboración Propia

d.2) Las temperaturas se leen en intervalos que no excedan los cinco (5) minutos durante las primeras dos (2) horas, y luego los intervalos de lectura pueden incrementar a no más de diez (10) minutos.

d.3) La precisión del control del horno debe garantizar que, el área bajo la **Curva Real Tiempo-Temperatura**, obtenida del promedio de las lecturas de los termopares, se encuentre dentro del 10% de la correspondiente área bajo la **Curva Estándar** (teórica) de **Tiempo-Temperatura** mostrada en el *Gráfico 01*, para pruebas de fuego de una (1) hora o menos. Para pruebas con más de una (1) hora pero no mayor a dos (2) horas, debe estar dentro del 7,5% y para las pruebas que excedan las dos (2) horas de duración, el área debe estar dentro del 5%. A continuación se presentan los valores de áreas bajo la curva estándar de Tiempo-Temperatura, que servirán para el control de la prueba de fuego:



Tabla 04: Valores de área bajo la curva estándar (teórica) de tiempo-temperatura

Tiempo (h:min)	Temp. (°C)	Área bajo la curva	
		°C-min	°C-h
00:00	20	0	0
00:05	538	1290	22
00:10	704	4300	72
00:15	760	7860	131
00:20	795	11650	194
00:25	821	15590	260
00:30	843	19650	328
00:35	862	23810	397
00:40	878	28060	468
00:45	892	32390	540
00:50	905	36780	613
00:55	916	41230	687
01:00	927	45740	762
01:05	937	50300	838
01:10	946	54910	915
01:15	955	59560	993
01:20	963	64250	1071
01:25	971	68990	1150
01:30	978	73760	1229
01:35	985	78560	1309
01:40	991	83400	1390
01:45	996	88280	1471
01:50	1001	93170	1553
01:55	1006	98080	1635
02:00	1010	103020	1717
02:10	1017	112960	1883
02:20	1024	122960	2049
02:30	1031	133040	2217
02:40	1038	143180	2386
02:50	1045	153390	2557

Tiempo (h:min)	Temp. (°C)	Área bajo la curva	
		°C-min	°C-h
03:00	1052	163670	2728
03:10	1059	174030	2901
03:20	1066	184450	3074
03:30	1072	194940	3249
03:40	1079	205500	3425
03:50	1086	216130	3602
04:00	1093	226820	3780
04:10	1100	237590	3960
04:20	1107	248430	4141
04:30	1114	259340	4322
04:40	1121	270310	4505
04:50	1128	281360	4689
05:00	1135	292470	4875
05:10	1142	303660	5061
05:20	1149	314910	5249
05:30	1156	326240	5437
05:40	1163	337630	5627
05:50	1170	349090	5818
06:00	1177	360620	6010
06:10	1184	372230	6204
06:20	1191	383900	6398
06:30	1198	395640	6594
06:40	1204	407450	6791
06:50	1211	419330	6989
07:00	1218	431270	7188
07:10	1225	443290	7388
07:20	1232	455380	7590
07:30	1239	467540	7792
07:40	1246	479760	7996
07:50	1253	492060	8201
08:00	1260	504420	8407



El tiempo de exposición de la muestra a las temperaturas indicadas, depende de la resistencia del panel y/o de peticiones del cliente.

(Control de Temperatura en la cara no expuesta de la muestra):

d.4) Las temperaturas de superficies no expuestas deben ser medidas con termocuplas o termómetros, fijados bajo sus respectivas almohadillas adhesivas. Los cables conductores de la termocupla o el tallo del termómetro, deben estar bajo la almohadilla y en contacto con la superficie no expuesta, una distancia no menor de 89 mm. El punto de unión caliente de la termocupla o el bulbo del termómetro serán colocados aproximadamente bajo el centro de la almohadilla. Toda la almohadilla debe ser sostenida firmemente sobre la superficie de la muestra (*Ver Figura 06*).

d.5) Las lecturas de temperatura se harán en no menos de nueve (9) puntos de la superficie. Cinco (5) de estos deben estar dispuestos simétricamente de la siguiente manera: uno (1) aproximadamente en el centro de la muestra, y cuatro (4) ubicados alrededor del centro a una distancia del cuarto de la longitud del panel. Los otros cuatro (4) se colocarán en donde se considere necesario para obtener información representativa del desempeño de la construcción a prueba. Ninguna de las termocuplas o termómetros deben estar cerca de los bordes de la muestra, a una distancia menor que la mitad del espesor de la misma, o 305 mm.

(De manera general):

d.6) Las lecturas de temperatura en la cara no expuesta serán tomadas en intervalos que no excedan los quince (15) minutos, hasta que alguna lectura exceda los 100°C en cualquier punto. Luego las lecturas pueden ser tomadas de manera más frecuente de acuerdo a la naturaleza de la muestra, pero los intervalos no deben ser menores a cinco (5) minutos.

d.7) El punto final de temperatura del período de resistencia al fuego (especificado en las *condiciones de criterio de aceptación y rechazo*) será determinado como el promedio de las medidas tomadas en puntos individuales; excepto que, sí la temperatura se eleva en un 30% en exceso de los límites especificados en algún punto, el resto de los puntos serán ignorados y el período de la resistencia al fuego termina.



(Prueba de manguera de flujo):

d.8) Sí se cumplen a cabalidad las especificaciones anteriormente dichas, se considera exitosa la prueba de resistencia al fuego. Sin embargo, el proceso se completa cuando la muestra se somete a los efectos de impacto, erosión y enfriamiento de una manguera de flujo de agua dirigida inicialmente a la mitad de la cara expuesta y luego a todas las demás partes, haciendo cambios suaves de dirección. Este proceso se realiza para simular las condiciones reales de una edificación producto de un incendio, que luego se extingue con un flujo de agua. Cuando la prueba de resistencia al fuego se desarrolle en un tiempo menor a una (1) hora, la prueba de manguera de flujo no es necesaria.

d.9) La presión de agua y la duración de la aplicación, depende del período de resistencia de la muestra, durante la ejecución de la prueba de resistencia al fuego, y se refleja en la *Tabla 05*:

Tabla 05: Condiciones para la prueba de manguera de flujo

Período de resistencia	Presión de Agua en la base de la boquilla: (psi-kPa)	Duración de la aplicación de agua en la cara expuesta (min)
8 horas o más	45 - 310	6
Entre 4 y 8 horas	45 - 310	5
Entre 2 y 4 horas	30 - 207	2,5
Entre 1,5 y 2 horas	30 - 207	1,5
Entre 1 y 1,5 horas	30 - 207	1
Menos de 1 hora *	30 - 207	1

** Aunque anteriormente se estipulo que no es necesaria la prueba de manguera de flujo, cuando el período de exposición al fuego es menor a una (1) hora, si se desea aplicar la prueba, puede hacerse siguiendo lo especificado en la tabla.*

d.10) La prueba se realiza colocando el orificio de la boquilla de la manguera, perpendicularmente, a seis (6) metros del centro de la cara expuesta de la muestra, si la ubicación de dicha boquilla es de otra manera, la distancia hasta el centro de la muestra debe disminuir (a partir de los seis metros) a razón de 305 mm por cada 10° de desviación con respecto a la normal de la cara expuesta.



e) Cálculos:

El período de resistencia indicado en la prueba se debe corregir, cuando éste sea mayor o igual a media (1/2) hora. Esta corrección se hace para cambiar el tiempo previsto de exposición al horno, a través de la siguiente ecuación:

$$C = \frac{2 \times I \times (A - A_s)}{3 \times (A_s + L)}$$

Dónde:

C = Corrección en las mismas unidades de "I" (horas o minutos).

I = Período indicado de resistencia al fuego (horas o minutos).

A = Área bajo la curva real de tiempo-temperatura promedio del horno, en los primeros tres cuartos del período ("I") indicado.

A_s = Área bajo la curva estándar (teórica) de tiempo-temperatura del horno, en los primeros tres cuartos del período ("I") indicado.

L = Corrección de retraso en las mismas unidades que A y A_s (30°C-h ó 1800°C -min)

La corrección (C) y el Período indicado de resistencia al fuego (I) se suman algebraicamente, y el resultado de esa operación es el tiempo de resistencia al fuego corregido.

f) Expresión de los resultados:

Los **períodos de tiempo** de la prueba de resistencia al fuego deben ser expresados al valor del minuto más cercano. Además se debe agregar un **reporte** en el cual se incluyan observaciones detalladas del comportamiento del material durante la prueba y luego que cese el fuego aplicado, incluyendo información de:

- ✓ Deformación (en puntos notables del elemento en unidades de milímetros).
- ✓ Desprendimiento.
- ✓ Agrietamiento y quemadura de la muestra o sus partes componentes.
- ✓ Continuidad de la llama (en minutos).
- ✓ Producción de humo (en minutos).



g) Criterio de aceptación y rechazo:

Se considera que la muestra es apta, si reúne las siguientes condiciones:

g.1) Soporta la prueba de resistencia al fuego, sin permitir el paso de llamas o gases calientes que puedan encender restos de algodón ubicados al lado de la cara no expuesta, durante el período estipulado para la realización de la prueba.

g.2) Sí durante o luego de la aplicación de la prueba de manguera de flujo, no se produce una apertura, producto de la proyección de agua del flujo, en la cara no expuesta de la pared.

g.3) La transmisión de calor a través de la muestra, durante la prueba de resistencia al fuego, no debe hacer que, el incremento de temperatura en la cara no expuesta, sea mayor a 139°C por encima de la temperatura inicial.



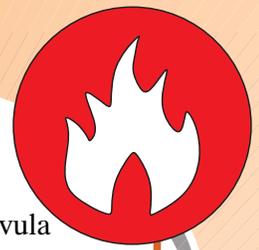
V.5. ENSAYO DE REACCIÓN AL FUEGO CUANDO SE SOMETE A LA ACCIÓN DIRECTA DE LA LLAMA:

a) **Principio:** A través de este ensayo se especifica un método para la determinación de la inflamabilidad de elementos de construcción, mediante la aplicación directa de llama pequeña, con radiación nula y utilizando muestras ensayadas en posición vertical.

b) **Muestras:** Se deben ensayar al menos seis muestras con las siguientes dimensiones: 250 mm de largo por 90 mm de ancho, y se mantiene el espesor propuesto el apartado “I” del manual (**OBJETO DE PRUEBA**). Cuando algún parámetro de medición, arroje valores irregulares o la prueba no se realice correctamente, se debe descartar la muestra ensayada bajo esas condiciones.

c) Equipos y materiales:

- **Recinto de ensayo:** El ensayo se debe realizar en un *recinto* capaz de producir un ambiente de 23 ± 5 °C y una humedad relativa del 50 ± 20 %.
- **Cámara de Combustión:** Se debe construir una *cámara de combustión* con láminas de acero inoxidable, con puertas de cristales resistentes al calor para permitir el acceso y observación desde, al menos, el frente y uno de los laterales. Debe establecerse libre ventilación a través de una rejilla con aberturas de sección cuadrada situada en la parte inferior de la cámara. Esta rejilla debe ser fabricada con acero inoxidable de 1,5 mm de espesor, 50 mm de altura y con la abertura cuadrada de 25 mm x 25 mm (*Ver Figura 7.1*). Para establecer la libre ventilación, la cámara debe estar situada a 40 mm de altura sobre soportes que dejarán libres los laterales de la cámara de combustión. El soporte frontal y posterior se desarrolla continuamente. La velocidad del aire medida en la chimenea de la cámara de combustión, como se muestra en la *Figura 7.1* debe ser de $0,7 \pm 0,1$ m/s, medida únicamente con la llama piloto en ignición y con la campana extractora encendida. La cámara de combustión debe estar situada bajo una campana extractora.
- **Fuente de ignición:** El quemador se construye como se indica en la *Figura 7.2* y debe estar diseñado de manera que se pueda utilizar verticalmente, o pueda ser fijado a 45° con respecto al eje vertical. El quemador se debe montar sobre una placa horizontal



desplazable hacia adelante y hacia atrás, en el plano horizontal, a lo largo de la línea central de la cámara de combustión. El quemador debe disponer de una válvula de ajuste para asegurar la precisión del control de la altura de la llama.

- **Combustible:** Debe ser propano comercial al 95% de pureza mínima. Con objeto de obtener una llama estable con el quemador fijado a 45°, la presión del gas debe estar comprendida entre 10 kPa y 50 kPa.
- **Soporte de las muestras:** El *soporte de las muestras* consistirá en un doble marco en forma de “U” realizado con acero inoxidable de 15 mm de anchura y 5 ± 1 mm de espesor. Con el resto de las dimensiones como se muestra en la *Figura 7.3*. El marco se cuelga verticalmente del soporte (*Ver Figura 7.4*), de tal manera que la cara inferior de la muestra esté directamente expuesta a la llama, a lo largo de su línea central y sus bordes. Las dos hojas del soporte se unen mediante tornillos o mordazas para evitar el deslizamiento de la muestra. Es importante que la forma de la unión utilizada sea capaz de mantener fija la muestra durante la duración del ensayo.
- **Soporte:** Es necesario un elemento horizontal para fijar el soporte de las muestras de tal manera que cuelgue verticalmente y exponga su borde abierto conteniendo la muestra a la llama ardiendo.

La distancia entre la cara inferior de la muestra y la parte superior de la placa horizontal sobre la rejilla metálica debe ser de 125 ± 10 mm para exposición de la llama al borde y de 85 ± 10 mm para la exposición de la llama a la superficie respectivamente.

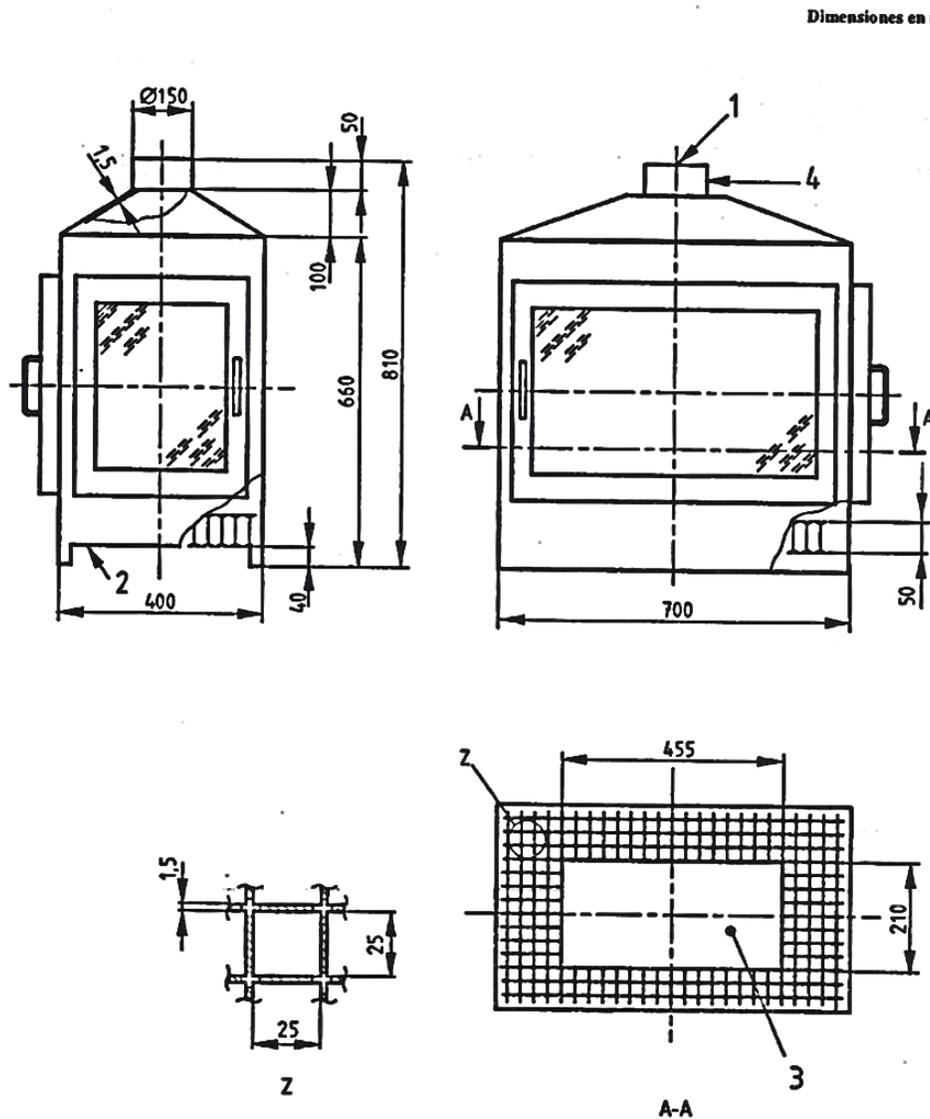
- **Cronómetro:** El cronómetro debe ser capaz de registrar intervalos de tiempo transcurridos con una aproximación de segundos y su precisión debe ser de 1 s en una 1 h.
- **Anemómetro:** Se utilizará un anemómetro adecuado con una precisión de $\pm 0,1$ m/s, para la medición de la velocidad del flujo de aire en la salida superior de la cámara de combustión.
- **Papel de filtro y bandeja:** Se requiere de un papel de filtro nuevo con un contenido de cenizas inferior al 0,1 %.

La bandeja, de 100 mm x 50 mm y 10 mm de profundidad, debe estar fabricada con hoja de aluminio. La bandeja se situará bajo el soporte de la muestra y se sustituirá para cada ensayo.



Adicional a lo anterior se utilizarán *aparatos de comprobación de la llama*, que:

- ✓ Puedan indicar una altura de llama de 20 mm, localizado frente a un punto fijo del quemador.
- ✓ Puedan comprobar una distancia de 5 mm entre el borde del quemador y la superficie de la muestra.



Leyenda

- 1 Punto de medición de la velocidad del aire
- 2 Rejilla metálica
- 3 Placa horizontal
- 4 Chimenea

NOTA - Todas las dimensiones se corresponden con valores nominales en mm sin tolerancias.

Figura 7.1: Cámara de Combustión. Fuente: Norma Española UNE-EN ISO 11925:2002

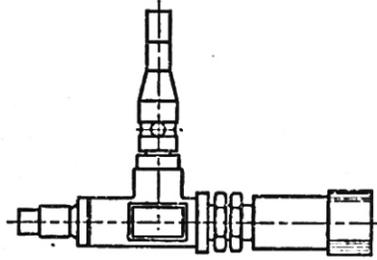
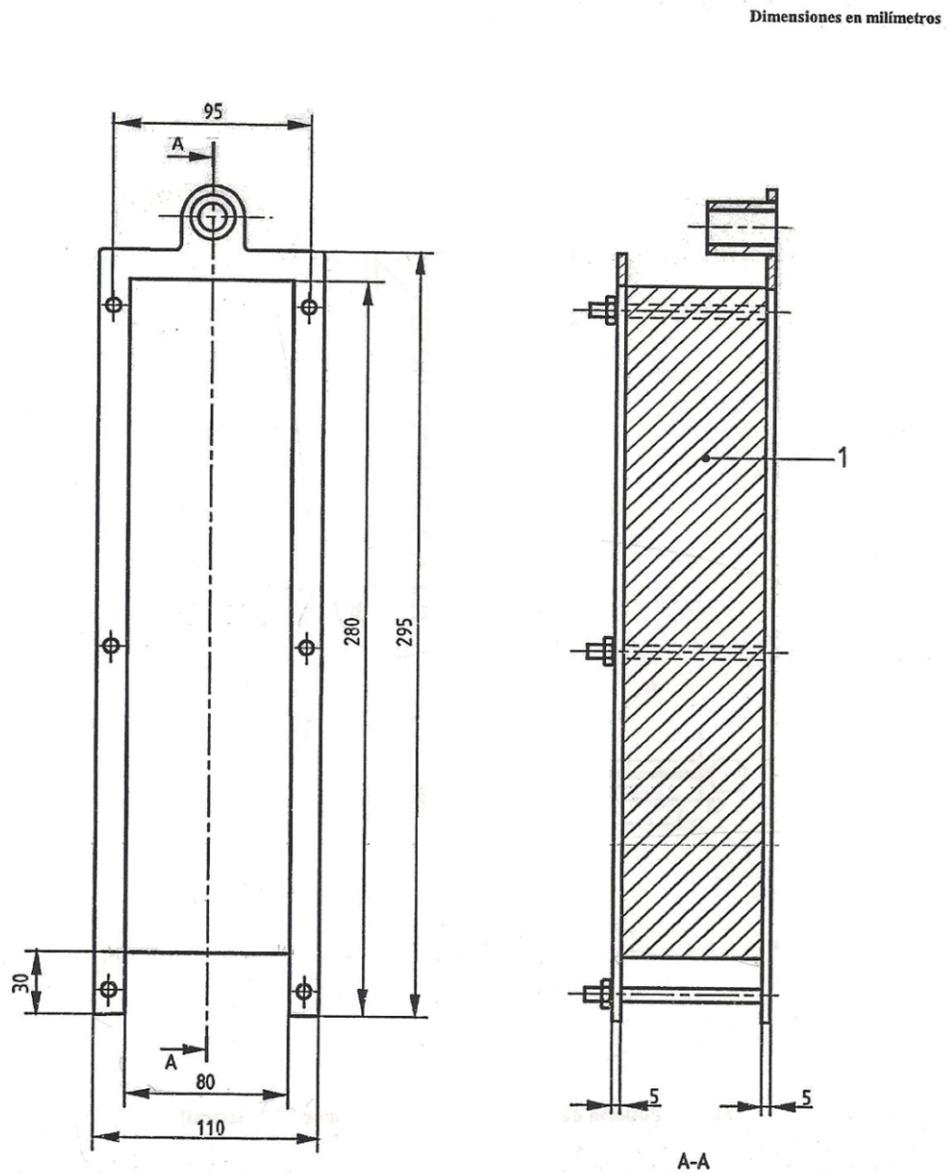


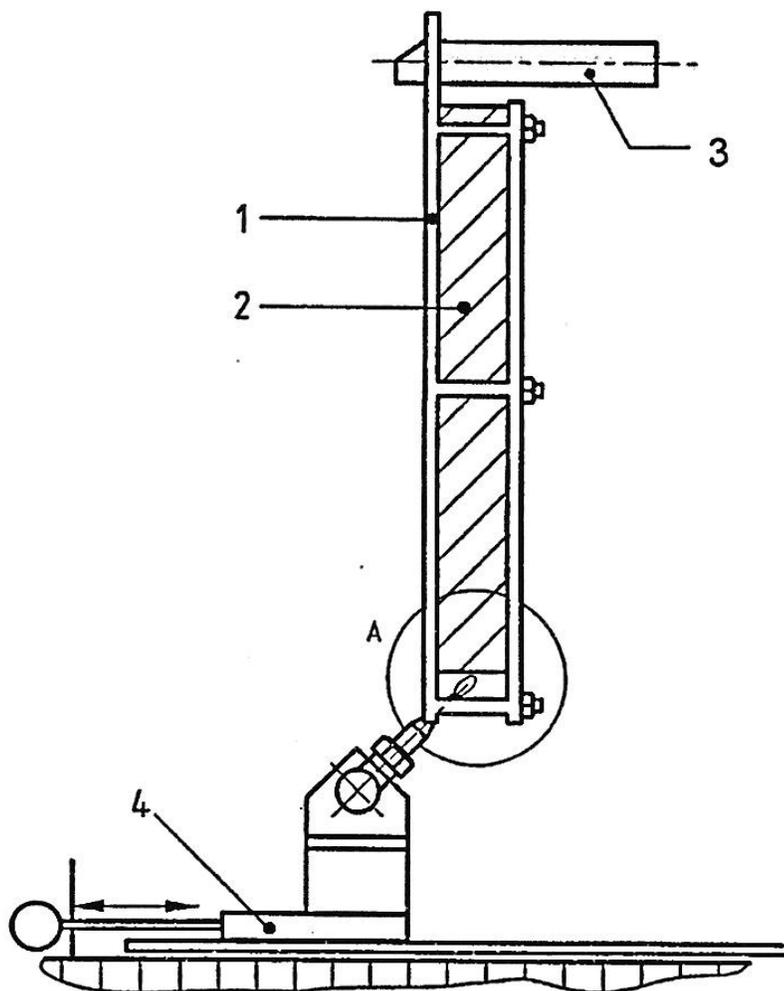
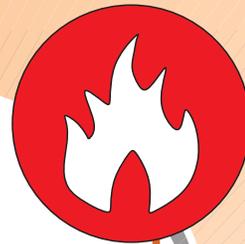
Figura 7.2: Quemador de gas y válvula de ajuste. Fuente: Norma Española UNE-EN ISO 1195:2002



Leyenda

1 Muestra de ensayo

Figura 7.3: Soporte de muestra tipo. Fuente: Norma Española UNE-EN ISO 11925:2002



Leyenda

- 1 Soporte de la muestra**
- 2 Muestra**
- 3 Soporte**
- 4 Base del quemador**

Figura 7.4: Posición del Soporte tipo y quemador. Fuente: Norma Española UNE-EN ISO 11925:2002



d) Procedimiento:

(Generalidades):

El ensayo se realiza bajo dos tiempos de aplicación de la llama: a los 15 segundos o a los 30 segundos, según lo requiera el solicitante. El comienzo del ensayo tendrá lugar en el momento de la aplicación de la llama.

Advertencia sobre seguridad: *Todo el personal relacionado con la gestión y realización de ensayos debe tener en cuenta la peligrosidad que revisten estos, debido a la presencia de humos y gases potencialmente tóxicos. También pueden surgir riesgos operativos durante el ensayo de las muestras y la disposición de los residuos de los ensayos.*

(Procedimientos preliminares):

Se debe comprobar la velocidad del flujo de aire requerida en la chimenea de la cámara de combustión. Siguiendo a esto, se fija el panel a ensayar en el soporte de la muestra, de tal manera que uno de los extremos y ambas laterales queden cubiertas por los marcos soporte, los cuales deben sobresalir 30 mm con respecto al extremo expuesto.

Adicional se debe comprobar las distancias del quemador a la muestra, con los aparatos indicados y se colocan dos piezas de papel de filtro en la bandeja de aluminio bajo la muestra, como mínimo 3 minutos antes del comienzo del ensayo.

(Procedimiento):

d.1) Se enciende el quemador en posición vertical y se permite la estabilización de la llama. Se ajusta la válvula del quemador para dar a la llama una altura de $20 \pm 0,1$ mm utilizando el aparato adecuado. Esta operación se debe llevar a cabo alejado de la muestra, para evitar contactos accidentales de la llama sobre la muestra.

d.2) Se fija la muestra al quemador a 45° con respecto a su eje vertical y se desplaza horizontalmente hasta que la llama alcance el punto de pre-establecimiento de contacto con la muestra de ensayo.

d.3) Se pone en marcha el cronómetro, en el momento en que la llama contacte con la muestra de ensayo. La llama se aplica durante 15 o 30 segundos, según lo requiera el solicitante, luego de esto se retira el quemador desplazándolo suavemente. La llama se debe aplicar sobre la línea central de la muestra a 40 mm sobre el borde inferior.



e) Cálculos:

Este procedimiento no requiere de cálculos.

f) Expresión de los resultados:

Para cada una de las muestras se debe registrar lo siguiente:

- ✓ Sí se produce ignición.
- ✓ Sí la parte superior de la llama alcanza 150 mm sobre el punto de aplicación y el momento en que esto ocurre.
- ✓ Sí se produce ignición en el papel de filtro.
- ✓ Observaciones del comportamiento físico de la muestra de ensayo.

g) Criterio de Aceptación y rechazo:

Si el producto se derrite o fluye sin inflamarse, deberá ser sometido a otras pruebas para verificar su durabilidad ante la acción directa de una llama de fuego.

Sí se inflama durante la aplicación de la prueba, en cualquiera de los dos tiempos establecidos, y el fuego continúa por un tiempo de 15 segundos adicionales, luego de que se ha retirado el quemador, la muestra no es apta para ser usada como un elemento de una construcción.



V.6. ENSAYO DE CICLO DE CALOR-HUMEDAD:

a) Principio: El ensayo que a continuación se describe, busca como principio determinar la resistencia de un panel a la desintegración o desagregación, al estar sometido a cinco o más ciclos sucesivos de inmersión en agua y secado.

b) Muestras: Se deben ensayar al menos cinco muestras con las siguientes dimensiones: 30 cm de largo por 30 cm de ancho, y se mantiene el espesor propuesto el apartado “I” del manual (*OBJETO DE PRUEBA*). Cuando algún parámetro de medición, arroje valores irregulares o la prueba no se realice correctamente, se debe descartar la muestra ensayada bajo esas condiciones.

c) Equipos y materiales: Para la realización del ciclo de calor-humedad, no se requiere de un montaje elaborado, los instrumentos o aparatos que se solicitan son los siguientes:

c.1) Estanque o depósito impermeable: En donde pueda ser sumergida cómodamente la muestra a ensayar.

c.2) Superficie permeable: Sobre la cual se pueda colocar la muestra luego de la inmersión, debe tener un área 1,5 veces mayor al área superficial del panel (ancho x largo).

c.3) Agua: Proveniente de un acueducto, libre de impurezas, que a simple vista no contenga sólidos, a una temperatura comprendida entre 15°C y 30°C.

c.4) Horno de convección de aire: En el cual se pueda introducir la muestra y se pueda realizar el ciclo de secado.

d) Procedimiento:

d.1) Medir tres veces, por muestra, las dimensiones: largo, ancho y espesor, con una precisión del milímetro (mm).

d.2) Pesar tres veces, cada muestra a ensayar. La precisión debe ser del gramo (g).

d.3) Sumergir la muestra en agua durante 24 horas exactas en el estanque o depósito impermeable.



d.4) Sacar la muestra y sobre la superficie permeable, nuevamente se realizan mediciones, pero esta vez sólo del espesor. Y también se pesa la muestra.

d.5) Se realizan observaciones y caracterizaciones del aspecto de la muestra en términos de desgaste, agrietamiento y desprendimiento.

d.6) Se deja la muestra durante 24 horas, en el horno de convección del aire a 60 °C si la muestra es orgánica o a 105 °C si la muestra no es orgánica.

d.7) Seguido a esto se vuelve a medir el espesor, se pesa la muestra y se realizan las caracterizaciones visuales.

d.8) El procedimiento de inmersión en el agua y de secado el horno se repite, al menos otras cuatro veces para cumplir las cinco fases, cuidando de realizar las respectivas mediciones entre cada cambio de ciclo.

d.8) Después del último ciclo, se debe medir tres veces, por muestra, las dimensiones: largo, ancho y espesor, con una precisión del milímetro (mm).

d.9) También se deben pesar tres veces, cada muestra ensayada con una precisión del gramo (g).

d.10) Se realizan observaciones y se enuncian condiciones finales de la muestra en cuanto a su aspecto.

e) Cálculos:

- **Espesor (e):** Se debe estimar (para cada muestra) el espesor inicial y el espesor luego de los ciclos, después de esto se debe calcular el porcentaje de disminución o incremento del espesor, como se expresa en la siguiente ecuación:

$$\Delta e = \frac{e_{Final} - e_{Inicial}}{e_{Inicial}} \times 100\%$$

- **Peso:** Se determina el porcentaje de variación de peso, a través de la siguiente ecuación:

$$\Delta Peso = \frac{Peso_{Final} - Peso_{Inicial}}{Peso_{Inicial}} \times 100\%$$



f) Expresión de los resultados: Se reporta lo siguiente:

- ✓ **Dimensiones** (en mm) (largo, ancho y espesor) iniciales (antes del ensayo) y finales (luego del ensayo) de cada una de las muestras.
- ✓ **Peso** (en Kg) inicial (antes del ensayo) y final (luego del ensayo) de cada una de las muestras, así como el porcentaje de variación.
- ✓ **Observaciones de apariencia** a juicio del encargado de emplear el ensayo, de la muestra luego de aplicar los ciclos.

g) Criterio de aceptación y rechazo:

El panel se considera *no adecuado*, cuando ocurre al menos, uno de los siguientes cambios en cada fase:

- Variación en el espesor de la muestra mayor al $\pm 5\%$.
- Variación en el peso de la muestra mayor al $\pm 5\%$.
- Variación en el aspecto del panel a juicio del cliente.



V.7. ENSAYO DE AISLAMIENTO TÉRMICO:

a) **Principio:** Este ensayo describe un método de laboratorio, para la medición del flujo de calor, de manera que se pueda determinar las propiedades de resistencia o la conducción térmica de componentes de una edificación, tales como los paneles usados para tabiquería. Este ensayo está enfocado principalmente en la transmisión perpendicular de calor, por lo que, el flujo de calor lateral no es significativo.

b) **Muestras:** Los paneles a ensayar deben seguir los parámetros especificados (anteriormente) en la sección “I” del manual, correspondiente a **OBJETO DE PRUEBA**. Como se comentó en dicho punto, es recomendable ensayar 3 ó más paneles, para obtener un valor de resultados representativo, del promedio de ellos. Cuando algún parámetro de medición, arroje valores irregulares o la prueba no se realice correctamente, se deberá descartar la muestra ensayada bajo esas condiciones.

c) **Equipos y materiales:**

- ✓ **Medidor de Flujo de Calor:** Se requiere de un medidor de flujo o transductor que arroje una señal eléctrica en función directa de un flujo de calor transmitido a través de él mismo. Los valores expresados a través del medidor de flujo de calor deben estar representados en Vatios [W]. El medidor puede ser de placas delgadas, térmicamente resistentes, con sensores de temperatura dispuestos de manera tal que, la señal eléctrica suministrada por los sensores está directamente relacionada con el flujo de calor que pasa a través de la placa (*Ver Figura 8*). Las dimensiones del medidor de flujo de calor son selecciones de acuerdo a la estructura del elemento ensayado. Usualmente, el área de la sección de medición del aparato es más pequeña que el área total del mismo.

El medidor de flujo de calor debe presentar baja resistencia térmica, para minimizar la perturbación causada por dicho medidor, pero debe tener alta sensibilidad tal que, se suministre una señal suficientemente amplia para la menor medición de calor medido.



El proceso de calibración debe garantizar que el equipo medidor del flujo de calor tenga una precisión de $\pm 2\%$ en condiciones de uso. Sin embargo, los factores de calibración del medidor de flujo de calor pueden cambiar con la temperatura, la conductividad térmica del material ensayado y cualquier otra variable relacionada con el mismo medidor, el material y/o el ambiente.

Un *anillo de protección*, hecho de un material con propiedades térmicas similares al medidor y con el mismo espesor, puede ser instalado alrededor del medidor de flujo de calor.

- ✓ **Sensores de Temperatura:** Los sensores de temperatura son transductores que dan una señal eléctrica, la cual está en función de su temperatura. Se requiere de dos (2) *sensores de temperatura de superficie* como mínimo, uno en cada lado del elemento ensayado. Estos pueden ser *termopares (termocuplas) delgados y/o termómetros de resistencia plana*. Es posible, para mediciones de conducción, incorporar uno o varios sensores en el lado del medidor de flujo de calor, donde se está en contacto con la superficie del elemento ensayado.

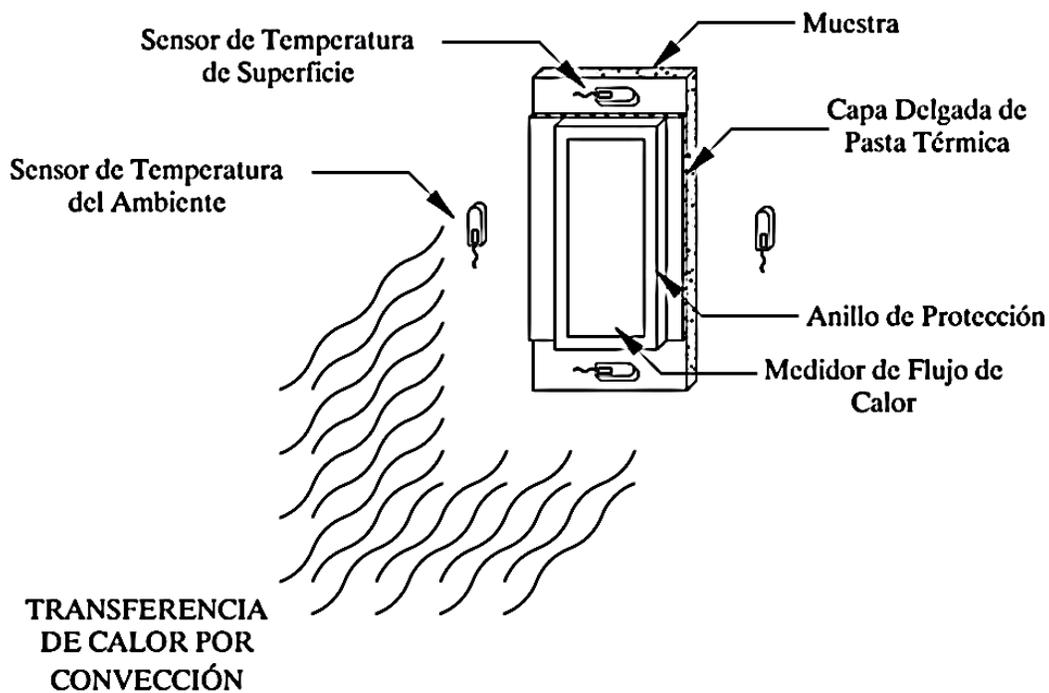


Figura 08: Montaje de Instrumentos/Aparatos para la Prueba de Aislamiento Térmico. Fuente:

Elaboración Propia



También se requiere de dos (2) *sensores de temperatura del ambiente* (para mediciones de las transmisiones térmicas del panel), los cuales se escogen de acuerdo a la temperatura a ser medida. Estos sensores son ventilados y protegidos contra radiaciones solares y térmicas. La calibración de los sensores de temperatura debe garantizar que la diferencia de temperatura entre el par de sensores, sea determinada con una exactitud mejor que el $\pm 2\%$ y que la temperatura sea medida con una exactitud de 0,5 K. Si la diferencia de temperaturas se obtiene de la resta de dos temperaturas, los sensores deben estar calibrados a una exactitud de $\pm 0,1$ K. Los sensores manufacturados con esta precisión pueden ser usados sin ser calibrados.

d) Procedimiento:

(Instalación del equipo):

d.1) Es importante que la superficie externa del elemento a ensayar esté protegida de la lluvia y de la radiación solar directa, por lo que, la muestra debe estar bajo techo. Sin embargo, el recinto no debe ser completamente cerrado, debido a que la exposición y la transferencia de calor por convección está prevista realizarse por medio de la luz solar. En caso de no poder usar calor de forma natural, se pueden utilizar elementos generadores de calor de forma convencional, pero siempre con una tasa de calor constante.

d.2) El elemento debe ser ubicado en algún punto del laboratorio, en el cual, el calor incida a la cara expuesta lo más perpendicular posible. Y por el contrario, la cara no expuesta al calor tenga una ventilación natural adecuada.

d.3) El *medidor de flujo de calor* debe ser instalado directamente en la cara de la muestra expuesta directamente al calor. Este medidor debe estar en contacto térmico directo con la superficie del elemento sobre toda el área del sensor. Una capa delgada con pasta térmica de contacto puede ser usada para tal propósito. Es importante destacar que, los medidores de flujo de calor no deben ser instalados en las cercanías de puentes térmicos, grietas térmicas o fuentes similares de error.

d.4) Por su parte, los *sensores de temperatura de superficie* deben estar instalados de forma tal, que se logre un adecuado contacto térmico, entre la superficie, ellos mismos y los cables principales de 0,1 m. Los *sensores de temperatura del ambiente* se instalan a ambos lados del elemento ensayado a una distancia de $1 \pm 0,25$ m. Es muy importante que los sensores no

estén bajo la influencia directa de un dispositivo de regulación de temperatura o bajo la proyección de un ventilador.



(Obtención de datos):

d.5) Sí la temperatura es estable alrededor del medidor de flujo de calor, el ensayo debe tener una duración mínima de 72 horas (3 días). De otra manera, esta duración puede ser mayor, llegando a 7 días.

d.6) El intervalo de registros usualmente varía entre 30 minutos a 1 hora, pero debe permanecer constante. Se registran valores de temperaturas en cada uno de los cuatro sensores y se registra la tasa de flujo de calor.

Información Importante: Para que el ensayo sea válido se necesita que las temperaturas de ambos lados de la muestra sean estables antes y durante la prueba, es decir con una variación de $\pm 3^{\circ}\text{C}$.

e) Cálculos: Luego de que se han seguido todos los pasos y alcanzado el tiempo estipulado, se proceden a realizar los siguientes cálculos, para obtener resultados representativos de la prueba:

- ✓ **Densidad de la tasa de flujo de calor (q):** Para cada muestra se determina este parámetro de la siguiente manera:

$$q = \frac{\Phi}{A}$$

Dónde:

Φ: Tasa de Flujo de Calor [W], proporcionada por el medidor de flujo de calor.

A: Área de la superficie expuesta al calor [m²]

- ✓ La **Resistencia estimada (R)** al calor de cada elemento se calcula de la siguiente manera:

$$R = \frac{\sum_{j=1}^n (T_{sij} - T_{sej})}{\sum_{j=1}^n q_j}$$



Dónde:

R: Resistencia térmica de un elemento $\left[C \times m^2 / W \right]$ ó $\left[K \times m^2 / W \right]$

T_{si}: Temperatura interna de la superficie del elemento de la edificación [°C o K]

T_{se}: Temperatura externa de la superficie del elemento de la edificación [°C o K]

q: Densidad de la tasa de flujo de calor [W/m²]

Los términos del numerador y denominador que se suman corresponden a los valores medidos u obtenidos en cada intervalo de tiempo.

- ✓ La **Transmisión térmica del elemento estimada (U)** se determina a través de la siguiente ecuación:

$$U = \frac{\sum_{j=1}^n q_j}{\sum_{j=1}^n (T_{ij} - T_{ej})}$$

Dónde:

U: Transmisión térmica del elemento $\left[W / ^\circ C \times m^2 \right]$ ó $\left[W / K \times m^2 \right]$

T_i: Temperatura del ambiente interno [°C o K]

T_e: Temperatura del ambiente externo [°C o K]

q: Densidad de la tasa de flujo de calor [W/m²]

Los términos del numerador y denominador que se suman corresponden a los valores medidos u obtenidos en cada intervalo de tiempo.

- ✓ La **Conducción térmica estimada (Δ)** se determina de la siguiente manera:

$$\Delta = \frac{\sum_{j=1}^n q_j}{\sum_{j=1}^n (T_{sij} - T_{sej})}$$

Dónde:

Δ: Resistencia térmica de un elemento $\left[W / ^\circ C \times m^2 \right]$ ó $\left[W / K \times m^2 \right]$

T_{si}: Temperatura interna de la superficie del elemento de la edificación [°C o K]

T_{se}: Temperatura externa de la superficie del elemento de la edificación [°C o K]



q: Densidad de la tasa de flujo de calor [W/m^2]

Los términos del numerador y denominador que se suman corresponden a los valores medidos u obtenidos en cada intervalo de tiempo.

f) Expresión de resultados:

Se reportan en tablas los resultados estimados correspondientes a los valores de Resistencia (R) al calor, transmisión térmica (U) y conducción térmica (Δ), por cada muestra ensayada, en las unidades previstas en la sección anterior (“Cálculos”).

g) Criterio de aceptación y rechazo: Bajo este método no se busca rechazar o aceptar alguna muestra por sus propiedades de resistencia o conducción térmica. Simplemente se determinan ciertos valores para satisfacer necesidades del cliente y se informa sí lo obtenido del ensayo influye en el confort que tendrá la vivienda construida bajo los paneles ensayados.



d.3) El dispositivo medidor de ruido se ubica, con el micrófono perpendicular al centro de la muestra, a una distancia de 10 ± 5 cm. Esta disposición aplica tanto para el medidor de sonido de la cámara receptora, como el de la cámara emisora.

d.4) Se emite un ruido con el respectivo dispositivo, cada 15 segundos durante 3 minutos. Por cada ruido emitido, se registra la presión acústica o sonido medido (a través de los dispositivos medidores de flujo) tanto en la cámara receptora, como la cámara emisora.

d.5) La estimación del aislamiento acústico de la muestra, se determina con el promedio de datos registrados cada 15 segundos.

e) Cálculos:

El aislamiento acústico de un elemento o índice de reducción acústica, que se representa por $D_{n,c}$ y se expresa en decibelios, está dado por la ecuación:

$$D_{n,c} = L_1 - L_2 + 10 \log(A_0/A) \text{ [dB]}$$

Dónde:

L_1 = Es el valor medio de presión acústica en la sala de emisión, en decibelios.

L_2 = Es el valor medio de presión acústica en la sala de recepción, en decibelios.

A_0 = Es el área superficial de la muestra a ensayar (Largo x ancho), en metros cuadrados.

A = Es el área de absorción equivalente o área superficial en el local receptor, en metros cuadrados.

f) Expresión de resultados: Se deben reportar todos los valores registrados por los sonómetros, tanto en la sala de emisión, como de recepción. Los valores de aislamiento acústico, por cada muestra también deben ser presentados y se debe informar las respectivas áreas superficiales y volúmenes de las salas, bajo las cuales se realizó el ensayo.

g) Criterio de aceptación y rechazo: Bajo este método no se busca rechazar o aceptar alguna muestra por su medición de índice de reducción acústica. Simplemente se determina el valor para satisfacer necesidades del cliente y se informa sí lo obtenido del ensayo influye en el confort que tendrá la vivienda construida bajo los paneles ensayados.



V.8. ENSAYO DE AISLAMIENTO ACÚSTICO:

a) **Principio:** El ensayo que a continuación se describe, especifica un método de laboratorio, para la medición del aislamiento frente al ruido aéreo, de los elementos de construcción de pequeño tamaño. No está previsto utilizar en este método, una unidad integrada, en donde la transmisión acústica asociada podría depender de la interacción de sus componentes.

b) **Muestras:** Los paneles a ensayar deben seguir los parámetros especificados (anteriormente) en la sección “I” del manual, correspondiente a **OBJETO DE PRUEBA**. Como se comentó en dicho punto, es recomendable ensayar 3 ó más paneles, para obtener un valor de resultados representativo, del promedio de ellos. Cuando algún parámetro de medición, arroje valores irregulares o la prueba no se realice correctamente, se deberá descartar la muestra ensayada bajo esas condiciones.

c) **Equipos y materiales:**

(Requisitos relativos al laboratorio):

- ✓ Las instalaciones de laboratorio consisten en *dos cámaras reverberantes* adyacentes con una apertura de ensayos entre ambas (Una cámara emisora del sonido y otra receptora). Los volúmenes y las correspondientes dimensiones de las dos cámaras de ensayo no deben ser exactamente las mismas. Se recomienda una diferencia entre los volúmenes y/o las dimensiones lineales de al menos un 10%. Los volúmenes de las cámaras de ensayo deben ser de al menos 40 m³. Se recomienda que el tiempo de reverberación en las cámaras sea mayor a un (1) segundo y menor a tres (3) segundos. En las cámaras no debe haber transmisión de ruidos naturales, respecto al ambiente externo a ellas.
- ✓ Para la realización del ensayo, es necesario contar con una *pared* con aislamiento acústico suficientemente elevado o transmisión del sonido despreciable (15 dB menos que la energía transmitida en la muestra de ensayo), con una abertura un poco mayor que la del área de la cara externa del panel (Largo x ancho). Esta se debe colocar entre las 2 cámaras previstas en el punto anterior.



El espesor de la pared de ensayo debe ser mayor al espesor de la muestra, pero no debe exceder de 50 cm. La pared se construye con hormigón o ladrillo, con una densidad de al menos 1800 Kg/m³.

- ✓ La distancia mínima entre la apertura de la pared y el suelo o techo de ambas cámaras debe ser de al menos 50 cm.
- ✓ La utilización del objeto de ensayo debe hacerse de tal manera que se represente el uso habitacional en obra, teniendo cuidado en simular las conexiones normales y las condiciones de sellado en el perímetro y en las juntas del elemento.

(Aparatos del laboratorio):

- ✓ Se necesitan *dos medidores de ruido*, denominados comúnmente *sonómetros* o *decibelímetros*, uno para cada cámara, con las siguientes especificaciones:
 - Poseer un micrófono externo, con su respectivo supresor de ruidos de viento.
 - Memoria de datos con logger de datos internos, de manera que se puedan registrar las respectivas mediciones.
 - Tener una capacidad de medición de hasta 140 dB, con una precisión de $\pm 1,5$ dB.
 - Como componente adicional, un trípode, en el cual se pueda ajustar el medidor de ruido.
- ✓ Un *dispositivo generador del campo sonoro o ruido* de forma unidireccional, tal como altavoces, parlantes o cualquier amplificador, al cual se le pueda regular la frecuencia, y la transmisión de sonidos sea de al menos 20 dB.

d) Procedimientos:

d.1) Cada uno de los paneles a ensayar se coloca en la abertura prevista, de manera que, su perímetro no esté unido rígidamente a la estructura de forma permanente. Esto se realiza por medio de algún adherente especial.

d.2) El dispositivo generador de ruido debe colocarse (en la cámara emisora del sonido) de manera perpendicular al centro de la muestra, o puede colocarse de manera inclinada hasta una inclinación de $\pm 30^\circ$, con respecto a la horizontal que parte del centro de la muestra. La distancia entre el equipo y la pared de ensayo no debe ser de más de un (1) metro.



I. ANEXOS INFORMATIVOS



Anexo 01: *Fase final en la producción de un panel para viviendas.*

Fuente: *Empresa VIPANEL (Venezuela) (2010)*

Anexo 02: *Prensa Universal usada en los Ensayos de Compresión.*

Fuente: *Empresas DAVI (México) (2011)*



Anexo 03: *Flexímetro con sus correspondientes accesorios.*

Fuente: *Instrumentos Starrett (Brasil) (2011)*



Anexo 04: Jackscrew (Gato Mecánico).

Fuente: Productos Alibaba (España) (2011)

Anexo 05: Dinamómetro de Muelle.

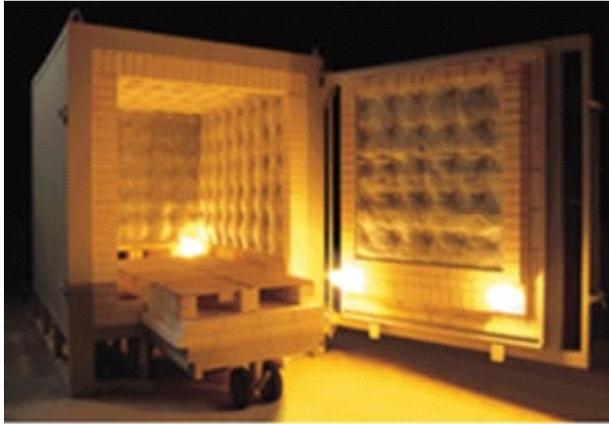
Fuente: Direct Industry (Alemania) (2011)



Anexo 06: Micrómetro Analógico.

Fuente: Instrumentos Baxlo Precisión (España)

(2011)

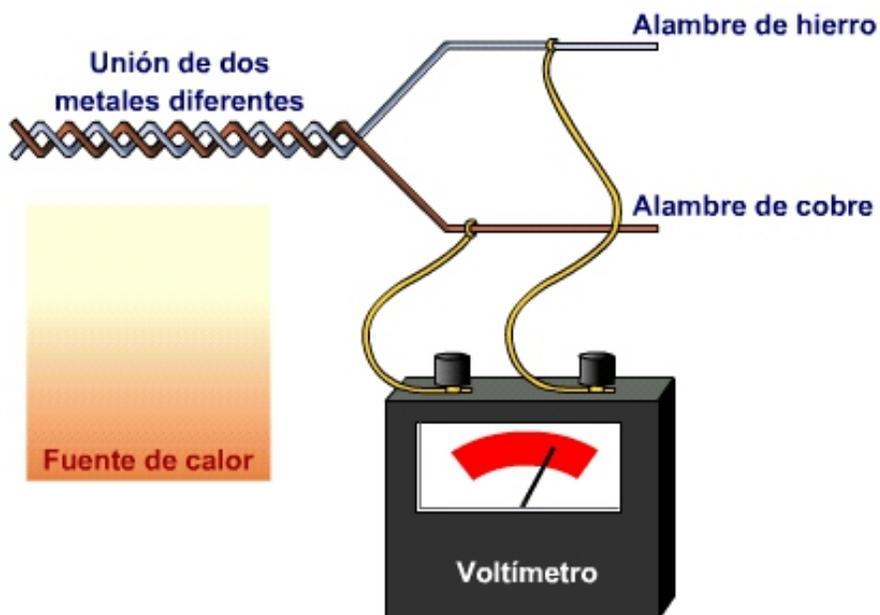


Anexo 07: Horno Quemador.

Fuente: Productos Alibaba (España) (2011)

**Anexo 08: Mechero de laboratorio tipo micro con llave
(Quemador de gas).**

**Fuente: Termometría de Precisión: VIMARONI (Chile)
(2011)**



Anexo 09: Diagrama de Funcionamiento de una termocupla.

Fuente: Enciclopedia Encarta en Español (2010)



Anexo 10: Sistema de Registro de Datos con Transductores del Flujo de Calor.

Fuente: DE LORENZO Of America Corp (México) (2011)



Anexo 11: Sonómetro Digital con micrófono externo.

Fuente: Solo Stocks México (2011)