

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

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

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela

Por los Brs.:

Gómez A. Gabriel E.,

Novoa L. Angelo

Para optar al Título de  
Ingeniero Civil

Caracas, 2011

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

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

TUTOR ACADÉMICO: Prof. César Peñuela

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela

Por los Brs.:

Gómez A. Gabriel E.,

Novoa L. Angelo

Para optar al Título de

Ingeniero Civil

Caracas, 2011

## ACTA

El día **lunes, 17 de octubre de 2011** se reunió el jurado formado por los profesores:

César Peñuela

Norberto Fernández

Ma. Eugenia Korody

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado: "**MANUAL DE ENSAYOS DE CALIDAD Y RESISTENCIA DE PANELES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL**".

Presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al Título de **INGENIERO CIVIL**.

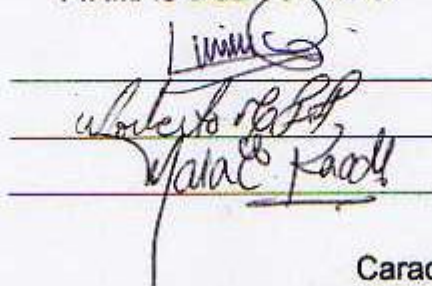
Una vez oída la defensa oral que los bachilleres hicieron de su Trabajo Especial de Grado, este jurado decidió las siguientes calificaciones:

NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	Números	Letras
Br. Gabriel Ernesto Gómez Araque	20	VEINTE
Br. Angelo Novoa Laroche	20	VEINTE

Recomendaciones:

~~\_\_\_\_\_~~  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

FIRMAS DEL JURADO

  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Caracas, 17 de octubre de 2011

## DEDICATORIA

*Quiero dedicar el presente logro a tres personas, que en diferentes etapas han significado algo muy importante en mi vida y seguirán estando allí conmigo, estas personas son:*

- 1. Mi hermanito: **Rodrigo**, quién Dios lo trajo al mundo para llenar de alegría, cariño y unión, a los seres que él rodea.*
- 2. Mi abuela: **Mamá María**, quién desde pequeño me motivó a trazarme metas y me enseñó a luchar por ellas, sin importar las adversidades que se presenten.*
- 3. Mi mamá: **Nayby**, quién me trajo a este mundo y me dio la vida, y a la cual le debo mil gratitudes por apoyarme hasta este momento.*

*A ustedes tres gracias por hacerme feliz, y les pido a Dios les de mucha vida para seguir compartiendo y viviendo experiencias juntos. Los quiero mucho!!!*

*Gabriel E. Gómez A.*

## **DEDICATORIA**

*Les dedico este documento a mis padres, mi hermana y mis bellas sobrinitas:  
Sofía e Isabella. Los quiero mucho, gracias por el apoyo incondicional.*

*Angelo Novoa Laroche*

## **AGRADECIMIENTOS**

**(Gabriel Gómez)**

Primero que todo quiero agradecer a Dios, por brindarme el regalo de la Vida y guiarme en todas las decisiones que he tomado siempre. Quiero darle las Gracias a mi mamá (Abuela) María por quererme tanto, educarme y haber hecho tantos sacrificios por mí. A mis padres, quienes me han apoyado, para continuar adelante y no decaer ante los retos que se me presentan. Y a mis demás familiares: mi nonita (Dios te tenga en su gloria), abuelos, tíos y primos, Gracias por estar presentes para brindarme compañía y comprensión estos años. De manera muy importante, quiero agradecerle a Angelo Novoa tanta paciencia que ha tenido conmigo en la realización de este trabajo de grado y en estos cuatro años en los cuales me ha brindado apoyo como compañero de estudio y como amigo. Quiero agradecer también al Prof. César Peñuela por el apoyo brindado como tutor, en la realización de la tesis.

A los amigos y compañeros que han compartido conmigo estos últimos años en la Universidad Central de Venezuela y fuera de ella: Julio Pelay, Andrea Caldera, Jeniffer Villamizar, Vladimir Pertuz, Alejandra Guerrero, Grecia Zeoli, Verónica León, Ana Guedez, Adriana Luis, Edixon Vera, Adrián Romero, Valentina Páez, Alejandra Figueroa, Elayne Hidalgo, Estefanía Pateiro, Eduardo Nieto, Christopher Mendoza, Willian Urbina, Neyda Henríquez y todos aquellos que me han brindado tiempo y esfuerzo en la carrera: GRACIAS!!! De igual forma, quiero agradecer a mis amigos del bachillerato que aún siguen allí conmigo: Danny Canro, Camila Delpretti, David Febres, Verona Santiago y Ariana Albacete, mil Gracias por seguir compartiendo y viviendo momentos, sin importar la distancia y el tiempo.

A los profesores, quienes no solo me han brindado todas las herramientas que necesito para desempeñarme eficientemente en el campo laboral, sino que también me han enseñado valores de vida, Gracias profesores: Ma. Eugénia Korody, Alba López, María Rincones, Henry Blanco, Steve Merlo, Budimir Spasic y todos aquellos que me han inculcado algo más que Ingeniería Civil. Y por último, pero no menos importante, a mis compañeros de trabajo de HIDROVEN de este último año: Danira Salazar, Dora Salas, Antonio De Freitas, Patricia Ramos y Karla Becerra (sé que donde estés, estás viendo esto), a todos ustedes Gracias por ayudarme a crecer como profesional y como persona. ☺

## **AGRADECIMIENTOS**

### **(Angelo Novoa)**

En general quiero agradecerles a todas y cada una de las personas que han contribuido a hacer de mí quien soy hoy, y por las cuales estoy donde estoy. Mis Familiares y Profesores que me han dado apoyo y ayuda académica y/o personal, gracias. Mis amigos de siempre del liceo y la universidad por compartir mucho más que estudios y vivir tantos momentos juntos.

De forma particular, quiero agradecerle a Gabriel Gómez, mi compañero de tesis y gran amigo. Sin él no hubiera podido cumplir con esta meta a lo largo de la carrera de la manera en que lo estoy haciendo. Gracias por calarte mis flojeras y enseñarme, entre miles de cosas, que no importa lo que pasó en el pasado, uno puede enmendarse y arreglar su futuro. Gracias por enseñarme a valorar más las cosas que tengo y a ser más agradecido por eso.

A mis padres: Miriam y Ángel y mi hermana Desirée, quienes a lo largo de mi vida han estado conmigo apoyándome sin ningún pero. Gracias a su crianza y experiencia, soy un casi Ingeniero competente con cualidades personales que me ayudan a conseguir buenas amistades y relaciones en la vida. Ustedes son fuertes fundaciones en mi vida y estoy seguro que gracias a eso, será muy difícil derrumbar mis planes y proyectos.

Al Profesor César Peñuela por apoyarnos en la selección del tema y desarrollo de la tesis. A los profesores de mi carrera, en especial Alba López, María E. Korody y Henry Blanco, quienes sin ser tutores de este trabajo especial de grado, mostraron total disposición en ayudarnos en lo que le pidiéramos, inclusive en asuntos distintos del TEG.

Y por último a mis sobrinitas, que en su corta vida me han mostrado lo satisfactorio que es ser un buen tío y una mejor persona. GRACIAS A TOD@S.

**Gómez A., Gabriel E.**

**Novoa L., Angelo**

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

**Tutor Académico: Prof. César Peñuela**

**Trabajo Especial de Grado. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería.**

**Escuela de Ingeniería Civil. Año 2011, n° pág. 180.**

**Palabras Claves:** Panel, Manual, Ensayos, Adaptación de Normas.

**Resumen:** Los paneles son una excelente alternativa en el sistema constructivo de viviendas de interés social, debido a que están asociados a una solución económica, sustentable, de rápida y sencilla instalación, presentando una calidad competente comparada con otras opciones. En Venezuela, el uso de éstos se realiza de manera arbitraria y no se toma en cuenta ninguna normativa. En consecuencia, se evidencia la necesidad de adaptar las normas internacionales disponibles a través de un Manual Técnico, que servirá para ensayar paneles individuales con fines de tabiquería para cerramientos, el cual es propuesto a través del presente Trabajo Especial de Grado. Se han evidenciado estudios y trabajos investigativos en la Universidad Central de Venezuela y fuera de ella, que sirven de complemento a las normas internacionales usadas para el planteamiento del manual. Se desarrollan ensayos físicos (compresión, flexión e impacto), de durabilidad (pruebas de fuego y ciclo de calor-humedad) y de aislamiento (térmico y acústico), los cuales se plantean bajo las condiciones constructivas de nuestro país. El manual que se propone no persigue una normalización u obligatoriedad de



su uso. Sin embargo, contiene los requisitos técnicos por referencia, de otras normas y por lo tanto puede ser denominado *Reglamento Técnico*, según disposiciones de la Norma COVENIN 2438. El manual será de gran utilidad para ingenieros civiles especializados en estructuras y materiales y técnicos en construcción civil, ya que presenta un lenguaje de fácil comprensión, con un nivel de detalle en procedimientos e información general, propios de un documento de esta naturaleza. Además de que contribuirá en los procesos de selección y uso de los paneles, como alternativa en la colocación de tabiquerías.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b><i>CAPÍTULO I: EL PROBLEMA</i></b> .....	2
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.2. OBJETIVOS .....	5
1.2.1. Objetivo General.....	5
1.2.2. Objetivos Específicos .....	5
1.3. APORTES .....	6
<b><i>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</i></b> .....	7
2.1. LA VIVIENDA .....	8
2.1.1. Evolución Histórica de la Vivienda .....	8
2.1.2. Elementos que pueden constituir a una Vivienda .....	14
2.2. LAS VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL.....	17
2.2.1. La Vivienda de Interés Social en Venezuela.....	18
2.2.2. Sistemas Estructurales aplicados a la construcción de viviendas de interés social.....	23
2.3. PANELES PARA VIVIENDAS.....	26
2.3.1. Ensayos a aplicar en los paneles.....	28
2.3.1.1. Ensayo de Compresión.....	28
2.3.1.2. Ensayo de Flexión .....	29
2.3.1.3. Ensayo de Impacto .....	30
2.3.1.4. Ensayo de Durabilidad.....	31
2.3.1.5. Ensayo de Aislamiento Térmico.....	32
2.3.1.6. Ensayo de Aislamiento Acústico .....	33
2.4. MANUAL TÉCNICO/EXPERIMENTAL .....	34
2.4.1. Definición .....	34
2.4.2. Elementos del manual .....	35

2.4.3. Normas empleadas para la realización del manual .....	36
2.4.3.1. Norma ASTM E72-05.....	36
2.4.3.2. Norma ASTM E695-79.....	37
2.4.3.3. Norma ASTM E119-81.....	38
2.4.3.4. Norma Española UNE-EN ISO 11925-2:2002 .....	39
2.4.3.5. Norma Internacional ISO 9869:1994.....	40
2.4.3.6. Norma Española UNE-EN ISO 140 .....	41
2.4.3.7. Norma Colombiana ICONTEC 2446:1988 .....	42
<b>CAPÍTULO III: MÉTODO</b> .....	<b>43</b>
3.1. METODOLOGÍA NO EXPERIMENTAL DESCRIPTIVA.....	44
3.1.1. Planteamiento y particularización de las funciones de los paneles .....	44
3.1.2. Compilación de información sobre los ensayos físicos, de durabilidad y aislamiento.....	44
3.1.3. Diseño de manera teórica de los ensayos .....	45
3.1.4. Presentación del manual técnico-experimental .....	46
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	<b>47</b>
4.1. FUNCIONES DE LOS PANELES EN SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL .....	48
4.1.1. Rápido Montaje.....	48
4.1.2. Sencillez .....	48
4.1.3. Economía.....	49
4.1.4. Calidad.....	49
4.1.5. Sustentabilidad .....	50
4.2. DOCUMENTACIÓN DE ENSAYOS PREVIOS REALIZADOS A LOS PANELES .....	51
4.2.1. Trabajos Especiales de Grado de la Universidad Central de Venezuela (TEG) .....	51
4.2.1.1. TEG: Propiedades estructurales de un sistema prefabricado constituido por paneles tipo sándwich .....	51

4.2.1.2. TEG: Diseño de Elementos para la Resistencia al Fuego .....	59
4.2.2. Artículos de Boletines Técnicos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) .....	63
4.2.2.1. Estudio Experimental de estructuras de grandes paneles, bajo acción de cargas horizontales alternadas .....	64
4.2.3. Artículos de Boletines Técnicos de otros Institutos de Ensayos Estructurales.....	68
4.2.3.1. Informe Técnico del Laboratorio de Estructuras, del Departamento de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú.....	68
4.3. ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS PROPUESTOS EN EL MANUAL.....	82
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	99
5.1. CONCLUSIONES.....	100
5.2. RECOMENDACIONES .....	104
<b>REFERENCIAS</b> .....	106
A. Fuentes impresas.....	106
A.1. Libros.....	106
A.2. Artículos .....	106
A.3. Trabajos académicos .....	107
A.4. Otros documentos impresos.....	107
B. Fuentes electrónicas .....	109
B.1. Páginas web .....	109
<b>APÉNDICE</b> .....	111
<b>ANEXOS</b> .....	112
1. MANUAL DE ENSAYOS DE CALIDAD Y RESISTENCIA DE PANELES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL .....	112
2. FOTOGRAFÍAS DE APLICACIÓN DE LOS ENSAYOS PROPUESTOS ...	173

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1:</b> Comparación de parámetros de muestras sometidas a carga de flexión (TEG: Propiedades estructurales de un sistema prefabricado constituido por paneles tipo sándwich).....	57
<b>Tabla 2:</b> Resultados del ensayo de compresión excéntrica en los paneles (Informe Técnico del Sistema Constructivo M2).....	74
<b>Tabla 3:</b> Resultados del Ensayo de corte en muros (Informe Técnico del Sistema Constructivo M2).....	77
<b>Tabla 4:</b> Resultados de puntos importantes en el ensayo de flexión de los paneles para techo (Informe Técnico del Sistema Constructivo M2).....	79

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

	<b>Pág.</b>
<b>Ilustración 1:</b> Casa Antigua de Uzbekistán.....	10
<b>Ilustración 2:</b> Viviendas para los funcionarios de Kahum, Egipto. ....	10
<b>Ilustración 3:</b> Viviendas Romanas .....	11
<b>Ilustración 4:</b> Palacio Construido en la Edad Media (España).....	12
<b>Ilustración 5:</b> Pasaje con viviendas típicas del Siglo XIX / Primeros edificios levantados en Estados Unidos.....	13
<b>Ilustración 6:</b> Viviendas en India, China y Japón.....	14
<b>Ilustración 7:</b> Estructura Metálica: Vigas y Columnas.....	15
<b>Ilustración 8:</b> Vivienda Unifamiliar en el Estado Miranda.....	18
<b>Ilustración 9:</b> Urbanización El Silencio. Año 1942 .....	20
<b>Ilustración 10:</b> Construcción de Viviendas en la Hacienda Coche, durante el Gobierno de Marcos Pérez Jiménez .....	21
<b>Ilustración 11:</b> Vivienda Construida a través de Paneles EVG 3D .....	24
<b>Ilustración 12:</b> Sistema de Colocación de Paneles In Situ.....	24
<b>Ilustración 13:</b> Distintos Acabados de Paneles ISO PANEL ofrecidos por la Empresa ISOTEX.....	27
<b>Ilustración 14:</b> Curva Típica de Compresión del Concreto .....	28
<b>Ilustración 15:</b> Ensayo de Flexión.....	29
<b>Ilustración 16:</b> Péndulo usado en el ensayo de impacto. ....	31
<b>Ilustración 17:</b> Ensayo contra el fuego en viviendas construidas por diferentes materiales, realizado por la empresa Volcán.....	32
<b>Ilustración 18:</b> Dispositivos usados para la realización del Ensayo de Aislamiento Acústico.....	33
<b>Ilustración 19:</b> Isometría del Panel Vipanel. ....	52
<b>Ilustración 20:</b> Proceso de Carga para la losa ensayada a flexión.....	54
<b>Ilustración 21:</b> Esquema del equipo para el ensayo de compresión simple. ....	56
<b>Ilustración 22:</b> Modelo de paneles superpuestos. ....	65

<b>Ilustración 23:</b> Registro de Desplazamientos, del sistema de paneles (Vista Frontal / Vista Posterior).....	66
<b>Ilustración 24:</b> Paneles a ensayar como muros del sistema M2.....	70
<b>Ilustración 25:</b> Paneles a ensayar como losas de techo del sistema M2.....	71
<b>Ilustración 26:</b> Instrumentación para el ensayo de compresión excéntrica en muros. ....	72
<b>Ilustración 27:</b> Instrumentación para el ensayo de corte en muros. ....	76
<b>Ilustración 28:</b> Instrumentación del ensayo de flexión de los paneles para losa. ....	78

## INTRODUCCIÓN

El documento que a continuación se presenta, se desarrolló básicamente a través de la recopilación y análisis de ciertas normativas internacionales y trabajos investigativos y de laboratorio, los cuales permitieron realizar una propuesta de un manual de ensayos de durabilidad y resistencia de paneles para la construcción de viviendas de interés social en Venezuela. Dicho manual fue producto de una serie de etapas propias de un trabajo de investigación y el presente documento tiene como objeto sintetizarlas, de manera que sean comprendidas satisfactoriamente.

La descripción del escenario en el cual se desarrolla el problema, se afrontará en el primer capítulo, donde además de presentar la justificación por la cual se escogió, también se expondrán los objetivos planteados y el alcance de la investigación. Posterior a este segmento, se explicará en un texto conciso y preciso cada una de las pautas y fundamentos teóricos que sirven de base para introducirse en la investigación y que también permiten una rápida ubicación, de lo que se está abordando, en el contexto mundial geográfico, histórico y científico.

El conjunto de pasos que se siguieron para lograr el objetivo general, se refleja en un método, en el cual no sólo se considera cada una de las actividades, sino también la conceptualización y globalización de ellas, en las distintas etapas o fases por la cual puede pasar una investigación. Aunque todas las partes del documento son importantes, es en la presentación de los resultados y su posterior análisis, donde se hará más énfasis en los productos obtenidos, los cuales se apreciarán en el manual de ensayos que se desea proponer. Por último, en las conclusiones se permitirá verificar todo lo planteado en los objetivos, en base a lo que realmente se pudo llevar a cabo bajo las limitaciones previstas y no previstas.



***CAPÍTULO I:  
EL PROBLEMA***

## **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Una vivienda de interés social debe tener un costo accesible a la población a la que está destinada, razón por la cual deben ser evaluadas las opciones constructivas menos costosas.

En Venezuela, se están usando los paneles de construcción como una de las alternativas para reducir los costos en tabiquerías, porque no sólo disminuyen el peso de la estructura, sino que facilitan la técnica y el tiempo para levantar la obra. Sin embargo, el uso de estos paneles se realiza de manera arbitraria y no se toma en cuenta ninguna normativa, principalmente, porque no se siguen las normas internacionales y no existe alguna adaptación nacional sobre el tema.

Es por ello que, al ser los paneles uno de los elementos que actualmente constituyen ciertas viviendas de interés social, se hace necesario determinar su calidad y resistencia, pero como no existen normas técnicas nacionales que regulen dichos ensayos, se evidencia la necesidad de adaptar las normas internacionales disponibles. Entre los parámetros a normalizar en los paneles de construcción se tienen los ensayos físicos de compresión, flexión e impacto; con respecto a los de durabilidad los de prueba de fuego y ciclo de calor-humedad y además, ensayos de aislamiento térmico y acústico.

En este sentido, el producto de este trabajo consiste en un manual, con el suficiente detalle técnico para que pueda ser comprendido y usado por ingenieros civiles especializados en estructuras y materiales, así como técnicos superiores en construcción civil. La publicación del manual estará disponible en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela.

La realización del manual implica una serie de tópicos e interrogantes previas a desarrollar, relacionados directamente con lo que es un panel como elemento de la construcción de una obra, entre otros: características y propiedades; ventajas y desventajas de su uso; campo de aplicación en el país; forma en que se han implementado y sus características circunstanciales propias, entre las cuales destacan las de durabilidad, aislamiento y ciertos comportamientos físicos.

Los ensayos son seleccionados de acuerdo a la información que proporcionan sus resultados, y a la frecuencia que se usan en laboratorios e institutos afines a la construcción civil, específicamente el IMME.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo General**

Proponer un manual de ensayos de calidad y resistencia para paneles usados en la construcción de viviendas de interés social en Venezuela.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

1. Definir funciones de los paneles en sistemas de construcción de viviendas de interés social.
2. Documentar los ensayos previos realizados a los paneles.
3. Diseñar ensayos físicos (compresión, flexión e impacto), de durabilidad (prueba de fuego y ciclo de calor-humedad) y de aislamiento (térmico y acústico).
4. Formular normativas sobre los ensayos diseñados, aplicables a las condiciones constructivas de nuestro país.
5. Presentar la información relacionada a ensayos y normas sobre paneles en el formato de un manual técnico/experimental.

### **1.3. APORTES**

La formulación del manual de ensayos de calidad y resistencia para paneles usados en la construcción de viviendas de interés social en Venezuela, contribuirá a los procesos de selección y ensayo de este tipo de elemento, como alternativa en la colocación de tabiquerías.

El manual será de gran utilidad para ingenieros civiles especializados en estructuras y materiales y técnicos en construcción civil, ya que presenta un lenguaje de fácil comprensión, con un nivel de detalle en procedimientos e información general, propios de un documento de esta naturaleza. Cabe destacar que no existen publicaciones en Venezuela relacionadas al tema, evidenciando la importante contribución que dicho manual tendrá para las personas que laboran en el país en el área de construcción.

El manual estará disponible en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela (UCV). Por lo tanto, además de ampliar el conocimiento adquirido en investigaciones llevadas a cabo en el Instituto, se extenderá a estudiantes y profesionales de ingeniería interesados en conocer sobre la implementación de paneles como alternativa en la construcción.

El manual podrá ser usado en organismos gubernamentales relacionados al campo de la construcción, y directamente a la edificación de viviendas de interés social, como lo son: el Ministerio del Poder Popular para la Vivienda y Hábitat y entes adscritos a este ministerio, el Ministerio del Poder Popular para Ciencia, Tecnología e Industrias Intermedias, además de Fundaciones y Programas destinados a la construcción de viviendas.

***CAPÍTULO II:  
MARCO TEÓRICO***

## **2.1. LA VIVIENDA**

La definición del término de vivienda ha sido ampliamente debatida tanto en instituciones académicas, como entre los encargados de implementar políticas públicas. Las ideas van desde cuestionamientos a las implicaciones éticas y morales, hasta fines de carácter operativo. Presentándose diversos puntos intermedios sobre los aspectos funcionales que debe cubrir el concepto de vivienda.

Según el Diccionario de la Real Academia Española (2010) se define a la vivienda como un lugar cerrado y cubierto, construido para ser habitado por personas. Adicional a esto es importante recalcar que, las viviendas ofrecen refugio a los seres humanos y les protegen de las condiciones climáticas adversas, además de proporcionarles intimidad y espacio para guardar sus pertenencias y desarrollar sus actividades cotidianas.

Las viviendas colectivas reciben nombres como apartamentos o departamentos, mientras que las viviendas individuales se conocen también como casas, chalets, entre otros.

### **2.1.1. Evolución Histórica de la Vivienda**

A continuación se presenta una reseña de cómo ha evolucionado la vivienda en las distintas fases de la historia y además referida a los distintos escenarios o lugares que influyeron en el desarrollo de la sociedad mundial. La información es una síntesis de lo escrito por Plazola (2002) en cuanto a historia de la vivienda se refiere.

Durante el paso de la historia, la vivienda ha sido y continuará siendo un espacio creado por el hombre como respuesta a la más esencial de las necesidades humanas: cobijo o protección del entorno natural.

Las características concretas de una vivienda dependen del clima, del terreno, de los materiales disponibles, de las técnicas constructivas y de numerosos factores simbólicos como la clase social o los recursos económicos de sus propietarios.

En la pre-historia estas variables no eran tan fáciles de controlar o superar, debido al poco desarrollo en materia de obtención de materiales y conocimientos de técnicas. Sin embargo, el hombre buscó superarse y una de las primeras características desarrolladas en la arquitectura vernácula fue el empleo de materiales autóctonos, entre ellos, la tierra, el cual era el más difundido en las zonas templadas y cálidas.

Otro de los materiales de la construcción vernácula es la cal, aglutinante para la composición de morteros y uno de los revestimientos impermeables más empleados por el hombre.

La segunda característica de las viviendas tradicionales, que se fue desarrollado al pasar el tiempo, es su perfecta adecuación al medio físico donde se construyen. Es por esto, que en las zonas donde el calor del verano se hace insoportable, las habitaciones se disponían en torno a un patio, cercado por pórticos que permitían que el aire fresco circulara por todas las estancias. (*Ver Ilustración 1*). Mientras que en las zonas frías, las viviendas se concentraban dentro de gruesos muros para conservar el calor del sol.





*Ilustración 1: Casa Antigua de Uzbekistán. Fuente: Google Imágenes: welcome continent (2010)*

Los habitantes del **Antiguo Egipto** fueron unos de los primeros pobladores en desarrollar el concepto de viviendas en urbanizaciones. Las casas de los esclavos solían tener entre dos y cuatro habitaciones y se aglomeraban sobre una retícula ortogonal, con callejones estrechos que discurrían entre las largas hileras que componían el barrio, mientras que las viviendas de los capataces estaban mucho más desahogadas. (Ver *Ilustración 2*).



*Ilustración 2: Viviendas para los funcionarios de Kahum, Egipto. Fuente: Google Imágenes: Arqhys Online (2010)*

En el **Oriente** próximo las viviendas se adaptaban a las posibilidades constructivas: donde había barro eran comunes las casas de una sola estancia en

forma de colmena. Donde no se encontraba madera, sino sólo piedra, todos los elementos, incluyendo las cubiertas se construían mediante bandas de este material. Por lo general, estas tradiciones han sobrevivido hasta hoy en día.

Exceptuando los palacios, la **vivienda griega** permaneció como una vivienda sencilla y de pequeña escala durante siglos. Un pasadizo conducía desde la calle a un patio al que se abrían tres o cuatro habitaciones.

Los **romanos** edificaron sus viviendas siguiendo tres tipologías: *domus*, *insulae* y *villa*. (Ver Ilustración 3). En Pompeya se han conservado muchas *domus*, vivienda urbana o suburbana unifamiliar, estas viviendas suelen estar situadas junto a la calle que les sirve de acceso. Las *insulae* eran los equivalentes a los bloques de apartamentos, viviendas plurifamiliares urbanas habitadas por las clases más humildes. La altura de estos edificios oscilaba entre tres y cinco pisos. Las *villas* se pueden entender como casas solariegas de las familias más poderosas, y en ocasiones se convirtieron en auténticos complejos residenciales que ocupaban varias hectáreas entre jardines, pabellones y residencias.



Ilustración 3: De Izq. A Der.: Domus, Insulae y Villa (Viviendas Romanas). Fuente: Google  
Imágenes: Bur-Burgales.blogspot (2008)

Todas las tipologías residenciales ideadas desaparecieron en **Europa** durante la alta edad media. La construcción de grandes casas señoriales en las ciudades y

feudos rurales, se inició con la aparición de la clase mercantil. Este tipo de viviendas mejoró las condiciones de vida de los mercantilistas, pero los problemas urbanos, agravados por la expansión demográfica, mantuvieron en condiciones de miseria al resto de la población.

Hacia el final del Medioevo las casas señoriales evolucionaron hasta convertirse en **palacios**, estos pasaron a ser elementos urbanos de gran escala también en el Renacimiento. (Ver *Ilustración 4*). De igual forma, se llevaron a cabo intentos para transformar las tipologías tradicionales de viviendas urbanas por edificios más o menos uniformes, que podían estar inspirados en los modelos de la antigüedad clásica.



*Ilustración 4: Palacio Construido en la Edad Media (España). Fuente: Google Imágenes: Revista Mundo 4x4 (2009)*

La **Revolución Industrial**, a finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX, generó una gran explosión demográfica, propiciada por la aparición de una nueva clase social, el proletariado, que vivía hacinada, en condiciones miserables, junto a los grandes núcleos industriales. El problema del crecimiento urbano desmesurado, asociado al interés de las clases medias por poseer una vivienda en propiedad, dio lugar a muy diversas soluciones, desde los ensanches de los

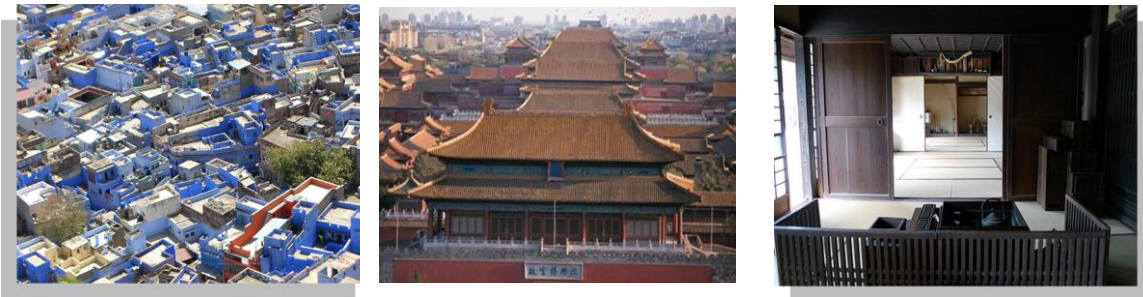
antiguos centros medievales hasta las soluciones suburbanas en forma de Ciudad-Jardín.

A finales del siglo XIX la vivienda se encontraba entre las preocupaciones más importantes de los arquitectos. Gracias a los nuevos tipos de transportes las ciudades crecieron en dos direcciones: a lo ancho, debido a los transportes horizontales; y a lo alto, a partir de la invención del ascensor en **Estados Unidos**, en bloques de apartamentos que favorecieron el precio del suelo. (Ver Ilustración 5). En este país, en el año 1974, el Congreso aprobó la Ley Nacional sobre Normas de Construcción y Seguridad de las viviendas móviles, reglamento que promueve la edificación de casas de forma modular, a través de elementos prefabricados. Este sistema, propio de la construcción masiva y repetitiva se empleó ampliamente en la época soviética de Rusia.



*Ilustración 5: Izq.: Pasaje con viviendas típicas del Siglo XIX. Der.: Primeros edificios levantados en Estados Unidos. Fuente: Google Imágenes: wcities.es (2011)*

Después de la **Primera Guerra Mundial**, alrededor de 1920, la vivienda se convirtió en el principal foco de atención para los arquitectos vanguardistas, y durante muchos años, las mejores obras construidas del movimiento moderno fueron urbanizaciones innovadoras y edificios residenciales. (Ver Ilustración 6).



*Ilustración 6: Viviendas en (De Izq. A Der.) India, China y Japón. Fuente: Google Imágenes: wcities.es (2011)*

### 2.1.2. Elementos que pueden constituir a una Vivienda

- **Elementos Estructurales:** Los elementos más usados en la construcción de viviendas que resisten distintos tipos de fuerza son: las fundaciones, columnas, vigas, tirantes y arcos. A continuación se muestran la definiciones de algunos de ellos:
  - **Fundación:** Es la base resistente que necesita la estructura para apoyarse, suele estar por debajo del nivel del suelo. La mayoría de viviendas se construyen sobre fundaciones de concreto para evitar que se hundan debido a su peso.
  - **Columna:** Elemento estructural utilizado principalmente para soportar la carga axial de compresión acompañada o no de momentos flectores, y que tiene una altura de por lo menos 3 veces su menor dimensión lateral.
  - **Viga:** Miembro estructural en el cual puede considerarse que las tensiones internas en cualquier sección transversal dan como resultantes una fuerza cortante y un momento flector.

- **Tirantes:** Son cables o barras que soportan esfuerzos de tracción. Pueden ser de acero, y sirven para aumentar la resistencia y durabilidad de una estructura.
- **Losas de Piso:** Son elementos rígidos que separan un piso de otro, constituidos monólicamente o en forma de nervios paralelos. Arquitectónicamente su función es separar los espacios verticales formando los diferentes pisos de una construcción. Y estructuralmente deben ser capaces de sostener su propio peso y las cargas de servicio como el mobiliario y las personas, sin embargo no es usual que se diseñen para resistir solicitaciones sísmicas.
- **Muro Estructural:** Muro especialmente diseñado para resistir combinaciones de cortes, momentos y fuerzas axiales inducidas por los movimientos sísmicos y/o las acciones gravitacionales.

Los Materiales más usados en los elementos estructurales son: concreto armado y acero. (Ver Ilustración 7). En algunos países se ha desarrollado masivamente el uso de la madera como material constructivo.



*Ilustración 7: Estructura Metálica: Vigas y Columnas. Fuente: Catálogo Rockwool (2011) (España)*

- **Elementos No Resistentes:** Entre los elementos de una edificación que no están diseñados para resistir por ellos mismas cargas o esfuerzos, destacan: las losas de techo, cielos rasos, tabiquería (paredes), elementos funcionales, así como también elementos no ornamentales. Para el caso de las viviendas, los elementos no estructurales que más destacan, y que vale la pena describir, son:
  - **Losas de Techo:** Son placas que se colocan en el último nivel de una edificación, pueden ser de acero, madera u otros materiales y su principal función es permitir aislamientos de distinta índole para la estructura.
  - **Tabiquería:** Es una obra de albañilería levantada en posición vertical para cerrar un espacio o sostener el techo, el conjunto de tabiquería o paredes puede estar compuesto de ladrillos de concreto, arcilla, cal, entre otro tipo de material. También es muy común que la tabiquería se componga de diversos tipos de paneles, el cual es el enfoque del presente Trabajo Especial de Grado.
  - **Elementos Funcionales:** Cumplen con una función específica relacionada a la seguridad y comodidad de los habitantes de una vivienda, entre ellos destacan: las puertas, ventanas, barandas para escaleras, otros.

## 2.2. LAS VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

Las casas de **interés social** se definen como “aquellas que se desarrollen para garantizar el derecho a la vivienda de los hogares de menores ingresos” según el Artículo 44 de La Ley 9 de 1989 o Ley de Reforma Urbana de la República de Colombia.

El Estado Venezolano es el encargado de la construcción de dichas viviendas, oficialmente bajo ninguna Ley u Ordenanza se maneja el concepto de viviendas de interés social, denominándoseles sencillamente vivienda. Sin embargo, el portal web del Ministerio del Poder Popular para la Vivienda y Hábitat las denomina viviendas de interés social en varios de sus artículos publicados.

En el Artículo 13 de La Ley del Régimen Prestacional de Vivienda y Hábitat de la República Bolivariana de Venezuela se expone que: *“La vivienda y hábitat dignos son definidos en términos de parámetros de calidad, mediante el cumplimiento de las condiciones mínimas necesarias para garantizar la satisfacción de las necesidades de cada grupo familiar, atendiendo a aspectos tales como: el diseño en función del sitio geográfico y lugar cultural, según particularidades locales y la participación de la comunidad en su determinación; la inserción de la vivienda y del asentamiento en la trama urbana; el cumplimiento de requisitos mínimos de habitabilidad que impidan el hacinamiento espacial o familiar; la vivienda saludable en términos de sanidad, ventilación e iluminación, **segura** desde el punto de vista ambiental, social y **estructural constructivo**, con espacios diferenciados social y funcionalmente, con posibilidades de progresividad y adaptabilidad al desarrollo futuro; así como, su inserción en el hábitat, con todos los servicios de infraestructura y urbanismo, y aquellos de índole comunitario, la calidad y accesibilidad física, ajustados a parámetros de densidad, distancias y otros”.*



Luego de analizar lo visto anteriormente, se interpreta que una **vivienda de interés social** es un espacio delimitado con condiciones mínimas que se desarrolla para garantizar las necesidades de refugio principalmente, de un grupo familiar con ingresos menores. (Ver *Ilustración 8*). La vivienda debe ser segura desde varios puntos de vista, entre los cuales destaca el social y ambiental, también destaca uno que es muy importante, éste es el enfoque estructural.



*Ilustración 8: Vivienda Unifamiliar en el Estado Miranda. Fuente: Google Imágenes: Ministerio del Poder Popular para la Vivienda y Hábitat (2010)*

### **2.2.1. La Vivienda de Interés Social en Venezuela**

La reseña histórica de la Vivienda de Interés Social en Venezuela, que a continuación se planteará, se realizó en base a lo señalado por el INAVI (1990) en una de sus publicaciones.

En la época de Guzmán Blanco, a finales del siglo XIX, se comienza a hablar de la necesidad de construir viviendas para la clase obrera. Se establece así, el primer intento de construcción de un desarrollo para la clase de menores ingresos en un sector de la ciudad de Caracas, donde actualmente funciona el Cuartel San Carlos, este proyecto no fue ejecutado. Posteriormente al noroeste de la ciudad, entre La Pastora y Catia, se desarrolló un parcelamiento en unos terrenos municipales para la edificación de viviendas populares, que no dejaron de ser intentos aislados.

Sin embargo, es a partir de 1928, con el inicio de las actividades del Banco Obrero, cuando se puede hablar de viviendas de interés social en Venezuela. Este organismo surgió como producto de la explosión demográfica, ocurrida a raíz de la aparición del petróleo en varias poblaciones del país.

Entre los años 1928 y 1929, se da inicio a una serie de conjuntos habitacionales en Caracas y en el interior, comenzando por el desarrollo de San Agustín del Sur, el cual estuvo constituido por 200 casas unifamiliares. Igualmente se realizaron casas obreras en otros puntos de Caracas como Catia, Agua Salud, y Jardines del Valle. Fuera de Caracas, en Puerto Cabello, Maracay, Valencia y Barquisimeto. Dichas viviendas tenían un costo aproximado de Bs. 15.000,00 c/u.

Debido a cambios internos del Banco Obrero, entre 1930 y 1937 hubo una recesión con respecto a la construcción. Sin embargo, entre 1939 y 1940, se ejecutaron 159 casas en la Urbanización Bella Vista de Caracas, otras en la urbanización Artigas, como también en Puerto Cabello, Cumaná y Maracaibo. A petición de la Organización Obrera Pro-Patria Venezolana, se desarrollan 300 viviendas destinadas a trabajadores de salario medio y distribuidas en grupos de 6 viviendas continuas e independientes, con el objeto de abaratar los costos. En la producción de estas viviendas, se introduce el uso de SIPOREX (concreto poroso), utilizado como base para la colocación de tejas. Con este proyecto, se inicia la aplicación de la Teoría de la Unidad Vecinal, ya que se incluyeron servicios, área comercial, un sistema de abastos y una iglesia.



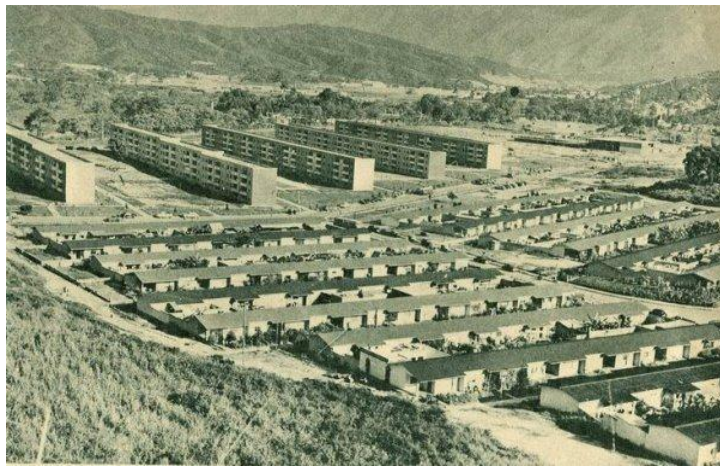
*Ilustración 9: Urbanización El Silencio. Año 1942. Fuente: CARACAS en Retrospectiva (2010)*

A partir del Plan Regulador de Caracas (1939), se comienza a pensar en la organización urbana y no simplemente en la adquisición de viviendas, un ejemplo de ella constituye la reurbanización de El Silencio y su inauguración en 1941, bajo el diseño del Arquitecto Carlos Raúl Villanueva. (Ver *Ilustración 9*). Antes de dicha urbanización se ejecutaban pequeños desarrollos puntuales, llevados a cabo sin una programación, basados en las propuestas de los contratistas quienes diseñaban y construían las viviendas.

Luego de este momento la construcción de soluciones habitacionales se realizaba siguiendo unos lineamientos definidos dentro de una planificación establecida, los cuales constituyen los primeros criterios a seguir en materia de vivienda. Esta urbanización constituyó la primera obra de importancia en materia urbanística que se desarrolló en el país, dando origen a la creación y consolidación de una industria de la construcción, y además a partir de ahí se plantea un nuevo concepto de vivienda urbana: la vivienda multifamiliar.

El desarrollo habitacional se incrementó a mayor escala en el interior del país a partir de 1946, y se produjo la tipificación de la vivienda obrera como una

respuesta al problema de la vivienda habitacional. En el año 1951 se crea el Taller de Arquitectura del Banco Obrero, el cual se encargaba del diseño y planificación de las viviendas, posteriormente se creó la primera Escuela de Arquitectura en Venezuela. Entre los años 1955 y 1958 se produjo la construcción de un gran número de viviendas representadas por los Superbloques: edificios multifamiliares de gran altura, localizados básicamente en Caracas. (*Ver Ilustración 10*).



*Ilustración 10: Construcción de Viviendas en la Hacienda Coche, durante el Gobierno de Marcos Pérez Jiménez. Fuente: CARACAS en Retrospectiva (2010)*

Luego del período del Presidente Marcos Pérez Jiménez (1958), con la crisis que se vivía en ese entonces, se pone en práctica nuevos enfoques de desarrollo, dirigidos a la captación de mano de obra desempleada y a la tipificación de las partes de una edificación (vivienda modular). Entre 1964 y 1969 se emprenden trabajos de investigación, experimentación, promoción y actualización de elementos constructivos, capaces de ser producidos mediante el uso de sistemas constructivos prefabricados abiertos; es decir tipificación del proceso y no de la vivienda.

Durante el período de 1975 a 1988, se crea el Instituto Nacional de la Vivienda (INAVI) en sustitución del Banco Obrero, con este cambio el Instituto se torna más complejo y por lo tanto disminuye la producción de viviendas, a pesar de esto, el Instituto se extiende por toda la nación y se hace presente en las ciudades del país con más de 15.000 habitantes.

Las viviendas ejecutadas por dicho Instituto, presentaron condiciones límites para que el costo fuese apto a familias con ingresos menores, ésto incluyó disminución de áreas para el desarrollo de viviendas progresivas y reducción de la calidad de sus acabados.

Para el año 1979 se construyó la vivienda con el postulado de “Vivienda completa, sana e higiénica”, cumpliendo con las áreas mínimas dispuestas por el Instituto Nacional de la Vivienda (INAVI). A partir de 1983 se inicia el proceso de créditos hipotecarios para facilitar el proceso de adquisición de las viviendas, y además se implementa el programa de sustitución de casa por rancho, debido a la proliferación de este tipo de asentamientos no planificados.

Para finales del siglo pasado, específicamente en la década de los años noventa, la construcción de viviendas para la clase social media y baja se desarrollaba mayormente en urbanizaciones cercanas a las principales ciudades (ciudades satélites). El tipo de vivienda predominante es la vivienda unifamiliar, quedando rezagados los bloques de apartamentos o viviendas multifamiliares, como respuesta a la necesidad habitacional que se vivía en aquel entonces y que persiste en la actualidad. A pesar de que se tienen distintos planes para la construcción masiva de viviendas a través de tecnologías no usuales, son muy pocos los que en verdad se han llevado a cabo, predominando aún el sistema de construcción tradicional de hace cuarenta años.

### **2.2.2. Sistemas Estructurales aplicados a la construcción de viviendas de interés social**

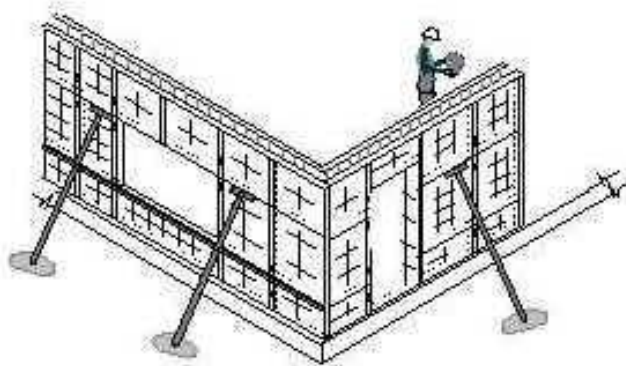
Según especifica el Portal Web: Centro de Vivienda de Interés Social (2010), de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de Los Andes de Colombia, se conocen o se emplean tres tipos de sistemas para construir viviendas de interés social, los cuales son:

- 1) Industrializados:** Parten de la utilización de bloques o paneles aligerados, este sistema disminuye sustancialmente los tiempos de ejecución de la obra, reduciendo así los gastos administrativos, financieros y generales. Este sistema es *modular*, ya que permite el crecimiento y/o desmontaje por etapas. Según el origen de los paneles, este sistema estructural se clasifica en dos tipos:
  - a) Prefabricados:** El Sistema constructivo está basado en el empleo de paneles prefabricados de algún tipo de material en específico, colocados en la obra con soportes temporales que se van retirando a medida que la construcción va adquiriendo su forma. A los paneles se les aplica concreto por ambos lados, de manera que se formen viviendas que permitan buenas opciones arquitectónicas. (*Ver Ilustración 11*).



*Ilustración 11: Vivienda Construida a través de Paneles EVG 3D. Fuente: Sistema de Construcción VIS (2010)*

**b) In Situ:** En este sistema constructivo se funden muros de concreto, y para su creación se requiere de formaletas y acero de refuerzo, siendo las formaletas de aluminio las más recomendadas. (Ver Ilustración 12).



*Ilustración 12: Sistema de Colocación de Paneles In Situ. Fuente: Sistema de Construcción VIS (2010)*

- 2) Artesanales o Tradicionales:** Las viviendas construidas de tipo artesanal están constituidas por ladrillos huecos pegados con mortero de cemento. La mampostería se arma de tal manera que se forman celdas verticales por las cuales van las barras de refuerzo y las instalaciones menores. La mayor parte de la construcción es estructural. Se considera que la mampostería estructural conforma un sistema con un buen aislamiento relativo desde el punto de vista térmico y acústico. Este sistema de construcción es apto para edificaciones de hasta seis metros de altura.
- 3) Híbridos:** Conjuga componentes artesanales con sistemas prefabricados “in situ” mayormente. Emplea estructura metálica, concreto, acero de refuerzo, ladrillo o bloque y paneles. El sistema permite una ejecución rápida y limpia. Las características comerciales previstas para el sistema, hacen que esta sea viable y económico a partir de un número mínimo de viviendas a construir. La posibilidad de emplear muros y fachadas tradicionales le da un carácter híbrido a la construcción que favorece algunas cosas y se convierte en factor negativo para otras.



### 2.3. PANELES PARA VIVIENDAS

Como ya se mencionó anteriormente los paneles son uno de los materiales que se usan en el proceso de edificación actual de viviendas, sobre todo aquellas destinadas a uso social, debido a que su colocación se realiza en tiempos relativamente cortos y las técnicas constructivas son fáciles de ejecutar. En los sistemas de construcción industrializados e híbridos juegan un papel muy importante, por lo tanto se debe evaluar muy bien cuáles paneles resultarán apropiados. Para seguir avanzando en la importancia de los paneles y los ensayos que evalúan su calidad y resistencia es importante saber técnicamente el significado de un panel como elemento en la construcción.

Un panel para la construcción, se define como un elemento tridimensional de superficie plana, que internamente está compuesto por un material que le da fortaleza y externamente recubierto por un material con propiedad aislante. Por lo que se puede decir, que ofrecen un sistema de construcción de poco peso y alta resistencia dando un aislamiento termo-acústico y una construcción rápida y económica. (*Ver Ilustración 13*).

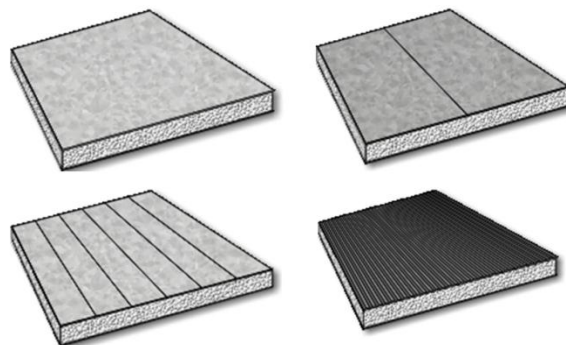
De acuerdo a la información expuesta, por la fábrica venezolana ISOTEX (2010), las principales ventajas de los paneles son:

- Aligera la estructura, y por ende se reduce el tamaño de las fundaciones.
- Rápida instalación.
- Colocación en forma modular.
- Reduce los costos de mano de obra.
- Elimina el revestimiento interno.
- Disminuye la cantidad de materiales.

- Por el aislamiento térmico que ofrece, se reducen los costos en calefacción y enfriamiento.

Vale la pena recalcar que una de las características que identifica a los paneles para la construcción es que, pueden ser auto-portantes o pueden anclarse a la estructura dependiendo de su uso y sistema de juntas. Además, se reduce el impacto al medio ambiente con la disminución de materiales, equipos, maquinarias y otros.

En la actualidad existen diversos tipos de paneles, los cuales se les puede aplicar variados usos, se pueden emplear como elementos de tabiquería, cielo raso, techos, muros de carga, losas de entrepiso, azotea, entre otros. Si la parte externa de los paneles no está diseñada para el contacto directo al ambiente, o se quiere mejorar la resistencia, una vez instalados en obra, los paneles se recubren con mortero de cemento-arena, hasta lograr un espesor requerido. Aunque la mayoría de las veces cumplen funciones de elementos no estructurales, sí se diseñan adecuadamente soportan tensiones de compresión, flexión, fuerza cortante, flexo-compresión y torsión, derivados de cargas tanto de gravedad (permanente y variable), como accidentales (viento y sismo).



*Ilustración 13: Distintos Acabados de Paneles ISO PANEL ofrecidos por la Empresa ISOTEX. Fuente: ISOTEX (2011)*

## 2.3.1. Ensayos a aplicar en los paneles

### 2.3.1.1. Ensayo de Compresión

En ingeniería, el ensayo de compresión es un ensayo técnico utilizado para determinar el comportamiento de un material o su deformación ante fuerzas o cargas de compresión. Este ensayo se aplica generalmente a materiales que trabajan a compresión, como lo es el concreto.

El ensayo se realiza por medio de una máquina universal de ensayos, obteniéndose una curva de: *tensión aplicada* frente a *deformación relativa* producida. (Ver Ilustración 14)

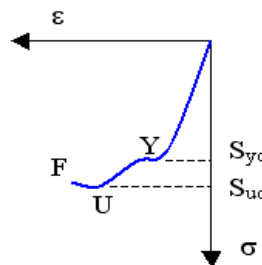


Ilustración 14: Curva Típica de Compresión del Concreto. Fuente: Enciclopedia Virtual de Ingeniería Mecánica. Universidad Jaume I, Castellón, España (2006)

A partir de la curva de compresión se pueden definir tres puntos característicos principales:

**Y = Límite de Cedencia:** Punto a partir del cual se producen deformaciones plásticas permanentes.

**U = Límite de resistencia última o límite de rotura:** Punto en el que se alcanza la tensión máxima de compresión.

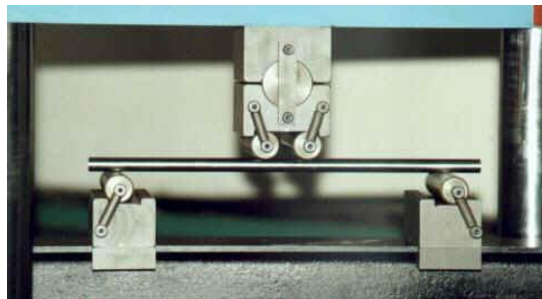
**F = Punto de fractura:** Punto en el que se produce la rotura.

### 2.3.1.2. Ensayo de Flexión

Método para medir la ductilidad de ciertos materiales, o su capacidad para resistir la flexión. Según un artículo publicado por el Departamento de Ingeniería de Materiales de la Universidad Politécnica de Cataluña (2011), el ensayo de flexión consiste en aplicar sobre un cuerpo una o más fuerzas perpendiculares a su eje longitudinal, de modo que provoquen el giro y desplazamiento de las secciones transversales. (*Ver Ilustración 15*).

El ensayo de flexión ordinario, se modela como una viga simplemente apoyada, con la carga concentrada en un punto medio, en dicha condición además de producirse el momento de flexión requerido, se superpone una tensión cortante, que se mantiene constante mientras los momentos flectores aumentan o disminuyen.

Los objetivos del ensayo de flexión son básicamente dos: determinar una curva carga-desplazamiento y la distribución de deformaciones y de tensiones en el material ensayado. El ensayo de flexión se realiza generalmente en metales frágiles y muy especialmente en las fundiciones. Vale la pena recalcar que el valor de las flechas en los ensayos de verificación indica si el comportamiento es *flexible* o *frágil*.



*Ilustración 15: Ensayo de Flexión. Fuente: Grupo: educ.ar (2011)*

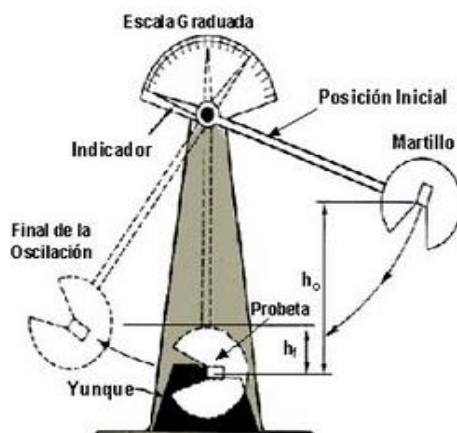
### **2.3.1.3. Ensayo de Impacto**

De acuerdo con Hibbeler (2006), a nivel de laboratorio, el ensayo de impacto o los ensayos dinámicos de choque se realizan generalmente en máquinas denominadas péndulos o martillos pendulares, en las que se verifica el comportamiento de los materiales al ser golpeados por una masa conocida la cual se deja caer desde una altura determinada, realizándose la experiencia en la mayoría de los casos, de dos maneras distintas: que la muestra se rompa por flexionamiento (flexión por choque) o que su rotura se alcance por deformación longitudinal (tracción por choque).

Los valores obtenidos en estos ensayos son únicamente comparables, en materiales con propiedades similares, ya sean siempre dúctiles o frágiles, cuando se realizan sobre el mismo tipo de muestra y en idénticas condiciones de ensayo.

La máquina de ensayo determinará el trabajo absorbido por el material cuando éste es roto de un solo golpe por la masa pendular y su valor en *Kgf* o *Joule*, y relacionándolo con la sección o volumen de la probeta, según el método, indicará la resistencia al choque o capacidad del material para absorber cargas dinámicas de impacto (resiliencia). (*Ver Ilustración 16*).

En muestras que tienen tamaño superior a los dispositivos usados para realizar esta prueba, las cargas se aplican por medio de un operador con una periodicidad y peso constante, de manera que se puedan reproducir condiciones representativas, similares a las encontradas en servicio, cuando se produce el impacto de un cuerpo pesado. Sí el elemento será utilizado, por ejemplo, para un muro, debe ensayarse en posición vertical, por contrario, sí será usado para la construcción de losas, deberá ser colocado en posición horizontal.



*Ilustración 16: Péndulo usado en el ensayo de impacto. Fuente: Diseño Mecánico I. Pontificia Universidad Católica de Chile (1999)*

#### **2.3.1.4. Ensayo de Durabilidad**

La durabilidad de un material se obtiene mediante un ensayo que tiene como objetivo determinar la resistencia de la muestra a la desintegración o desagregación, al estar sometida a dos o más ciclos sucesivos de inmersión en agua y secado. El índice que permite verificar dicho ensayo es la variación de volumen y masa de la muestra, si se pierde masa y/o disminuye el volumen, la muestra es vulnerable a las variaciones a las cuales se está sometiendo. Este ensayo es comúnmente conocido como ciclo de calor-humedad.

La durabilidad de los elementos de una estructura se mide también por la resistencia que presenten a la acción del fuego o su inflamabilidad, de manera que retarden la propagación de un incendio. (Ver Ilustración 17). Generalmente los materiales se ensayan con varios lapsos sucesivos, a la acción de fuego. Dicha acción puede variar dependiendo de la forma en que se aplica el fuego, a nivel de laboratorio se modela por medio de mecheros, sopletes y otros implementos.



*Ilustración 17: Ensayo contra el fuego en viviendas construidas por diferentes materiales, realizado por la empresa Volcán. Fuente: Plataforma Arquitectura (2011)*

### **2.3.1.5. Ensayo de Aislamiento Térmico**

Por medio del ensayo de aislamiento térmico se mide la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor por conducción. Se evalúa por la resistencia térmica que tienen.

El portal web argentino *físicanet* (2011) indica que, para la realización del ensayo, por lo general se usa un horno, la zona de abertura del horno es cubierta totalmente por el material a medirle el aislamiento térmico. Sobre la cara no expuesta al calor del horno, se colocan varios dispositivos de medición de temperaturas, que permitirán la lectura media del elemento, luego de esto se encienden los quemadores calentando la cámara de horno según alguna Curva *Tiempo/Temperatura* especificada. La curva de temperatura media o representación de valores de temperatura obtenida en el horno respecto a los valores de la temperatura media de los termómetros sobre el lado no expuesto al fuego, permitirán conocer la diferencia de temperatura, entre ambas caras, y por ende la capacidad del material de no permitir el paso de calor.

### 2.3.1.6. Ensayo de Aislamiento Acústico

La empresa Acústica Integral (2011), en su portal web, expone que cualquier ensayo de aislamiento acústico debe perseguir como objetivo, medir la capacidad que ofrece un material para impedir que un sonido penetre en un medio, o que salga de él. Esto se logra reflejando la energía, en vez de absorberla. La pérdida de transmisión sonora depende de la frecuencia, del tamaño del material y de la absorción del recinto receptor. El aislamiento acústico de un elemento plano se determina en laboratorio, produciendo un sonido en una de sus caras y midiendo el sonido transmitido en la otra, generalmente el resultado se expresa en decibeles.

Este resultado, si aparece reflejado en las especificaciones técnicas del material, lo hace bajo la nomenclatura de *capacidad de aislamiento* y tiene que hacer referencia a un(os) espesor(es) concreto(s). Para la realización del ensayo se requiere mínimo de un sonómetro analizador modular, una fuente multidireccional, y un amplificador de potencia. (Ver Ilustración 18).



*Ilustración 18: Dispositivos usados para la realización del Ensayo de Aislamiento Acústico.*

*Fuente: Digital.csic. – España (2010)*



## 2.4. MANUAL TÉCNICO/EXPERIMENTAL

### 2.4.1. Definición

Un manual técnico/experimental es un documento que contiene la descripción detallada de actividades que deben seguirse en la realización de los ensayos y/o procesos experimentales.

Para ser cónsonos con lo establecido por la Norma Venezolana COVENIN 2438: Normalización y Actividades relacionadas. Vocabulario General, del año 1996, se definirá el manual como un **Código de Buena Práctica**, ya que no se persigue una normalización u obligatoriedad de su uso, al contrario, estará compuesto por prácticas o procedimientos recomendadas para la utilización de ciertos productos.

El manual puede ser denominado también **Reglamento Técnico**, ya que contendrá los requisitos técnicos, por referencia de otras normas. Sin embargo, no estará contemplado bajo término de norma o especificación técnica, sino que seguirá siendo un código de buena práctica.

Al poseer información de normas internacionales, el manual será **armonizado internacionalmente**, según la terminología que establece la Norma COVENIN 2438, esta normativa contempla también un renglón para la determinación de las características del producto, en el caso del manual propuesto, es a través de **ensayos**, ya que se seguirán procedimientos específicos. Los ensayos serán especificados por medio del renglón **método de ensayo**, debido a que se registrará el procedimiento técnico, y no necesariamente los resultados de algún ensayo en particular.

### **2.4.2. Elementos del manual**

Usualmente los manuales técnicos siguen un patrón básico donde deben presentar una identificación que incluye datos de la organización o personas que lo publican, número de revisión, código bajo el cual se registra, entre otros. Sin embargo, al ser la primera edición que se realiza, y como no está destinado ser un Reglamento Técnico normado para poder realizar su publicación, el tipo de manual que se quiere generar no poseerá todos los elementos propios de una norma COVENIN. Luego de su correcta identificación en la portada, el manual debe estar constituido por las siguientes partes:

- 1)** Índice o Contenido
- 2)** Introducción
- 3)** Objeto de prueba
- 4)** Referencias
  - a)** Normativas
  - b)** Trabajos de Investigación
  - c)** Otras
- 5)** Definiciones
- 6)** Notaciones
- 7)** Métodos de Ensayo
  - a)** Principio
  - b)** Muestras
  - c)** Equipos y materiales
  - d)** Procedimiento
  - e)** Cálculos
  - f)** Expresión de los resultados
  - g)** Criterio de Aceptación o rechazo
- 8)** Anexos Informativos

En todos los casos se utilizan especificaciones con un lenguaje acorde al usuario al que se pretende llegar, tal que éste sea capaz de seguir los procedimientos y obtener los resultados deseados, adaptándolos a las condiciones actuales de su entorno.

### **2.4.3. Normas empleadas para la realización del manual**

#### **2.4.3.1. Norma ASTM E72-05**

La Norma ASTM E72-05 contempla los ***métodos de prueba estándar para la realización de Ensayos de Resistencia de los paneles para construcción***. Con la implementación de nuevos materiales y el desarrollo de la ingeniería estructural, se ha buscado la precisión técnica sobre resistencia y rigidez de los elementos básicos empleados en sistemas de construcción. Es por esto, que el objetivo principal de esta norma es proveer una base sistemática para la obtención de datos ingenieriles aplicables a los paneles como elementos estructurales para la construcción, lo cual es de gran utilidad para ingenieros, proyectistas, y demás interesados en el campo.

La norma recalca que los resultados arrojados con el seguimiento de los métodos de ensayos sugeridos deben aproximarse al desempeño del elemento puesto en servicio.

Específicamente se exponen los procedimientos a seguir para ensayar cargas de compresión, de tracción, transversal y concentrada en paneles usados como paredes, techos y pisos. Sin embargo, se mencionan otros métodos de ensayos para paneles y las referencias a sus respectivas normas. Los ensayos que se realizan usando como referencia esta norma, son: el ensayo de compresión aplicado a paredes y el de flexión (carga transversal).

#### **2.4.3.2. Norma ASTM E695-79**

La Norma ASTM E695-79 contempla el ***método estándar de medida de la resistencia relativa a carga de impacto de paredes, pisos y techos de construcción.***

Como la prueba aplica a elementos ensayados en forma horizontal (pisos y techos) y elementos ensayados en forma vertical (paredes), el método se divide en dos, en donde la diferencia es la forma de aplicación de las cargas.

Los procedimientos señalados en la presente norma permiten proveer información que puede ser usada para evaluar el desempeño relativo de paredes, pisos y techos bajo las condiciones o estado de servicio, cuando están sometidas a impactos de objetos pesados.

La norma describe los aparatos e instrumentos que se necesitan para desarrollar el método, tanto para muestras horizontales, como verticales, también especifica el procedimiento de forma detallada, con una serie de notas, que mencionan la relevancia de ciertos pasos y la precaución que se deben tomar al realizarlos. Se indica además la manera en que se deben hacer los registros, reportes, y por último, pero no menos importante, la precisión y exactitud que requiere el método.

Vale la pena recalcar, según especificación de la norma, que el método debe ser usado como un ensayo prototipo, y no como una rutina de control de calidad, razón por la cual el ensayo se aplica bajo un análisis justificado. También se deja claro que aplica a construcciones relativamente ligeras, entre las cuales se menciona paneles para paredes y mampostería en paredes o losas.

### 2.4.3.3. Norma ASTM E119-81

La norma ASTM E119-81 contempla los **métodos de prueba de fuego de materiales de construcción**. Estos métodos son aplicables tanto a unidades individuales, como a conjuntos compuestos que constituyen partes integrales permanentes de una edificación. Por lo tanto, el método se puede utilizar para paneles individuales que funcionen como paredes no cargadas.

El método se usa para medir y describir las propiedades de los materiales, en respuesta al calor y la llama, bajo condiciones controladas de laboratorio, de manera que se pueda establecer el desempeño o capacidad durante y después de la exposición al fuego.

Entre la información que proporciona el método, destaca: la medición de la transmisión de calor y de gases calientes a través de elementos individuales (paredes, particiones, pisos, techos) y la medición de la capacidad de carga durante la exposición al fuego, de elementos individuales y en conjunto que soportan cargas (vigas, columnas).

En el desarrollo de la norma se describe la curva de Tiempo-Temperatura estándar para el control de la prueba, los aparatos e instrumentos a usar, la temperatura de los hornos, como medio proporcionador de calor, temperaturas ambientales ideales, la manera cómo se deben reportar los resultados, las condiciones generales del ambiente del laboratorio y de la muestra de ensayo y los criterios a tomar en cuenta para los procedimientos y condiciones de aceptación de los elementos particulares. La norma tiene una sección adicional para complementar lo explicado, que incluye tablas, gráficos, comentarios, procedimientos alternativos, entre otros.

#### **2.4.3.4. Norma Española UNE-EN ISO 11925-2:2002**

La norma española UNE-EN ISO 11925-2:2002 contempla los **ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción**, y particularmente el **ensayo con una fuente de llama única**. Ésta norma es la versión oficial de la Norma Europea EN ISO 11925-2 de febrero de 2002, que a su vez adopta íntegramente la Norma Internacional ISO 11925-2:2002.

La presente norma europea especifica un método de ensayo para la determinación de la inflamabilidad de los productos de construcción mediante la aplicación directa de una llama pequeña, con radiación nula y utilizando muestras ensayadas en orientación vertical. En el planteamiento del ensayo se usa como referencias de consulta, las normas EN 13238 y EN ISO 13943, de ésta última se extraen los términos y definiciones.

Como cualquier norma que detalla ensayos técnicos a aplicar en elementos de construcción, contiene varias secciones que incluye: Equipos para Ensayo, Muestra de Ensayo, Acondicionamiento, Procedimiento de Ensayo, Expresión de los Resultados, Informe del Ensayo y los respectivos anexos.

Para la realización del método que se especifica en la norma, se debe tomar solo una muestra representativa de todo el elemento a ensayar, y adaptarlo a ciertas condiciones, de manera que se pueda fijar a determinados soportes. También se debe escoger cuidadosamente los instrumentos y equipos que van a ser la fuente de ignición de manera que se ejecuten en el laboratorio las condiciones de servicio más cercanas a la realidad.

La norma destaca que su uso no pretende constituir el único criterio de valoración del riesgo potencial, que un incendio, puede ocasionar en un elemento.

#### **2.4.3.5. Norma Internacional ISO 9869:1994**

La norma internacional ISO 9869-94 se titula ***Aislamiento Térmico – Elementos de una edificación – Mediciones de resistencia y transmisión térmica***. Los métodos expuestos para la ejecución de ensayos en la presente normativa, son aplicables a elementos individuales con capas opacas de cualquier material, por lo que, se puede utilizar para paneles individuales, cuya función en una edificación sea la de una pared no cargada.

El método explicado se desarrolla principalmente, por medio de un medidor de flujo de calor, el cual sirve para la medición de resistencia y transmisión térmica de los componentes de una edificación que están perpendiculares al flujo de calor y, como se dijo anteriormente, se conforman de capas opacas.

Este método también aplica a componentes de capas “cuasi-homogéneas” perpendiculares al flujo de calor. En este caso, la irregularidad de capas tiene que ser tal que, las dimensiones de heterogeneidad sean mucho menores que las dimensiones laterales del elemento.

En el contenido de esta norma se expone básicamente la descripción del aparato a usar (medidor de flujo de calor), con sus respectivos procedimientos de calibración, instalación, mediciones, complementos, análisis de datos, correcciones de errores sistemáticos y formato de reportes.

Los resultados que esencialmente se reportan del método, permiten determinar las propiedades de resistencia o la conducción térmica de componentes de una edificación, como también la transmisión térmica y la densidad de la tasa de flujo de calor del elemento.

#### 2.4.3.6. Norma Española UNE-EN ISO 140

La norma española UNE-EN ISO 140 especifica el método para la **medición del aislamiento acústico en elementos de construcción**. Ésta norma es la versión oficial de la Norma Europea EN ISO 140:1994, que a su vez adopta la Norma Internacional ISO 140:1994. De dicha norma se empleó las siguientes partes:

- UNE EN ISO 140-1:1994, que trata de los **requisitos de las instalaciones del laboratorio sin transmisiones indirectas**. En esta parte de la norma se profundiza el tema de los requerimientos del laboratorio en donde se realiza la prueba. De manera general es un laboratorio sin radiación, con dos cámaras (emisora y receptora) con aislamiento estructural entre ellas.
- UNE EN ISO 140-3:1995, que se refiere a la **medición en laboratorio del aislamiento acústico al ruido aéreo de los elementos de construcción**, trata fundamentalmente de los equipos, instrumentos y materiales necesarios para llevar a cabo la prueba de aislamiento acústico en las partes de una edificación.
- UNE EN ISO 140-10:1994, es la parte de la norma de la cual se indaga la **medición en laboratorio del aislamiento al ruido aéreo de los elementos de la construcción pequeños**. Aplica a los elementos de construcción que tengan un área menor a 1 m<sup>2</sup>, y que se presenten en tañamos discretos con dimensiones laterales bien definidas. Al igual que las normas anteriores, se explican las condiciones del laboratorio, materiales, instrumentos y equipos.

La norma UNE-EN ISO 140 no aplica para componentes que forman parte de una unidad integrada, donde el aislamiento dependa de la interacción entre ellos.



#### **2.4.3.7. Norma Colombiana ICONTEC 2446:1988**

La norma colombiana ICONTEC 2446 del año 1988 está dirigida a profesiones del campo de la Ingeniería Civil y la Arquitectura, y se titula: ***Paneles prefabricados, clasificación y requisitos***. La norma tiene por objeto establecer una clasificación de los paneles prefabricados de acuerdo a ciertos requisitos físicos y mecánicos que deben cumplir. Aplica a paneles prefabricados destinados a formar parte de una edificación, ya sea que estén formados por un solo material o por diversos materiales unidos.

En la norma se expone una serie de definiciones, necesarias para entender su contenido, también se propone una clasificación de los paneles según sus características de construcción, y además se propone una nomenclatura para nombrar a los paneles según dicha clasificación.

Entre los requisitos mecánicos que se exigen, están: resistencia a la compresión, resistencia a las cargas horizontales, resistencia a las cargas transversales (flexión), resistencia al impacto y resistencia a la penetración. Con respecto a los requisitos geométricos, se habla de tolerancias dimensionales (espesor, longitud y ancho) y de tolerancia de forma (planidad de las caras y rectangularidad). En la norma también se explica que se debe cumplir con parámetros de seguridad y durabilidad.

Para todas las evaluaciones nombradas anteriormente, la norma colombiana ICONTEC 2446:1988 recomienda seguir los métodos indicados en las normas ASTM E-72 y ASTM E-695, mientras se adoptan los métodos necesarios y particularizados para verificar la clasificación de los paneles.

***CAPÍTULO III:  
MÉTODO***

### **3.1. METODOLOGÍA NO EXPERIMENTAL DESCRIPTIVA**

Para el desarrollo del Trabajo Especial de Grado y el alcance de los objetivos propuestos, se contempló la realización de una investigación **no experimental, descriptiva** que consistió básicamente en recopilación, lectura, selección de documentos y posterior análisis; lo cual sirvió para el planteamiento del manual técnico/experimental, que representa el producto final de dicha investigación.

**3.1.1. Planteamiento y particularización de las funciones de los paneles** en un sistema de construcción de viviendas de interés social y enfoque de dichas funciones al manual técnico/experimental.

**3.1.1.1.** Se buscó publicaciones referentes a paneles como elementos para la construcción, en bibliotecas pertinentes de la Universidad Central de Venezuela y otras instituciones.

**3.1.1.2.** Se realizó un sondeo de manuales en fábricas de paneles, artículos publicados en internet, literatura recomendada, entre otros.

**3.1.1.3.** Se hizo una lectura de la información indagada.

**3.1.1.4.** Se clasificó y filtró la investigación según las funciones de los paneles y enfocada a la construcción de viviendas de interés social.

**3.1.1.5.** Se interpretó la información seleccionada.

**3.1.1.6.** Se redactó material inédito referente a la función de los paneles en Venezuela.

**3.1.2. Compilación de información sobre los ensayos físicos, de durabilidad y aislamiento**, que se desean plantear en el manual.

**3.1.2.1.** Se investigó en bibliotecas pertinentes de la Universidad Central de Venezuela, también en normativas, páginas web y Organismos e Instituciones relacionados al campo de la Construcción, Ciencia y Tecnología.

**3.1.2.2.** Se seleccionó aquellos trabajos investigativos y de campo que engloban los tópicos referentes a los ensayos a plantear en el manual.

**3.1.2.3.** Se interpretó la información contenida en los trabajos investigativos seleccionados.

**3.1.2.4.** Se transcribió una serie de análisis referente a las investigaciones exploradas.

**3.1.3. Diseño de manera teórica de los ensayos** de compresión, flexión, impacto, prueba de fuego, ciclo de calor-humedad, aislamiento térmico y aislamiento acústico en los paneles.

**3.1.3.1.** Se buscó la disponibilidad de normativas internacionales en bibliotecas y entes oficiales, que sirvieron para el planteamiento de los ensayos.

**3.1.3.2.** Se analizó y discutió la información presente en las normativas internacionales y trabajos investigativos usados como base para plantear los ensayos.

**3.1.3.3.** Se seleccionó aquellas normativas y trabajos que describen los ensayos físicos, de durabilidad y aislamiento, que se desean plantear en el manual.

**3.1.3.4.** Se dedujeron las características (tipos de muestras, maquinaria y equipos a usar, rangos de magnitudes, limitantes, condiciones ambientales, criterios de aceptación, entre otros) de los ensayos de compresión, flexión, impacto, pruebas de fuego, ciclo de calor-humedad, aislamiento térmico y aislamiento acústico.

**3.1.3.5.** Se orientaron las características de los ensayos a la aplicación en los paneles de construcción en Venezuela.

**3.1.3.6.** Se realizaron reuniones con el tutor académico y profesionales en el área y se discutió la factibilidad y aplicación de la información seleccionada en los pasos previos, en el diseño de los ensayos.

**3.1.3.7.** Se recopiló e interpretó información de manuales técnicos relacionados al área, para el conocimiento del formato y el nivel de lenguaje en un manual de dicho índole.

**3.1.3.8.** Se efectuó un planteamiento preliminar de los ensayos de compresión, flexión, impacto, pruebas de fuego, ciclo de calor-humedad, aislamiento térmico y aislamiento acústico.

**3.1.3.9.** Se aplicaron correcciones del diseño planteado en referencia a lo expuesto en las normas internacionales establecidas y a las condiciones constructivas y de experimentación en Venezuela.

**3.1.4. Presentación del manual técnico-experimental** de ensayos de calidad y resistencia de paneles usados en la construcción de viviendas de interés social en Venezuela.

**3.1.4.1.** Se buscó profesionales calificados para redacción formal del manual técnico-experimental.

**3.1.4.2.** Se estableció un formato de presentación del manual.

**3.1.4.3.** En base al asesoramiento suministrado se realizaron las modificaciones correspondientes, respecto al planteamiento de los ensayos.

**3.1.4.4.** Se redactó y transcribió el manual.

**3.1.4.5.** Se imprimió y puso en disposición el manual en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME).

***CAPÍTULO IV:  
RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS***

## 4.1. FUNCIONES DE LOS PANELES EN SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

Como se ha mencionado anteriormente una vivienda de interés social es creada para cumplir con condiciones mínimas de habitabilidad, de manera que una familia con ingresos menores pueda vivir cómodamente y todos sus miembros alcancen su desarrollo integral. Los paneles que funcionan como elementos de mampostería, dentro de la construcción de viviendas de interés social, deben cumplir lo siguiente:

### 4.1.1. Rápido Montaje

Los paneles deben adaptarse a cualquier necesidad dado su carácter modular, que permite, además de una **rápida instalación**, buena eficiencia en el trabajo de colocación, lo cual se traduce en una disminución en el tiempo de construcción. El carácter modular también permite tecnificar el proceso de obra sin limitaciones de diseño, acabados o tipo de edificación, lo cual implica o garantiza grandes beneficios para constructores y usuarios. Aunado a esto, es importante recalcar que los paneles son fáciles de transportar gracias a su bajo peso.

### 4.1.2. Sencillez

El proceso de colocación de paneles, específicamente para viviendas de interés social, debe ser **sencillo**. Como no se requiere de herramientas, ni maquinarias especializadas, el procedimiento se vuelve eficiente y económico, permitiendo ejecutar proyectos de viviendas, desarrollados prácticamente por obreros con asesoría y supervisión técnica básica. La sencillez de la colocación de paneles es un factor o ventaja en cuanto a la variedad de diseños que se pueden realizar para estructuras no tan complejas, es por ello que surge la posibilidad de usar paneles

para la construcción de viviendas temporales en zonas de emergencia, las cuales pueden servir de refugio.

#### **4.1.3. Economía**

De la mano con la rapidez y la sencillez viene la **economía**, como una de las características que más identifica el uso de los paneles. Los ahorros vienen dados básicamente en cemento, encofrados, tiempo de ejecución de obra y acero. Sin embargo, esto depende del tipo de panel que se vaya a usar, sí se necesita recubrimiento o no, un sistema específico de acoplamiento, entre otros, pero de manera general se logra una disminución de costos sí se compara la edificación de casas con paneles respecto a otras técnicas constructivas tradicionales.

Al lograrse un ahorro con la implementación de paneles, la obra puede ajustarse a varios presupuestos, lo cual permite la adquisición de viviendas para familias de menores recursos.

#### **4.1.4. Calidad**

La utilización de paneles propicia óptimas condiciones estructurales, sismorresistentes, termo-acústicas y estéticas, que no sólo permiten que los paneles sean usados para fines de tabiquerías, sino también para techos, losas, muros estructurales, entre otros. Las **condiciones estructurales** vienen dadas por la resistencia de los paneles a no sufrir daños significativos que comprometan la estabilidad de la estructura. Un panel de tabiquería debe ofrecer resistencia a las variaciones extremas de temperaturas, al fuego, en caso de presentarse, impactos horizontales y compresión causada por otros elementos de la vivienda.



Para ofrecer un confort similar al de viviendas construidas con bloques de arcillas, y friso de cemento, las viviendas edificadas por paneles, deben garantizar las mismas condiciones de **aislamiento acústico** (insonorización) y **aislamiento térmico**. Para lograr estas características, los paneles deben reflejar la mayor parte de la energía que reciben, de manera que, se evite el paso de ruido y calor entre distintos ambientes. Las variables de calidad descritas hasta el momento, se logran con la fortaleza del material interno (generalmente acero) y la propiedad aislante del material externo del panel.

Para avalar la capacidad de aislamiento acústico en los paneles, se debe garantizar un valor importante de reducción del ruido externo dentro de la estructura. Sumado a lo expuesto anteriormente, el aislamiento térmico se garantiza cuando se presentan condiciones de frescura en época de calor y calidez en temporadas frías.

#### **4.1.5. Sustentabilidad**

Con la concientización ambiental que se ha difundido en el mundo actualmente, se ha visto la tendencia a que la sociedad busque realizar actividades en promoción del **desarrollo sustentable**, para no comprometer los recursos de las generaciones venideras. La construcción de viviendas no es la excepción de esta regla, por lo tanto el levantamiento con paneles se ajusta eficientemente a la condición de desarrollo sustentable, ya que, con la disminución de materiales, equipos y maquinarias, y reducción de residuos finales, se minimiza el impacto al medio ambiente.

## **4.2. DOCUMENTACIÓN DE ENSAYOS PREVIOS REALIZADOS A LOS PANELES**

A nivel experimental, en las más importantes casas de estudio del país, el análisis de los paneles usados para la construcción de viviendas no ha tenido mucho auge, razón por la cual, existen pocos ensayos, que registren las condiciones necesarias para su correcto uso en Venezuela. Sin embargo, luego de realizar investigaciones en bibliotecas de la Universidad Central de Venezuela, páginas web y algunas fábricas a nivel nacional, se ha podido recopilar valiosa información, de la cual se hablará a continuación. Vale la pena recalcar que los métodos y análisis no son necesariamente nacionales, encontrándose algunos de publicación internacional con acceso libre al público, los cuales también se narrarán en la presente sección.

### **4.2.1. Trabajos Especiales de Grado de la Universidad Central de Venezuela (TEG)**

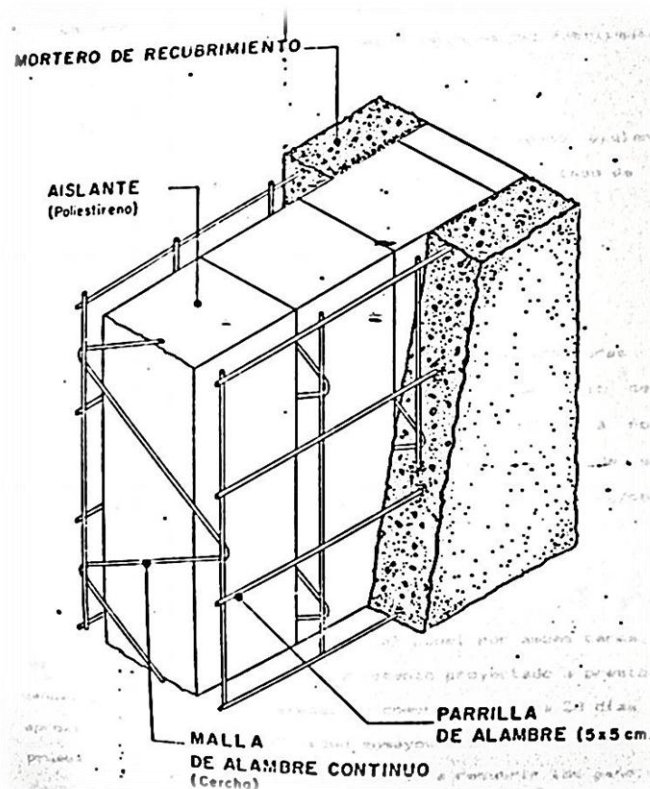
A continuación se presentarán los Trabajos Especiales de Grado, realizados para optar al título de Ingeniero Civil, dentro de la Universidad Central de Venezuela, los cuales, sí bien, no están directamente relacionados con todas las propuestas de ensayos planteadas en el manual, sirven de antecedentes o hacen referencia a algún ensayo en particular.

#### **4.2.1.1. TEG: Propiedades estructurales de un sistema prefabricado constituido por paneles tipo sándwich**

Esta investigación, presentada en 1987 por Herrera, J., Peña, M. y Sánchez, E., bajo la tutoría del Profesor Otto Carvajal, tuvo como objeto desarrollar un estudio experimental, para determinar ciertas características estructurales de un sistema

constructivo prefabricado de paneles tipo sándwich, en una vivienda de dos niveles. La investigación estuvo desarrollada básicamente por una parte experimental y por otra parte de modelación estructural a través de herramientas de computación. Sin embargo, para efectos del presente trabajo especial de grado se analiza la parte relacionada a los ensayos de los paneles.

Las muestras de paneles ensayadas poseían dimensiones variables para las distintas pruebas, sin embargo, el espesor era constante (10 cm), como también el material que los constituían. La estructura era básicamente un armazón tridimensional de alambre soldado con un núcleo de poliestireno expandido y con capas de mortero a ambas caras de los paneles. (Ver Ilustración 19). Los paneles tenían una edad al momento del ensayo de 30 a 50 días.



*Ilustración 19: Isometría del Panel Vipanel. Fuente: TEG: Propiedades estructurales de un sistema prefabricado constituido por paneles tipo sándwich*

La densidad de Poliestireno se encontraba entre 17 y 25 Kgf/m<sup>3</sup>. El acero usado para la armadura de alambre y para las mallas era acero al bajo carbono estirado en frío, calibre 14, galvanizado de acuerdo a las normas ASTM A-82 y ASTM A-185, teniendo como valores de resistencia:  $F_y=3973 \text{ Kgf/cm}^2$  y  $F_s=2362 \text{ Kgf/cm}^2$ . El mortero de cemento y arena, el cual fue proyectado a presión, tenía una resistencia a la compresión a los 28 días de 150 Kgf/cm<sup>2</sup>.

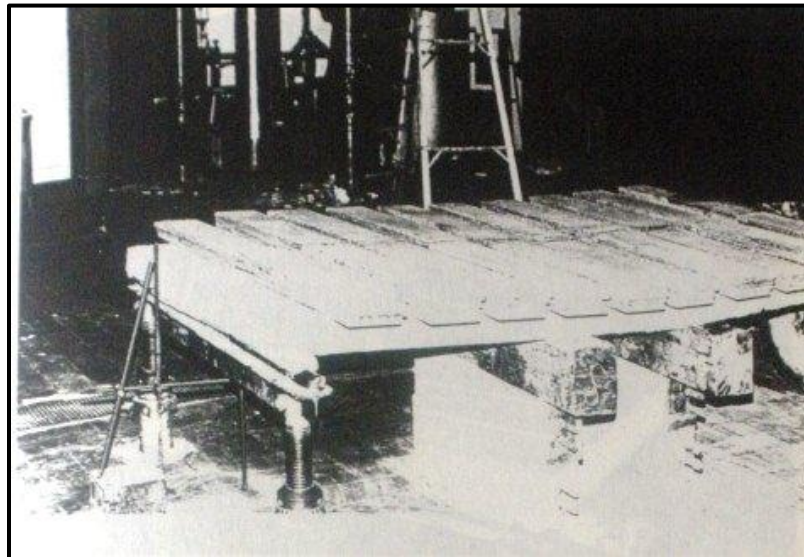
A los paneles se les realizó ensayos de flexión y compresión, los ensayos de flexión se realizaron para evaluar el comportamiento de los paneles como losa, y fueron tres, uno sin junta bajo carga uniformemente distribuida, el segundo con junta (a la mitad de la luz) bajo carga uniformemente distribuida y el tercero, también con junta en la misma zona, pero con dos cargas concentradas a 1/3 y 2/3 de su luz. Por su parte se realizó un solo ensayo a compresión simple.

#### **Procedimientos de los ensayos:**

- a) Losa Ensayada sin Junta bajo carga uniformemente distribuida:** El panel usado para esta prueba poseía una dimensión (Largo x ancho x espesor) de: 2,44 m x 1,22 m x 0,10 m. Se colocaron 5 flexímetros: uno por cada apoyo del panel y los otros tres alineados a la mitad de la luz del panel.

La aplicación de cargas se realizó mediante la colocación de planchas de acero de 17 Kg de peso, con dimensiones de 80 cm x 15 cm x 2 cm, estas planchas se colocaron a partir de los apoyos, espaciadas cada 5,5 cm, cubriendo así toda la superficie del panel y resultando un total de 20 planchas por cada capa. El proceso de carga se hizo colocando las planchas de manera alternada, inicialmente se colocaron 10 planchas dejando un espacio de por medio, luego de la estabilización de los

flexímetros se tomó una primera lectura y después de esto se colocaron las 10 planchas restantes para completar la primera capa, tomando así una segunda lectura. (Ver Ilustración 20). Mediante este proceso se determinó un cierto número de lecturas que sirvieron para graficar *Carga Aplicada vs. Desplazamiento*.



*Ilustración 20: Proceso de Carga para la losa ensayada a flexión. Fuente: TEG: Propiedades estructurales de un sistema prefabricado constituido por paneles tipo sándwich*

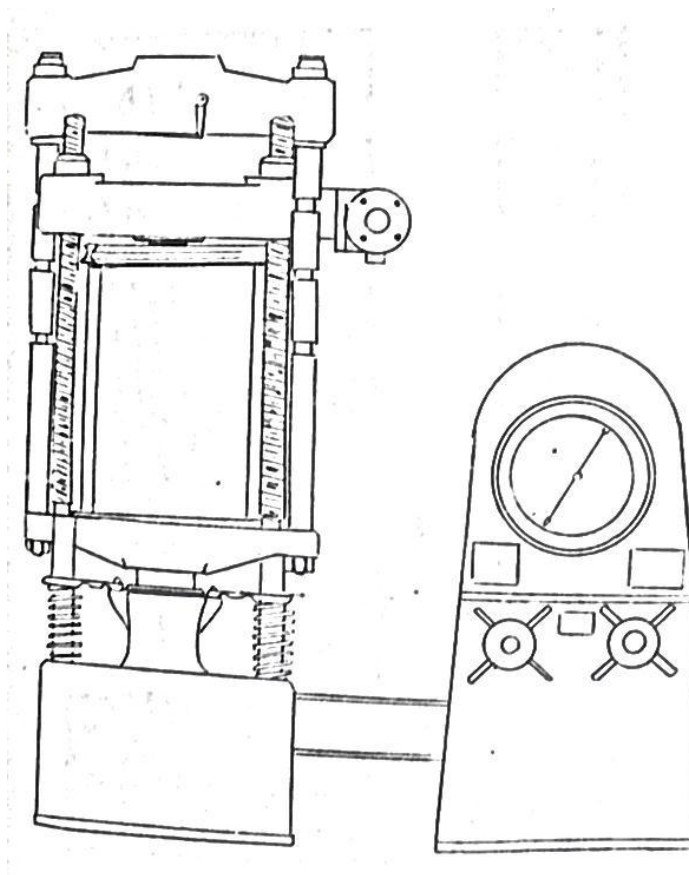
**b) Losa Ensayada con junta (a la mitad de la luz) bajo carga uniformemente distribuida:** El panel a usar para esta prueba poseía una dimensión de: 2,44 m x 1,54 m x 0,10 m. Se colocaron 5 flexímetros de la misma manera que el caso anterior, la aplicación de cargas también se realizó de igual forma. Las dimensiones del panel ensayado en este caso variaban ligeramente con el del caso anterior, debido a que son dos paneles unidos por una junta, formando así un solo elemento con una malla de refuerzo en su punto medio.

**c) Losa Ensayada con junta (a la mitad de la luz) sometida a dos cargas concentradas:** El panel a usar para esta prueba poseía una dimensión de: 2,44 m x 0,90 m x 0,10 m. Se colocaron 5 flexímetros de la misma manera que los casos anteriores. Entre el modelo y apoyo se colocó un mortero de yeso para lograr una mejor distribución de esfuerzos en dichas zonas. La luz libre entre apoyos fue de 2,29 m con una junta entre paneles a la mitad de su luz, es decir, a 1,07 m del apoyo. Para la aplicación de cargas al modelo, se colocaron dos tubos suficientemente rígidos, unidos al modelo por un mortero de yeso, uno a  $1/3$  y el otro a  $2/3$  de la luz del panel. Sobre los dos tubos se colocó una viga suficientemente rígida que buscó la transmisión de carga de varias planchas de acero (de igual peso y dimensiones a las usadas en cargas distribuidas) a los tubos apoyados sobre el modelo. La colocación de las planchas de acero de carga fue hecha de una en una, tomando lecturas en los flexímetros colocados en los diferentes puntos del panel.

Vale la pena recalcar que, para los tres casos se colocaron apoyos metálicos (fabricados con barras de acero de  $1 \frac{3}{8}$ " a 7,5 cm de los extremos del modelo, produciéndose un volado y así prevenir el efecto de cualquier posible deslizamiento entre el modelo y apoyo.

**d) Compresión Simple en un Panel:** La dimensión del panel usado para esta prueba fue de 2,44 m x 1,22 m x 0,10 m. El modelo se ensayó en una prensa universal. (*Ver Ilustración 21*), colocándose como apoyo en la parte inferior del panel, la base de la misma prensa hidráulica con una capa de mortero de yeso para evitar cualquier desnivel en el modelo y para garantizar una transmisión de esfuerzos en toda el área por igual. La carga fue aplicada por medio de una viga metálica sujeta al cabezal de la máquina, la cual servía como apoyo de la carga suministrada, con su

debida capa de mortero de yeso para garantizar uniformidad en la distribución de esfuerzos. Para medir las deformaciones del modelo, en este caso su pandeo, se colocó un flexímetro centrado en cada cara del panel. Las lecturas se tomaron por cada incremento de carga del orden de los 250 Kg y luego por cada incremento del orden de los 500 Kg, obteniéndose un valor de carga máxima de aproximadamente de 15.250 Kg. Con este proceso de carga se pudo obtener suficientes lecturas, para entender de la mejor manera el pandeo del modelo sometido a compresión.



*Ilustración 21: Esquema del equipo usado para el ensayo de compresión simple. Fuente: TEG: Propiedades estructurales de un sistema prefabricado constituido por paneles tipo sándwich*

## Resultados de los ensayos:

A continuación se presenta una tabla con los resultados correspondientes a los **ensayos de flexión** de los tres primeros paneles, en donde P2 corresponde a la losa ensayada sin junta bajo carga uniformemente distribuida, P3 corresponde a la losa ensayada con junta (a la mitad de la luz) bajo carga uniformemente distribuida y P4 corresponde a la losa ensayada con junta (a la mitad de la luz) sometida a dos cargas concentradas. Los resultados obtenidos se compararon con lo establecido por las normas venezolanas para dicho año (1987).

*Tabla 1: Comparación de parámetros de muestras sometidas a carga de flexión (TEG: Propiedades estructurales de un sistema prefabricado constituido por paneles tipo sándwich)*

Parámetro	Norma COVENIN MINDUR	P2	P3	P4
<b>Carga Máx. (Kg/m<sup>2</sup>)</b>	391,5	456,9	135,0	110,0
<b>M. Flector (Kg-m)</b>	313,1	365,4	108,0	84,0
<b>Flecha (mm)</b>	< 13,0	12,5	> 13,0	> 13,0

Como se puede observar, los modelos ensayados con junta (P3 y P4) presentan baja resistencia a flexión (Valores de carga máxima por debajo de los establecidos por la norma), demostrándose así que este sistema de junta no puede adoptarse para la unión de paneles trabajando como losa de entrepiso.

Se concluye entonces, que las uniones entre paneles para losas sólo se pueden usar en paneles verticales (paredes), ya que no garantizan seguridad en cuanto a poder resistir cargas de servicio, ni soportar momentos máximos admisibles, así como flechas recomendadas. Este tipo de paneles para losas solo pueden ser colocados en los puntos de inflexión (losas apoyadas sobre paredes) para poder garantizar su utilización sin ningún peligro.



Por su parte, los resultados del panel P2 demostraron el comportamiento satisfactorio del panel como losa de entrepiso con la luz estudiada. Siendo válido entonces, asemejar este tipo de estructura a una de concreto armado. Sin embargo, sería incómodo un diseño arquitectónico donde se usen luces menores a las del panel (2,44 m). Es importante mencionar que, las primeras grietas de esta muestra aparecieron para un nivel de carga de  $250 \text{ kg/m}^2$ , en la zona central del panel con dirección casi vertical, abarcando todo el espesor de la capa de mortero inferior de aproximadamente 2,5 cm, estas grietas se incrementaron a medida que aumentaba la carga hasta llegar a una altura que coincidía con la profundidad calculada del eje neutro (a 0,7 cm de la fibra más comprimida) momento en el cual ocurrió la falla por flexión. Para el panel P2 se demostró que, a partir de cierta carga las deformaciones se incrementaron con gran rapidez lo cual es característico de un elemento dúctil.

Analizando lo sucedido con el panel ensayado a compresión pura, se tiene que, no se puede asemejar con muros de concreto armado, ni adoptar la normativa especificada para muros, ya que dicho reglamento establece una carga axial a compresión última ( $P_{nw}$ ) del orden de 22.120 Kg, y la carga última del panel fue de 15.250 Kg. Dejando al lado el efecto de esbeltez, tampoco se pueden determinar las características estructurales del panel para compararlo con una columna corta. Sin embargo, se sabe que, con el modelo de vivienda planteado (usando paneles para losa y paredes) el peso máximo a soportar por área tributaria nunca es mayor a 5.000 Kg. Este valor es menor a la carga última que presentó la muestra en el ensayo a compresión, entonces se concluye que el panel se comporta satisfactoriamente a compresión para soportar el peso de la estructura estudiada.

La falla a compresión produjo un agrietamiento en la parte inferior, apreciándose un pandeo del orden de los 2,52 mm a la mitad de la altura del panel. Con este valor de pandeo y considerando como suposiciones, tomadas del Comité Europeo

del Hormigón (CEB), que el elemento es libre en un extremo y articulado en el otro, se tiene que el valor de carga última es igual a 14.977 Kg, lo cual está muy acorde con el valor de ensayo a compresión, que es de 15.250 Kg. Es decir, tomando en cuenta la longitud de pandeo, se puede predecir o estimar la carga a soportar por el panel trabajando a compresión.

#### **4.2.1.2. TEG: Diseño de Elementos para la Resistencia al Fuego**

Esta investigación fue presentada en 1994 por Alzualde, M. y Zamora, M. bajo la tutoría del Profesor Heimich Valbuena. Aunque el trabajo de investigación se enfoca principalmente en presentar criterios de diseño en elementos estructurales de concreto armado, presenta información de gran utilidad para establecer y comprender parámetros a considerar en la aplicación de la prueba de fuego normalizada a cualquier material. Y adicionalmente medir la capacidad resistente de los elementos después del evento.

Los autores propusieron el método normalizado ISO-834, como método de evaluación de la resistencia al fuego. Esta normativa estipula que el elemento a ensayar se coloque en un horno, bien sea columnas, paredes, puertas, vigas, entre otros. El aumento de la temperatura, se realiza siguiendo la fórmula:

$$\Delta T = T - T_0 = 345 * \log(8*t + 1)$$

Dónde: t= Tiempo expresado en minutos.

T= Temperatura en el horno en un instante "t" expresada en °C

T<sub>0</sub>= Temperatura inicial expresada en °C

Los autores adoptaron el procedimiento de la Norma ISO-834 con las objeciones que a continuación se nombran: no se incluye la fase de enfriamiento, se

consideran en los ensayos tiempos muy superiores a los reales a temperaturas altas, y no se contempla las diferencias de temperatura en las zonas superiores e inferiores de los encerramientos, ya que algunas veces suelen superar los 500°C. En contraparte, los autores tomaron como consideraciones estrictas de la normativa mencionada, las siguientes:

- a) Las condiciones del espécimen en prueba y sus cargas.
- b) Condiciones de calentamiento, según la curva normal ISO-834 de temperatura/tiempo.
- c) Otras condiciones de prueba y observaciones, tales como: capacidad de soporte de carga del espécimen, deformación (deflexión), aislamiento, integridad.
- d) Criterio de falla del espécimen.

Los tópicos planteados para evaluar la respuesta de los materiales ante la acción del fuego son los siguientes: la capacidad de soporte de carga (capacidad de no presentarse fallas durante el tiempo de exposición al fuego bajo las cargas de servicios), la integridad del fuego (que grietas, agujeros y aberturas no permitan el paso de llamas y gases calientes a algún lado no expuesto al fuego) y la capacidad de aislamiento térmico. De este último punto es importante especificar que existen ciertos límites que, el lado no expuesto del elemento, durante el tiempo requerido de exposición al fuego, no debe exceder, estos son:

- a) El promedio de temperatura alcanzada no debe aumentar por encima de la temperatura inicial en más de 140°C.
- b) La diferencia de temperatura entre la máxima temperatura alcanzada en algún punto y la temperatura inicial no debe exceder en más de 180°C.
- c) La temperatura límite aproximada sobre el lado no expuesto no debe exceder los 220°C, respectivamente de la temperatura inicial.

En la investigación realizada, la **resistencia estructural al fuego** es expresada en términos de los tiempos requeridos de exposición y también de acuerdo a la relación normal temperatura-tiempo. El ensayo de resistencia al fuego de un material o elemento constructivo, se lleva a cabo comprobando el tiempo en que se produce la falla en los elementos, catalogándose el grado de resistencia al fuego (F) con el menor valor, más próximo a múltiplo de treinta (30) minutos. Tal planteamiento, se efectúa conforme a la siguiente especificación: F30, F60, F90, F120, F180, F240,... Los autores consideran que, una buena garantía, para que un edificio no colapse, suele estar alrededor de un valor de F cercano a las cuatro horas (F240).

#### **Recomendaciones adicionales para el diseño de elementos estructurales y no estructurales:**

Las recomendaciones se propusieron en referencia a los resultados obtenidos de ensayos hechos en laboratorios, los cuales han suministrado suficiente información sobre los elementos estructurales y no estructurales que conforman una edificación. Estos ensayos se realizaron tomando como base los métodos desarrollados por la ACI, que fueron sustentados en las experiencias de la ASTM, así como de la ISO.

Las recomendaciones a especificar en el actual segmento, son las relacionadas a **paredes no cargadas**, las cuales están vinculadas a los paneles como elementos de construcción. Estas recomendaciones son:

- ✓ Las paredes sólo soportan su propio peso. Sin embargo, ellas deben poder transferir las cargas de viento a los otros elementos estructurales más rígidos.

- ✓ En los casos de incendio, ellas sólo deben satisfacer los requisitos que usualmente son exigidos para paredes y tabiques. Los autores afirman que el CEB recomienda espesores mínimos para paredes de concreto con agregado normal y agregado liviano.
- ✓ Adoptando lo recomendado por el CEB se garantiza que el promedio de la temperatura que se incrementa en el lado no expuesto al fuego, no excede los 140°C cumpliendo lo exigido por la prueba normalizada de fuego.
- ✓ Adicionalmente, tanto el CEB como la ACI, recomiendan que en la determinación del espesor de concreto se incluya una protección adicional, o un recubrimiento apropiado.

Por último, Azualde y Zamora cualitativamente indicaron una clasificación de los materiales de construcción según su comportamiento frente a la acción del fuego, esta categorización es:

- ✓ **Material o elemento “Estable al fuego”**: Suele ser el material más común que satisface los requisitos de estabilidad mecánica y también, al que se le determina la duración de la resistencia en función de la temperatura. Todo esto bajo cargas permanentes o variables. Además, en este tipo de material, se observa sus deformaciones y el momento en que ocurre la falla, obteniéndose su capacidad para resistir las cargas previstas o cualquier otro efecto intermedio.
- ✓ **Material o elemento “Parallamas”**: Tal denominación se asigna, cuando se satisfacen los requisitos de estabilidad mecánica, integridad estructural y de aislamiento térmico hasta un valor determinado. La falla en este tipo de material se evidencia por el paso de las llamas o gases a través de las fisuras o huecos producidos

- ✓ **Material o elemento “Cortafuegos”:** Es aquel material que cumple con las tres propiedades citadas en la categoría de elemento “*parallamas*” y a su vez, con la propiedad de aislamiento térmico requerido, hasta un valor de tiempo determinado. Generalmente en los elementos “*cortafuegos*” se produce la falla en las primeras horas (1 hora, 2 horas,...). Luego de las elevaciones de temperatura en materiales “*cortafuegos*”, la cara no expuesta, deberá corresponder a ciertos límites establecidos de temperatura, de manera que, se evite la ignición de materiales que se encuentren no expuestos.

Los resultados de las tres condiciones explicadas anteriormente indican que, un material puede coincidir con todos los rangos o sencillamente pertenecer a uno solo. Por ejemplo, un elemento podrá clasificarse como cortafuego a las dos (2) horas, *parallamas* a las tres (3) horas y estable al fuego a las cuatro (4) horas. Esto depende de las funciones resistentes y de protección resultantes en la variación del tiempo.

#### **4.2.2. Artículos de Boletines Técnicos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela**

El IMME es un instituto en el cual se realizan constantemente ensayos y estudios para determinar propiedades de los materiales usados para la construcción, conjuntamente con estas actividades también se publican boletines técnicos, estos materiales impresos no sólo sirven de referencia para registrar el diseño, procedimiento y resultados de los ensayos con mayor relevancia que se realizan en dicho lugar, sino que también proporcionan información valiosa para el desarrollo académico y técnico del ingeniero estructural.

Los paneles para la construcción no se escapan de los ensayos que se han realizado en el Instituto. Luego de explorar en los distintos boletines técnicos presentes en la biblioteca del IMME, se ha encontrado uno en particular, en el cual se publica información que sirve de apoyo para complementar el desarrollo del presente objetivo.

#### **4.2.2.1. Estudio Experimental de estructuras de grandes paneles, bajo acción de cargas horizontales alternadas**

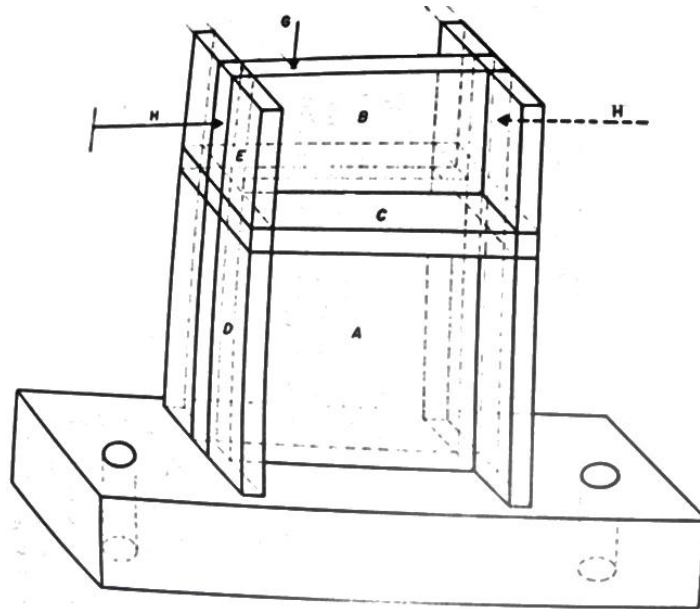
El artículo trata de la Investigación experimental realizada por los ingenieros Pollner, E., Molina, Y. y Spasic B., sobre modelos aplicados a estructuras de grandes paneles bajo la acción de cargas horizontales alternadas, simulando las que se producen por solicitaciones sísmicas. El estudio fue publicado en el Boletín Técnico 54-55, de Abril-Septiembre del año 1976.

##### **Diseño y Descripción de los modelos:**

El modelo estructural de paneles se diseñó lo suficientemente estable para soportar las cargas verticales y horizontales con el margen de seguridad previsto. Se incluyó tipos de juntas similares a las usadas en estructuras que se construyen en Venezuela y que permiten reproducir el estado, nivel y secuencia de esfuerzos que pueden originarse en las estructuras prototipo.

El número de modelos originados fueron cuatro, los cuales estaban montados sobre bases rígidas de concreto armado, ancladas por el Banco Universal de ensayos del IMME. La composición por paneles de cada uno de los modelos fue la siguiente:

Dos paneles superpuestos (con función de alma) constituyeron el elemento principal del muro de corte, con dimensiones: 1,60 m x 1,18 m x 0,09 m. A fin de dar estabilidad al modelo en el sentido transversal, los paneles de alma se empalmaban con 8 paneles de ala con juntas verticales (1,18 m x 0,50 m x 0,10 m). Dos elementos representativos de paneles de losa se unían en la junta horizontal formada entre los paneles superpuestos (1,60 m x 0,5 m x 0,09 m). La diferencia entre los cuatros modelos radicaba en el tipo de juntas, ya que se vaciaban de forma distinta, con materiales diferentes y los armados se lograban, en unos modelos, con simples alambres y en otros con soldaduras. (Ver *Ilustración 22*).



*Ilustración 22: Modelo de paneles superpuestos. Fuente: Boletín Técnico IMME, XIV (54-55)*

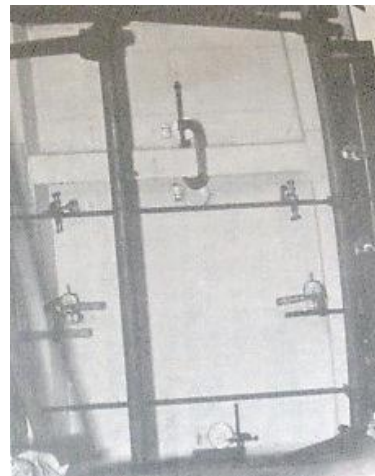
El sistema de cargas se realizó tanto vertical como horizontalmente. La carga vertical se aplicó por medio de un gato Amsler de 50 Toneladas, distribuida con ayuda de un perfil metálico tubular, por su parte, las cargas horizontales se



aplicaron por medio de dos gatos Amsler de 20 Toneladas, en sentidos opuestos y a una altura de 1,45 m de la base.

### **Sistema de Registro de Mediciones:**

El desplazamiento general del modelo en el sentido horizontal fue medido por medio de flexímetros colocados en el centro de las alas del modelo. Con otros flexímetros se medían los deslizamientos a lo largo de las juntas verticales y horizontales. (Ver Ilustración 23). Se colocaron también flexímetros de control, que determinaban el deslizamiento y deformaciones de la base del modelo, sus posibles desplazamientos laterales y movimientos verticales. También se midieron las deformaciones unitarias y distorsiones del panel del alma, y de las juntas verticales.



*Ilustración 23: Registro de Desplazamientos, del sistema de paneles (Izq: Vista Frontal, Der: Vista Posterior). Fuente: Fuente: Boletín Técnico IMME, XIV (54-55)*

### **Descripción de los Ensayos:**

El procedimiento para la realización de los ensayos fue el siguiente:

Se procedió a cargar el modelo con una carga vertical de 45 Toneladas. Luego se aplicaban cargas horizontales de lado este y oeste alternativamente. Estas cargas horizontales alcanzaban valores máximos de 4, 8, 10,..., hasta 20 Toneladas, siendo esta última la capacidad máxima de los actuadores hidráulicos. En los estados de máxima carga horizontal y para carga horizontal nula se hacían las lecturas en los respectivos flexímetros, además el proceso era registrado con un grabador en donde se representaban las cargas horizontales y los valores de la deflexión a la altura del primer entrespacio. A veces se repetían ciclos de carga horizontal alternada, sin lecturas intermedias.

En etapas siguientes de los ensayos se disminuía la carga vertical, y también se variaba la posición del actuador que aplicaba dicha carga para obtener cargas verticales con diferentes excentricidades. De esta forma se lograba el aumento del momento flector proveniente de las cargas horizontales. También a lo largo de los ensayos se observaba el proceso de fisuración e indicios de falla.

### **Resultados de los Ensayos:**

Los análisis de los resultados de los ensayos se hicieron a través de diagramas de fuerza-desplazamiento, registrados de forma continua durante el proceso de carga. La rigidez del modelo se consideró proporcional a los diagramas obtenidos. De los diagramas se concluyó que la rigidez sufre una degradación apreciable a medida que aumenta el número de ciclos de carga, esto se atribuye a la influencia de las zonas traccionadas en las juntas. Además se pone en evidencia la capacidad de disipación de energía, la cual crece con la amplitud de los ciclos. Por último es importante destacar, que en los ensayos se obtuvieron diferentes mecanismos de falla (por flexión en la base, por corte en juntas horizontales y por fisuración diagonal), los cuales son similares a los de una estructura monolítica.

### **4.2.3. Artículos de Boletines Técnicos de otros Institutos de Ensayos Estructurales**

#### **4.2.3.1. Informe Técnico del Laboratorio de Estructuras, del Departamento de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú**

El informe técnico a describir, es una evaluación del comportamiento de un sistema constructivo denominado “M2”, ante diversas acciones de carácter experimental que simulan las cargas sísmicas y de gravedad. La evaluación fue solicitada por la empresa *Paneles y Construcciones PANECON S.A.*, específicamente por el Ingeniero Leonardo Lung Huen. En la realización de las experimentaciones estuvo involucrado un número de ingenieros y técnicos adscritos al laboratorio. Sin embargo, el responsable de la realización del informe fue el Ingeniero Ángel San Bartolomé, quien (para el momento de la publicación del informe) es profesor activo de la Pontificia Universidad Católica del Perú. El informe fue publicado en marzo del año 2009.

#### **Descripción del Sistema:**

El sistema “M2” son paneles de poliestireno expandido, también denominados *Tecnopor*, reforzados por una doble malla de alambre de acero galvanizado, interconectadas entre sí. El sistema es de origen italiano, se ha utilizado incluso en edificios de hasta 4 pisos en más de 30 países. Para formar los muros, las mallas se recubren con una capa de mortero lanzado a presión por un equipo neumático. Según información suministrada por la empresa que produce los paneles, el mortero proporciona rigidez, protección y resistencia al panel, y la malla proporciona ductilidad y resistencia adicional a la dada por el mortero.

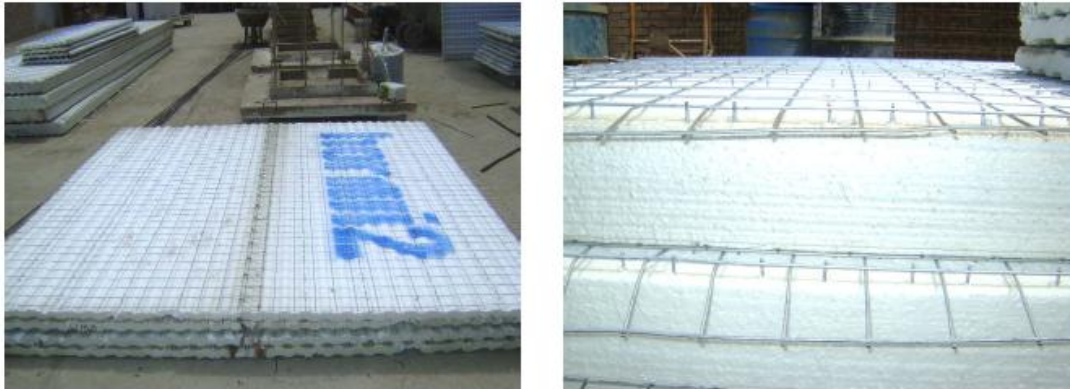
La unión horizontal, de un panel al lado de otro, se hace mediante traslapes de las mallas, mientras que la unión vertical, de un panel sobre el otro se hace mediante espigas (dowells) de acero, desde la fundación.

### **Características de los paneles:**

Los paneles a ensayar como muros, poseen las siguientes características:

- ✓ El ancho es de 1,18 m.
- ✓ La altura es de 2,40 m.
- ✓ El espesor es de 4 cm para el panel sin mortero, y de 10 cm para el panel con mortero, esto incluye la doble malla de acero.
- ✓ El peso promedio para el panel sin mortero es de 3,9 Kg/m<sup>2</sup>, mientras que el peso para el panel con mortero es de 150 Kg/m<sup>2</sup>.
- ✓ El núcleo está constituido por una plancha ondulada de poliestireno expandido.
- ✓ El refuerzo del núcleo es una malla electrosoldada, colocada en cada cara e interconectada entre sí por alambres galvanizados. El diámetro del acero que constituye la malla es de 2,5 mm, el espaciamiento longitudinal entre los alambres de la malla es 7,5 cm y el espaciamiento transversal entre los alambres es de 6,5 cm.

*(Ver Ilustración 24).*



*Ilustración 24: Paneles a ensayar como muros del sistema M2. Fuente: Laboratorio de Estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú*

Los paneles a ensayar como paneles para techos, tienen como características las siguientes:

- ✓ El ancho es igual al caso anterior (1,18 m).
- ✓ El largo es de 5,5 m.
- ✓ El espesor es de 12 cm para el panel sin mortero, y de 20 cm para el panel con mortero, esto incluye la doble malla de acero.
- ✓ El peso promedio para el panel sin mortero es de  $5,7 \text{ Kg/m}^2$ , mientras que el peso para el panel con mortero es de  $200 \text{ Kg/m}^2$ .
- ✓ El núcleo y su refuerzo es igual al caso anterior, la única variante es que el diámetro del acero de la malla electrosoldada es de 3 mm.

*(Ver Ilustración 25).*



*Ilustración 25: Paneles a ensayar como losas de techo del sistema M2. Fuente: Laboratorio de Estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú*

### **Ensayos que se realizaron para la evaluación constructiva y estructural:**

- 1) Ensayo de compresión axial sobre 3 muros (C1, C2 y C3).
- 2) Ensayo de corte coplanar en 3 muros (FC1, FC2 y FC3).
- 3) Ensayo de flexión en 3 paneles para techo (F1, F2 y F3).
- 4) Ensayo de vaciamiento ante carga sísmica perpendicular al plano, para el caso en que el panel de muro sea utilizado como tabique en sistemas aporticados.
- 5) Prueba de carga vertical sobre las losas de un módulo de vivienda de 2 pisos.
- 6) Prueba sísmica en mesa vibradora del módulo de vivienda de 2 pisos.
- 7) Pruebas de control en los componentes del sistema (compresión en el mortero y en el concreto de la losa y cimentación).

Para el objeto del presente trabajo especial de grado, sólo se expondrá la información sintetizada de los primeros tres ensayos, ya que son los que están relacionados a los ensayos a plantear en el manual. Sin embargo, es importante acotar que, para los ensayos 5 y 6 específicamente, se simuló en el laboratorio

una vivienda de dos pisos de 9 m<sup>2</sup> con valor de altura de entrepiso variable. En el informe técnico se explican las diversas fases de esta construcción, por ejemplo, cómo se realizaron las conexiones entre paneles, los refuerzos especiales, el proceso de lanzado y curado del mortero de concreto y el diseño y colocación de la cimentación o fundación como base de la estructura.

### 1) Ensayo de Compresión Excéntrica en Muros:

Se ensayaron a compresión axial tres muros, a una velocidad de desplazamiento vertical de 0,8 mm/min. La carga (P) se distribuyó en toda la superficie del muro, pero el eje del gato hidráulico estuvo desfasado de una de las caras del muro, una distancia igual a la tercera parte de todo su espesor (10 cm), de tal modo que la excentricidad de la carga respecto al eje del muro fue la sexta parte de su espesor.

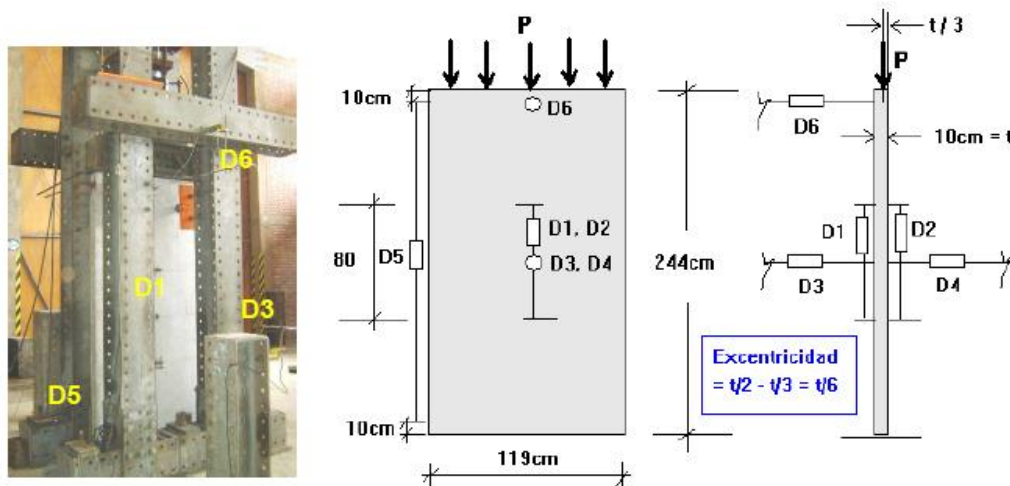


Ilustración 26: Instrumentación para el ensayo de compresión excéntrica en muros.

Fuente: Laboratorio de Estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú

Para la realización del ensayo, se usaron 6 flexímetros, tres midieron la deformación axial (D1, D2 y D5), mientras que los otros tres se utilizaron para observar la estabilidad lateral del panel (D3, D4 y D6). (Ver Ilustración 26). Se

colocaron *polines* (rodillos de madera para aislar un elemento) alejados 2,5 cm de las caras del muro, y se utilizaron como elementos de prevención en caso de que ocurriese alguna inestabilidad lateral del muro o desplazamiento lateral en la base del muro. Estos polines no restringieron la rotación de la base.

### **Comportamiento de los muros a carga axial excéntrica:**

En ninguno de los tres muros ocurrió falla por pandeo, ni separación de las capas de mortero respecto al núcleo de poliestireno expandido. Los tres muros tuvieron fuerte inclinación respecto a la vertical, rotando en la base como sólido rígido. El desplazamiento lateral superior registrado fue prácticamente el doble que el desplazamiento central.

Los muros tuvieron un comportamiento elástico, hasta que se presentó una falla local, manifestada a través de una grieta horizontal en la parte superior de la cara más cargada. Uno de los tres muros usados para el ensayo tuvo mayor cantidad de fisuras por la contracción de secado del mortero. Sin embargo, durante el experimento, se observó que el grosor de estas fisuras se mantuvo constante, por lo que las grietas por contracción de secado no afectaron la resistencia a compresión del muro.

### **Resultados:**

Debido a la gran inclinación que tuvieron los muros, así como por la forma de falla local y la excentricidad de la carga vertical, los desplazamientos verticales registrados por los flexímetros no fueron confiables. Los realizadores del informe intentaron usar los resultados promedios, pero al obtenerse valores distintos se usaron los resultados que se pensaron que eran los más coherentes. En la siguiente tabla se observan los principales resultados expuestos por los autores:



*Tabla 2: Resultados del ensayo de compresión excéntrica en los paneles (Informe Técnico del Sistema Constructivo M2)*

<b>Muro</b>	<b>Estado</b>	<b>P (Ton)</b>	<b>D1 (mm)</b>	<b>D2 (mm)</b>	<b>D3 (mm)</b>	<b>D4 (mm)</b>	<b>D5 (mm)</b>	<b>D6 (mm)</b>
C1	Falla Local	21,09	--	0,526	3,953	3,955	--	--
	Carga Máxima	27,14	--	0,525	7,652	7,700	--	--
C2	Falla Local	29,84	--	0,325	6,566	6,684	--	12,50
	Carga Máxima	43,80	--	0,718	15,10	15,42	--	24,64
C3	Falla Local	38,33	0,441	0,464	--	--	1,137	--
	Carga Máxima	39,47	0,485	0,479	--	--	1,188	--

La carga vertical promedio para la cual se presentó la falla fue de 29,75 Ton, con 29% de dispersión, mientras que la resistencia máxima promedio fue 36,8 Ton con 24% de dispersión. Sin embargo, por la alta dispersión de los resultados, los realizadores del informe técnico aconsejaron no superar la menor carga de agrietamiento, para el muro que menos resistió, la cual fue de 21,09 Ton. Por metro de longitud resulta: 17,72 Ton/m.

La resistencia a carga axial teórica admisible estimada es igual a 9 Ton/m, en el caso de un muro perimetral, la cual es menor a la seleccionada en el ensayo, por lo que, los muros ensayados cumplen satisfactoriamente.

Cabe indicar que, al no haberse ensayado muros a carga vertical centrada, se desconoce el nivel de resistencia a carga axial de los muros interiores de una edificación. Sin embargo, se conoce que esta resistencia es mayor a la resistencia para muros perimétricos (9 Ton/m). El módulo de elasticidad estimado

experimentalmente, con los datos de desplazamiento admitidos fue de 40.000 Kg/cm<sup>2</sup>.

El autor del informe opina que la gran inclinación que tuvieron los muros en el ensayo, se debe, no solo a que la carga vertical era excéntrica, sino a que la base estuvo simplemente apoyada y también, porque no existieron arriostres laterales (excepto en la base). Estas condiciones no se presentan en la realidad, puestos que los muros van conectados a una cimentación de concreto y la losa de techo. Por lo tanto, la carga admisible que se propone utilizar (P=9 Ton/m) para los muros perimétricos es conservadora.

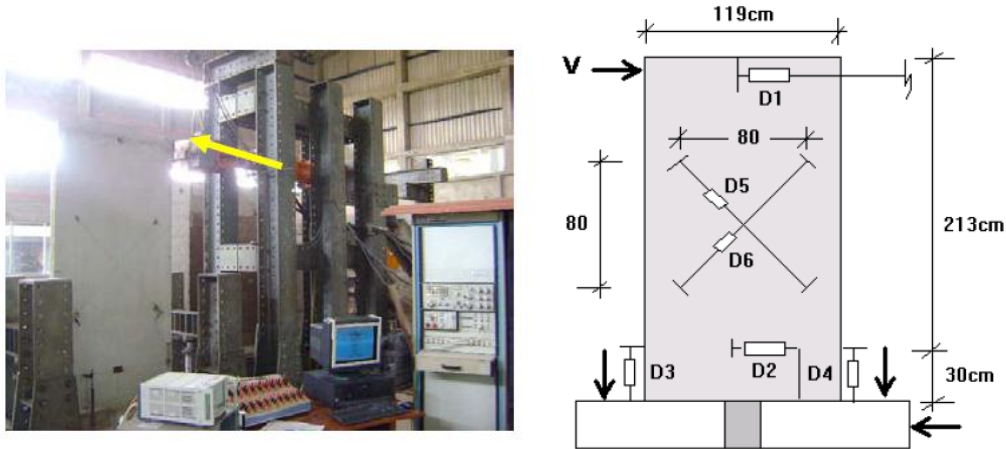
## 2) Ensayo de Corte en Muros:

Tres muros fueron ensayados a carga lateral creciente, a una velocidad de desplazamiento lateral de 1 mm/min. Ninguno de los muros tuvo fisuras por contracción de secado del mortero. Se utilizaron un total de 6 flexímetros, cuyas funciones fueron (*Ver Ilustración 27*):

- ✓ **D1**, medir el desplazamiento lateral y controlar el ensayo.
- ✓ **D2**, medir posibles deslizamientos del muro respecto a la fundación a la cual fue empotrado.
- ✓ **D3** y **D4**, medir las deformaciones por tracción y compresión, respectivamente, del talón.
- ✓ **D5** y **D6**, medir deformaciones diagonales para obtener el módulo de corte.

El ensayo fue dividido en 6 fases, paralizando la carga cada 5 mm de desplazamiento lateral, medido con el flexímetro D1. Durante estas fases, se registró la carga “V” y el desplazamiento “D1”, asociados a la aparición de cada

fisura importante. Las fisuras se marcaron con colores diferentes dependiendo de la fase en donde ocurría, todo ello para facilitar el posterior análisis.



*Ilustración 27: Instrumentación para el ensayo de corte en muros. Fuente: Laboratorio de Estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú*

### **Comportamiento de los Muros:**

Los tres muros ensayados a carga lateral monótonamente creciente, tuvieron una falla por flexión, triturándose ligeramente los talones comprimidos. No se produjo separación entre el núcleo de poliestireno expandido y las capas de mortero. Sólo en una de las muestras se notó un pequeño deslizamiento de la base del muro a la cimentación o fundación proyectada.

### **Resultados:**

A continuación se presentan los resultados de los ensayos, indicándose los valores de los puntos más importantes, como son: la primera fisuración por flexión ("F"), la resistencia máxima ("R") y el inicio de trituración del talón ("T").

*Tabla 3: Resultados del Ensayo de corte en muros (Informe Técnico del Sistema Constructivo M2)*

<b>Muro</b>	<b>Punto</b>	<b>V (Kg)</b>	<b>D1 (mm)</b>
FC1	F	1035	2,54
	R	2840	18,73
	T	2752	19,88
FC2	F	918	2,41
	R	2557	27,20
	T	2368	21,30
FC3	F	1014	1,99
	R	2080	27,63
	T	1958	20,23
Promedio	F	989	2,31
	R	2492	24,52
	T	2359	20,47

El valor estimado de rigidez lateral fue de 428 Kg/mm.

Cabe destacar que, de todos los valores vistos y recopilados en los ensayos, el autor expuso lo siguiente:

- ✓ Los desplazamientos diagonales fueron sumamente pequeños, en la etapa elástica, por lo que no se pudo calcular el módulo de corte experimental.
- ✓ En la etapa inelástica, los desplazamientos diagonales continuaron siendo pequeños, ya que las fisuras encima de la base fueron controladas por la malla electrosoldada.
- ✓ La falla en los muros fue principalmente por flexión, manifestada en grandes desplazamientos verticales en los talones de los muros.

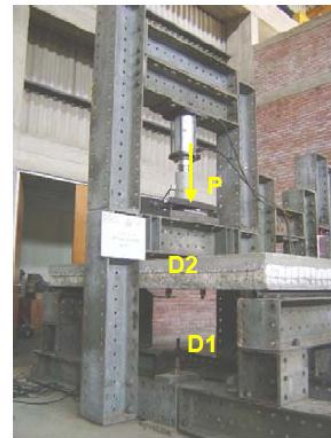
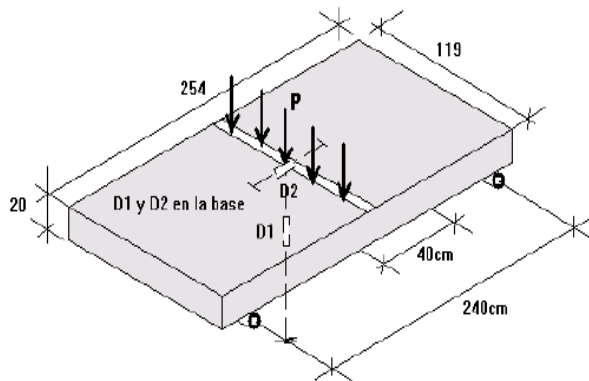
El módulo de elasticidad estimado fue 28.300 Kg/cm<sup>2</sup>. La fuerza lateral asociada al Momento Flector en la Base del Muro (Mcr), calculada teóricamente es de 1.311 Kg, superando en un 32% el valor promedio experimental (989 Kg). La resistencia a flexión se puede apreciar con el Momento Flector Resistente (MR), y luego con la carga lateral asociada a dicho momento (VR), que resultó ser igual a 2.090 Kg.

Este resultado es 16% menor que la resistencia máxima promedio experimental (2492 Kg), lo cual resulta adecuado, ya que el diseño debe ser conservador, aunque coincidió prácticamente con la resistencia del muro FC3 (2080 Kg).

La resistencia a fuerza cortante proporcionada por las 2 capas de mortero es igual a 5.676 Kg. Puesto que es mayor a la resistencia teórica a flexión (2.090 Kg) y mayor a la resistencia teórica en tracción por flexión (1.311 Kg), es de esperarse que primero el muro se fisure en tracción por flexión, para después fallar por flexión, sin que se produzca la falla por corte, secuencia de falla que fue confirmada experimentalmente en el ensayo de carga lateral.

### 3) Ensayo de Flexión de los paneles para losa:

Se aplicó una carga ( $P$ ) en el centro de la luz y repartida en el ancho del panel, la velocidad del ensayo fue de 1 mm de desplazamiento vertical por minuto.



*Ilustración 28: Instrumentación para el ensayo de flexión de los paneles para losa. Fuente: Laboratorio de Estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú*

Se utilizaron dos flexímetros (denominados LVDT), uno mide la deflexión vertical en el centro del panel, mientras que el otro mide el desplazamiento horizontal relativo entre 2 puntos centrales del panel, con miras de detectar el instante en que se produce la primera fisura por flexión y el grosor acumulado de estas grietas. (Ver Ilustración 28). La carga (P) fue medida con una celda de carga.

### Comportamiento de los Paneles:

Se presentaron fisuras en la zona central que corrieron en todo el ancho del panel; conforme se incrementaba la carga, surgieron nuevas fisuras. Las fisuras fueron finas, en todo momento, incluso en la etapa de grandes deflexiones donde se alcanzó la carga máxima.

No se observaron fallas por deslizamiento en la interfaz mortero - núcleo de poliestireno, aunque cabe la posibilidad de que estos deslizamientos hayan sido imperceptibles, o que el núcleo de poliestireno expandido se haya deformado por fuerza cortante. Tampoco se observaron fallas en los apoyos, ni falla por compresión del concreto superior, así mismo, las fisuras no se concentraron en un solo plano. La Falla fue dúctil y por flexión.

### Resultados del ensayo:

*Tabla 4: Resultados de puntos importantes en el ensayo de flexión de los paneles para techo (Informe Técnico del Sistema Constructivo M2)*

Panel	1era fisura		Carga Máxima		Desp. Máximo:		Desp. Permanente:	
	P (Kg)	D1 (mm)	P (Kg)	D1 (mm)	P (Kg)	D1 (mm)	P (Kg)	D1 (mm)
F1	803	4,60	2731	45,34	2627	49,13	0	19,00
F2	707	4,63	2758	43,13	2479	47,32	0	19,00
F3	1073	3,43	2600	25,42	1918	49,38	0	24,33
Prom.	860	4,22	2700	38,00	2340	49,00	0	21,00

El comportamiento de los paneles F1 y F2 fue muy similar, mientras que el Panel F3 se caracterizó por ser más rígido. El autor supone que esto está relacionado con que, los paneles F1 y F2 mostraron fisuras por contracción de secado, hecho que no ocurrió en el panel F3. Sin embargo, la resistencia máxima fue bastante similar en los 3 paneles, obteniéndose en promedio 2.700 Kg, con una dispersión del 3%.

También se observa que la deflexión permanente fue en un 43% de la deflexión máxima, con lo cual, los paneles quedan fuera de servicio luego del ensayo (según normativa Peruana), pese a que las fisuras presentadas fueron muy finas, alcanzando grosores acumulados en una franja de 40 cm, menores que 5 mm.

#### **Estimaciones realizadas:**

Con el panel más rígido (F3), que no presentó fisuras por contracción de secado, se procedió a calcular el Módulo de Elasticidad del elemento, que dió como resultado  $15.360 \text{ Kg/cm}^2$ , lo cual representa un 8% aproximadamente del módulo de elasticidad correspondiente al concreto ( $E_c$ ).

Las probetas de mortero usadas para el recubrimiento de los paneles, se les realizó ensayos de compresión a los 28 días, y resultaron tener un valor de  $f'c$  de  $225 \text{ Kg/cm}^2$ .

Los ingenieros a cargo de la experimentación y validación de resultados, hicieron una estimación del Momento resistente teórico y del momento actuante, que les sirvió para estimar la carga máxima teórica, la cual resultó igual 1.864 Kg, representando un 70 % de la resistencia máxima promedio experimental, lo cual es adecuado ya que el diseño debe hacerse en forma conservadora.

Además de esto, en el informe también se menciona que, producto de que la carga teórica de rotura resultó mayor que la carga teórica de fisuración, teóricamente primero deberían formarse las fisuras en tracción por flexión y después alcanzarse la resistencia máxima. Esta secuencia de falla pudo comprobarse experimentalmente.



### 4.3. ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS PROPUESTOS EN EL MANUAL

Todas las observaciones a colocar en la presente parte del documento están basadas en el ***Manual de Ensayos de Calidad y Resistencia de Paneles para la construcción de viviendas de interés social***, el cual se encuentra al final del documento (*Ver Anexo 1*).

El manual fue proyectado bajo las disposiciones de la Norma COVENIN 2438 y reúne las características de un Reglamento Técnico. Este producto compila ocho (08) ensayos, con un formato preestablecido que facilita la búsqueda y comprensión de datos para el desarrollo satisfactorio de cada una de las pruebas. El contenido presentado en el manual se propone tomando en cuenta varias condiciones del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), para realizar las pertinentes adaptaciones, por lo que se puede decir que es aplicable en este entorno.

Al igual que en el planteamiento de los ensayos contenidos en el manual, el análisis se realizará en el orden en el que están propuestas las metodologías. Sin embargo, antes de hablar de los ensayos, es importante recalcar las condiciones del elemento a ensayar y otros puntos.

Primero que todo, se trata de paneles, como bien se ha definido anteriormente, son elementos prefabricados de forma individual que se colocan modularmente en el interior de una vivienda, principalmente para cumplir funciones de dividir espacios verticales y horizontales. En el manual propuesto se tiene la particularidad de que los ensayos están dirigidos a paneles para paredes o tabiquerías, no obstante, se debe estudiar y comparar con reglamentos y/o normativas la factibilidad de emplear dichos ensayos para otros elementos de la construcción.

Como cualquier elemento individual, los paneles tienen ciertas dimensiones “estandarizadas”, que hacen factible, económico y rápido su proceso de fabricación y producción. En las fábricas venezolanas (que fueron visitadas): VIPANEL e ISOPANEL, los paneles tienen como dimensiones características las siguientes: Largo: 2,44 metros, ancho: 1,20 metros y espesor: 7,5 centímetros.

A pesar de esto, las dimensiones de los paneles como un “**Objeto de Prueba**”, deben estar en correspondencia con el elemento en uso y las condiciones reales de servicio. Por lo tanto, los paneles a ensayar podrán tener cualquier largo que permita que se desarrolle la altura de entrepiso y un determinado ancho para cubrir las luces entre cada columna. Sumado a lo expuesto, el espesor tampoco es una valor constante, ya que depende de muchos factores tales como, la empresa que fabrica el panel, las condiciones constructivas y muy importante la protección del elemento, por lo que, el panel puede llevar o no un recubrimiento de mortero, el cual debe cumplir con las especificaciones de la Norma Venezolana COVENIN 338:2002.

Respecto a la edad se propone un intervalo de tiempo, en el cual deben ser ensayados los paneles, luego de su fabricación, según lo expone la Norma Internacional ASTM E72-05. Es importante acotar que, para la mayoría de los ensayos, se deben ensayar al menos tres paneles, sugiriendo que la cantidad sea mayor a este número en todas las pruebas. Al incorporar las condiciones expuestas, se garantiza que los resultados obtenidos en los ensayos, tengan validez y aplicación en decisiones para mejorar el desempeño del elemento a lo largo de su vida útil.

Sumado a lo expuesto, es importante recalcar que cada uno de los ensayos, a excepción del correspondiente al Ciclo de Calor-Humedad, fueron planteados en base a una o varias normativas internacionales, las cuales serán especificadas en

el momento en que se analice cada uno de ellos. No obstante, en el manual, para cumplir con el patrón de un manual técnico oficial, se nombraron todas las normativas que se usaron en una sección llamada “**Referencias**”, que se encuentra de segunda en el orden de aparición. Las referencias no son sólo normativas, también se hizo referencias a trabajos de investigación, entre los cuales destacan dos que han sido explicados anteriormente en el presente documento. Vale la pena recalcar que la mayoría de las normativas usadas como apoyo no son las más actualizadas, estas se emplearon debido a que no se tuvo acceso a normas vigentes.

La siguiente parte desarrollada en el manual, es la correspondiente a “**Definiciones**”, en donde se precisan ciertas palabras correspondientes a tópicos como: propiedades de los materiales, instrumentos y equipos que no son de uso común en el campo de la construcción, procedimientos en particular, conceptos físicos y químicos, entre otros. Seguido a esto, se explican las “**Notaciones**” que se emplearon en el planteamiento de todos los ensayos, como también las siglas más destacadas.

Una vez que todos estos puntos se han desarrollado, el lector y/o usuario que quiere aplicar los ensayos debe estar claro, no solo del elemento al cual le va a aplicar los métodos, sino del nivel de conocimiento mínimo que debe poseer, ya que la siguiente parte del manual a ser comprendida y más importante, es la correspondiente a los “**Métodos de ensayo**”.

Como bien se explicó en los objetivos del Trabajo Especial de Grado, los ensayos se pueden dividir en tres grupos, éstos son: ensayos para medir las capacidades físicas, ensayos de durabilidad y ensayos de aislamiento. Dichos ensayos fueron seleccionados de acuerdo a la información que proporcionan sus resultados, y a la frecuencia que se usan en laboratorios e institutos afines a la construcción civil,

específicamente el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela. *Ver Anexo 2: FOTOGRAFÍAS DE APLICACIÓN DE LOS ENSAYOS PROPUESTOS.*

Los **ensayos físicos** planteados, engloban en gran parte, la evaluación de la resistencia del panel como tabiquería, ante posibles situaciones donde se debe garantizar, entre otras cosas, la integridad y funcionalidad de este elemento en una edificación.

Dentro de los ensayos físicos, el primero a explicar es el “**Ensayo de Compresión**”. Este ensayo sigue como principio fundamental, determinar el comportamiento del panel ante fuerzas o cargas de compresión, que tienden a disminuir su volumen. Las muestras a ensayar deben ser de la misma naturaleza y deben tener dimensiones lineales iguales, cumpliendo con las especificaciones nombradas en la parte del manual correspondiente a “*Objeto de Prueba*”. El ensayo de compresión se propuso siguiendo principalmente la Norma ASTM E-72 del año 2005, que trata de los métodos de prueba estándar para la realización de Ensayos de Resistencia de los paneles para construcción, específicamente la sección correspondiente a cargas de compresión en paredes. También se siguen algunas indicaciones en cuanto a redacción y equipos a usar de la Norma Venezolana COVENIN 338 del año 2002, que trata del concreto, su método para elaboración, curado y ensayo a la compresión.

Con respecto a los equipos y materiales, estos se encuentran representados a través de un dibujo referencial, en su sección correspondiente dentro del manual. El elemento más importante para la realización del ensayo de compresión es una máquina de ensayos, que puede ser una prensa universal, a la cual se le pueda controlar la velocidad y cantidad de carga a aplicar. Vale la pena recalcar que la propuesta de dicha máquina de ensayo, se realizó basándose en la Norma

COVENIN 338:2002 y la razón o variación de la carga no es un parámetro fijo, ya que viene dada por la capacidad de la máquina y la resistencia del panel. Los esfuerzos no son transmitidos únicamente por la máquina, también es necesario contar con alguna placa de acero que se coloca en el borde superior de la muestra y una viga metálica para garantizar una distribución uniforme. Además de este montaje, son necesarios otros dispositivos que permitirán determinar el comportamiento del panel ante las cargas, estos son: un sistema de medición de deformación longitudinal y dos flexímetros.

Los valores a analizar del presente ensayo provienen de las mediciones de la deformación (a través del micrómetro del sistema de medición de deformación longitudinal) y de la deflexión lateral en la parte media del panel (por medio de los flexímetros). Por cada aparato que se usa para medir, se tiene una serie de valores, los cuales, para cada período de carga se deben promediar y así obtener una serie de valores representativos del panel. Como se deben ensayar mínimo tres paneles para que la prueba sea válida, los valores obtenidos por cada panel se deben promediar entre sí y será el valor característico de esa serie de paneles. Sin embargo, de igual manera se deben reportar todas las mediciones realizadas a través de cada elemento para cada instante de tiempo.

Se propone reportar como resultados, lo siguiente: la carga máxima soportada por la muestra, su deformación y deflexión asociada, también la carga al momento de la aparición de la primera fisura, sí en el ensayo se usó mortero de concreto como material para la protección, de manera que se pueda estudiar la capacidad de este material. De igual manera, para entender el comportamiento de la muestra a lo largo del proceso de carga, es necesario visualizar a través de tablas y gráficas los valores de carga comparados con los valores de deformación y contrastados con los valores de deflexión.

Los paneles ensayados bajo los criterios anteriormente expuestos, no deben ser rechazados ni aceptados según algún rango establecido, ya que para cada situación constructiva o para cada tipo de vivienda, se requerirá que un panel tenga cierta capacidad para resistir cargas de compresión, esto dependerá del análisis de carga por área tributaria que soportaría el panel en sus condiciones de servicio, en donde la carga máxima del ensayo debe ser mayor a la carga real a soportar, y así el panel se considere satisfactorio.

El siguiente ensayo físico, que se expone en el Manual es el “**Ensayo de Flexión**”, a través de este método se desea conocer la capacidad que tiene el panel para resistir la flexión o su deformación máxima cuando es sometido a la acción de una fuerza perpendicular a su eje longitudinal. Al igual que el caso anterior, los paneles pueden cumplir con las recomendaciones previstas en la sección de “*Objeto de Prueba*”, pero las dimensiones deben satisfacer las condiciones de servicio a las cuales estará sometido el panel.

La norma que se siguió para la propuesta del presente ensayo es la Norma ASTM E-72 del año 2005, que trata de los métodos de prueba estándar para la realización de Ensayos de Resistencia de los paneles para construcción, específicamente la sección correspondiente al ensayo de carga transversal. Se toman además, los criterios para clasificación de paneles, según los resultados del ensayo, de la Norma Colombiana ICONTEC 2446: Paneles prefabricados: Clasificación y Requisitos.

Debido a sugerencias por expertos en el área, el ensayo se ha planteado de dos maneras: con la muestra colocada verticalmente, para simular la condición de servicio del panel como tabiquería y con la muestra posicionada horizontalmente, como alternativa para facilitar el ensamblaje del ensayo (para esta situación se debe considerar que el peso propio también ejerce acción en la carga), en caso de

que no se pueda realizar con la muestra verticalmente. En la sección de *Materiales y Equipos* del ensayo en cuestión, existen dos figuras del ensamblaje del equipo a usar para cada caso, del cual se puede apreciar los instrumentos y materiales necesarios.

Del ensayo con la muestra vertical, es importante recalcar el instrumento que sirve para proporcionar la carga, el cual es un gato mecánico o hidráulico con su respectivo sistema de registro. A través de éste, la carga se aplica gradualmente al panel posicionado en forma vertical y además se usa una viga metálica para distribuirla. Para medir el desplazamiento del panel o la flecha, se coloca un flexímetro en cada borde vertical, específicamente en la parte central.

Con respecto al ensayo con la muestra colocada horizontalmente, los materiales que se usan para suministrar la carga son planchas de acero u otro material, con determinadas dimensiones y peso conocido, los cuales deben ser colocados sobre dos vigas metálicas que van sobre los respectivos rodillos de trasmisión. Estas planchas deben permitir que la muestra se deforme por cada capa colocada hasta que alcance su rotura, de manera que se puedan tomar las respectivas mediciones de carga y deflexión.

Para ambos casos, la diferencia entre las lecturas iniciales y luego de la aplicación de la carga, medidas por cada flexímetro, será la deflexión final o flecha del panel. Estos valores se promedian para cada muestra, y luego se realiza el promedio de los paneles ensayados. Como resultados se pide presentar la carga máxima de cada muestra con la flecha arrojada y la carga al momento de la primera fisura (si tiene mortero de recubrimiento), también es necesario hacer los gráficos y tablas de Carga versus Deflexión lateral (Flecha), primero correspondiente a cada flexímetro, y luego a cada muestra, para representar el comportamiento a lo largo del ensayo.

De acuerdo al valor de carga máxima y su respectiva flecha, los paneles se pueden clasificar según ciertos grados o sub-gradados, estos son tomados de la Norma Colombiana ICONTEC 2446 para ordenar los datos obtenidos y usarlos de referencia en algún panel similar. Estos parámetros no permitirán descartar o aceptar los paneles, debido a que las cargas de flexión no son habituales y exigentes en paredes cuando están en estado de servicio.

El tercer y último ensayo de tipo físico es el “**Ensayo de Impacto**”, este se planteó tomando como referencia la Norma ASTM E-695 del año 1979, la cual se denomina: método estándar de medida de la resistencia relativa a carga de impacto de paredes, pisos y techos de construcción. También se toman los criterios para clasificación, según los resultados del ensayo, de la Norma Colombiana ICONTEC 2446: Paneles prefabricados: Clasificación y Requisitos.

El ensayo de impacto se aplica para evaluar el desempeño relativo de paredes bajo condiciones representativas en estado de servicio, cuando están sometidas a impactos de objetos pesados. Las muestras a ensayar, las cuales deben ser mínimo tres, deben cumplir con los mismos requerimientos que se han venido nombrando.

Al igual que en las dos pruebas anteriores, acá se muestra una figura con un ensamblaje del equipo a usar para el ensayo, del cual, el elemento más importante es la bolsa de impacto y el marco que la sostiene, vale la pena recalcar que se explica de forma detallada este instrumento, debido a que así lo dispone la norma ASTM E-695 del año 1979. Los equipos y materiales que se exponen para la aplicación de la carga corresponden a la muestra colocada verticalmente. Básicamente la bolsa de impacto se compone externamente por cuero y en su interior tiene perdigones de plomo. Está bolsa impacta a la muestra desde ciertas alturas establecidas. Además de estar apoyada, la muestra también tendrá



instalado en su parte central un micrómetro el cual es colocado horizontalmente para medir la deflexión producto del impacto de cada golpe. El procedimiento el cual tiene un nivel de detalle, mayor al que acá se discute, se encuentra explicado en el manual.

Adicional al método aplicado para la muestra en posición vertical, se proporciona el método asociado a la muestra colocada en posición horizontal, por las mismas razones explicadas en el ensayo de flexión. Los instrumentos y el equipo de impacto son similares al ensayo descrito, para la muestra vertical. Sin embargo, se debe particularizar el procedimiento a la nueva posición, y existen algunas modificaciones poco relevantes a tomar en cuenta, que se encuentran explicadas en el manual, para lograr que los resultados obtenidos por ambos procedimientos no difieran fuertemente entre sí.

Los resultados que se desean conocer del ensayo, para ambos casos, son los correspondientes a la deflexión lateral en la parte media del panel, para cada golpe y la deflexión final, de igual manera la energía potencial disipada en dichos instantes (de manera que se pueda asociar la altura de caída y la deflexión lateral). También se deben reportar valores como el peso total de la bolsa de impacto, determinadas alturas de caída, gráficas y tablas de la Deflexión lateral comparada con la altura de caída y la Energía Potencial. El panel se considerará satisfactorio sí cumple con una serie de requisitos que son tomados de la Norma Colombiana ICONTEC 2446.

Los siguientes ensayos propuestos en el manual son los **ensayos de durabilidad**, los cuales abarcan la evaluación de la calidad y la resistencia de los paneles. Este grupo de ensayos tiene por objeto establecer una predicción acertada en el comportamiento del panel ante el desgaste al pasar el tiempo o ante una eventualidad particular como la ocurrencia de un incendio.

El ensayo de reacción al fuego, el cual pertenece a este grupo de ensayos, se aplica de dos maneras, por medio del uso de un horno, o cuando se somete a la acción directa de la llama. Se propone estos dos métodos de manera que se pueda diferenciar cuáles son los resultados ante cada una de las dos situaciones.

El primer ensayo de durabilidad propuesto, se denomina **“Prueba de fuego por medio del uso de un horno”**, este método busca describir las condiciones ambientales y del panel después de someterse a una variación controlada de temperatura (por un tiempo determinado), y luego registrar los efectos de impacto, erosión y enfriamiento de una manguera de flujo de agua. El método fue propuesto siguiendo las indicaciones de la Norma ASTM-E119 del año 1981 que trata de los métodos de prueba de fuego de materiales de construcción, de dicha norma se siguen todos los alineamientos, a excepción de las condiciones de aceptación, en donde se toman únicamente las relacionadas a paredes y particiones no cargadas. Los paneles sometidos a ésta prueba de fuego deben poseer características correspondientes a las condiciones de servicio, y como se ha venido acotando, se deben ensayar al menos tres muestras, para que la prueba sea válida.

El principal lineamiento que rige la prueba de fuego es una curva de Tiempo versus Temperatura teórica o estándar, de la cual, un cierto porcentaje sirve para conocer la cantidad de calor que se le debe aplicar a una cara de la muestra, a través de un horno quemador, que debe cumplir con ciertas características de horno de laboratorio de ensayos. Las mediciones de temperatura en los distintos intervalos de tiempo propuestos en el método, se realizan con dispositivos tales como termocuplas o termómetros, los cuales se colocan tanto en la cara expuesta al calor como en la cara expuesta a la temperatura del ambiente. La prueba no sólo consiste en la aplicación de fuego sino que también incluye el impacto de un flujo de agua a través de una manguera durante un cierto tiempo. Esto se propone

para simular las condiciones del panel durante de la ocurrencia de un incendio y después de su extinción.

Existe una corrección del tiempo de exposición al calor, que se hace para compensar el retraso térmico de las termocuplas del horno (dispositivos medidores de temperatura). Con ésta corrección se podrá conocer de forma certera el verdadero tiempo al cual debe estar sometida la muestra bajo un intervalo de la Curva estándar de Tiempo-Temperatura.

Entre los parámetros que pueden describir el comportamiento del panel ante la prueba de fuego destacan; su deformación, desprendimiento, agrietamiento y temperatura, todo esto asociado con la continuidad de la llama y la producción del humo. Una vez medidos y conocidos estos valores, la muestra se considera aceptable, sí se cumple lo siguiente: no se produce transmisión considerable de calor en la cara no expuesta, no se generan aperturas luego del impacto de la manguera de agua y la temperatura en la cara no expuesta no excede cierto valor con respecto a la temperatura inicial.

Como se mencionó anteriormente, para evaluar la capacidad de resistencia al fuego de un panel, también se propone el **“Ensayo de reacción al fuego bajo la acción directa de la llama”**. A través de este ensayo se persigue determinar la inflamabilidad de elementos de construcción, mediante la aplicación directa de una llama pequeña, con radiación nula y utilizando muestras en posición vertical. El método se formula de acuerdo a las disposiciones de la Norma Española UNE-EN ISO 11925-2 del año 2002, la cual se denomina: Ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción. Parte 2: Ensayo con una fuente de llama única.

Esta prueba tiene como particularidades que, se ensaya con un mínimo de seis muestras y éstas deben tener dimensiones específicas, las cuales son

considerablemente menores a las de fabricación de un panel. Esto se debe a requerimientos de los aparatos y equipos planteados en la norma UNE-EN ISO 11925-2:2002. Cumplir con estos requisitos puede ocasionar alteraciones en los resultados reales que se buscan, ya que existe la posibilidad que se tomen partes del panel no representativas.

La mayoría de los equipos sugeridos para la ejecución del ensayo se deben ensamblar previamente a la realización del mismo de forma correcta y cuidadosa, ya que no están prefabricados y pueden representar fuentes importantes de error. Adicionalmente, se debe tomar en cuenta que la fuente de calor viene dada por un combustible que actúa a través de un quemador con características particulares. En el manual se exponen explicaciones e imágenes que refuerzan el entendimiento de la instrumentación y procedimientos.

De este ensayo se desea conocer el efecto de la ignición en el elemento bajo ciertas mediciones y caracterizaciones visuales, de manera que se decida si la muestra se acepta, se rechaza o se someta a pruebas adicionales que complementen su comportamiento.

Es importante recalcar que, en las pruebas de fuego, existe la posibilidad de que se generen humos y gases potencialmente tóxicos, por lo que todo el personal relacionado con la gestión y realización de dichos ensayos, debe tener en cuenta la peligrosidad que estos representan. También pueden surgir riesgos operativos durante el ensayo de las muestras y la disposición de los residuos de los ensayos.

El tercer y último ensayo que se plantea para evaluar la durabilidad de un panel, es el correspondiente al **“Ciclo de calor-humedad”**. Para este ensayo no se emplea una normativa internacional, ya que por los medios consultados no se acertó con alguna prueba que siguiera el objetivo del ensayo. Sin embargo, el

método se plantea según los procedimientos que se realizan comúnmente en el IMME. El principio de esta propuesta persigue 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.

Al igual que le prueba anterior, en este método se usan muestras con menor tamaño respecto al real, esto debido a las dimensiones del horno. Se debe cuidar que el proceso de selección y muestreo se lleve adecuadamente, para evitar alteraciones en los resultados. El montaje para la realización de la prueba es de sencilla instalación y además no presenta limitante alguna para su aplicación en el IMME. La variación del espesor, peso y apariencia de la muestra, son parámetros a determinar en esta prueba, por lo que se deben realizar mediciones y observaciones antes y después de cada ciclo de inmersión y secado.

El panel se considera adecuado si el espesor y peso de la muestra no varían en un  $\pm 5\%$  y su apariencia física se encuentra dentro de los límites establecidos por el cliente o los responsables del ensayo. Se considera que el método planteado puede llegar a ser un tanto subjetivo, ya que depende de los criterios de un observador para determinar la apariencia del panel, por lo que se cree necesario darle igual importancia a la medición del espesor y peso, para posteriores análisis.

Los **ensayos de aislamiento** son los últimos que se exponen en el manual. Estos ensayos buscan determinar la calidad y nivel de confort que puede proporcionar el panel, en el ambiente o cerramiento del cual forman parte. Los métodos que a continuación se plantean, son básicamente descriptivos al ser comparados con los ensayos propuestos anteriormente.

El **“Ensayo de Aislamiento Térmico”** es el primer ensayo a describir dentro de este grupo. Se plantea según disposiciones de la Norma Internacional ISO 9869

del año 1994, que trata de las mediciones de la resistencia y transmisión térmica en elementos de construcción. El ensayo planteado persigue como objetivo determinar las propiedades de resistencia y transmisión térmica del panel, por medio de la medición del flujo de calor en transferencia perpendicular, a través de él. Las muestras a ensayar deben seguir lo propuesto en la sección de *Objeto de Prueba* y representar las condiciones de servicio.

El método se desarrolla básicamente por medio de un medidor de flujo de calor, el cual sirve para la medición de resistencia y transmisión térmica del elemento. En el manual se muestra un esquema de la situación en donde se aprecia el posicionamiento del aparato y los demás complementos que permitirán medir los parámetros necesarios para establecer un estudio del panel. La transferencia de calor en la cara expuesta se tiene previsto realizarla por convección y se exige que la temperatura se mantenga estable durante la realización del ensayo. Esta condición aunque sea difícil de lograr es necesaria para validar la prueba. Debido a que en Venezuela, específicamente en Caracas, la temperatura no permanece constante en las fases del día, se propone que la muestra sea aceptada cuando la variación de la temperatura esté en el rango de  $\pm 3^{\circ}\text{C}$ .

Gracias a los valores de la tasa de flujo de calor proporcionados por el respectivo medidor, determinadas mediciones de temperatura y áreas y a través de una serie de ecuaciones, se calcula la resistencia al calor (R), transmisión térmica (U) y la conducción térmica ( $\Delta$ ), los cuales serán los reportados a título informativo, ya que, por medio de este método no se busca rechazar o aceptar alguna muestra, simplemente se determinan ciertos valores para satisfacer necesidades del cliente y se anuncia sí lo obtenido influirá en el confort de la vivienda.

El último ensayo planteado en el manual y en este grupo, es el **“Ensayo de Aislamiento Acústico”**, el cual se formula por medio de partes de la norma UNE-EN ISO 140 del año 1994, dicho reglamento se titula: medición del aislamiento acústico en los edificios y los elementos de construcción. Las partes usadas son: 1: Requisitos de las instalaciones del laboratorio sin transmisiones indirectas, 3: Medición en laboratorio del aislamiento acústico al ruido aéreo de los elementos de construcción y 10: Medición en laboratorio del aislamiento al ruido aéreo de los elementos de construcción pequeños.

El ensayo planeado tiene como objetivo medir el índice de reducción acústica  $D_{n,c}$ , propia del tipo de panel en estudio, entre una sala de emisión y una de recepción. Para esto, se requiere de una pared con suficiente aislamiento acústico que separe las dos salas y que tenga una abertura aproximadamente igual al tamaño del panel, en donde se insertará. Como es de esperar, en este tipo de prueba, se emite un ruido medido con cierta periodicidad en la cámara emisora, que se capta en la cámara receptora.

Con las presiones acústicas y ciertas áreas medidas, se puede calcular el índice de aislamiento acústico. Estos parámetros serán reportados a título informativo, ya que con este ensayo no se busca rechazar o aceptar alguna muestra, sino determinar ciertos valores para satisfacer necesidades del cliente y se informa si lo obtenido influye en el confort de la vivienda.

La parte final del manual está compuesta por una serie de **“Anexos Informativos”**, a través de los cuales se puede visualizar imágenes referenciales respecto al objeto a ensayar, instrumentos, dispositivos, maquinarias a usar y determinados diagramas de funcionamiento. Estos anexos se ilustran con el fin de complementar el entendimiento de cada uno de los ensayos.

Adicional a lo expuesto anteriormente, y para complementar la información, se muestra una lista de las principales adaptaciones o propuestas que se realizaron en el planteamiento de los ensayos (con respecto a las normativas internacionales usadas), para que sean aplicables a las condiciones de Venezuela y, particularmente, a las del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), éstas son:

**Ensayo de Compresión:**

- ✓ Propuesta de la prensa universal, como equipo para proporcionar la carga de compresión.
- ✓ Velocidad de carga tal que, se garantice como mínimo, obtener entre 10 y 15 lecturas de deformación del panel.

**Ensayo de Flexión:**

- ✓ Sistema de registro de cargas (para la muestra en posición vertical), ya que en la normativa internacional se propone un dinamómetro de anillo para mostrar las cargas.
- ✓ Propuesta de realizar el ensayo con la muestra en posición horizontal, como alternativa para medir la flecha en elementos de tabiquería, ante cargas de flexión.
- ✓ Planchas de acero para proporcionar la carga (para la muestra en posición horizontal).

**Ensayo de Impacto:**

- ✓ Incrementos de altura de caída en múltiplos de 10 cm (para paneles muy rígidos) y 5 cm (para paneles menos rígidos). En la normativa empleada se presentan múltiplos de 15,2 cm.



- ✓ Propuesta de realizar el ensayo con la muestra en posición horizontal, como alternativa para medir la deflexión lateral en elementos de tabiquería, ante cargas de impacto.

**Prueba de fuego por medio del uso de un horno:**

- ✓ Horno quemador que proporcione calor, al menos a una temperatura de 300°C. En la norma utilizada para apoyar la propuesta del ensayo, no se especifica el rango de trabajo del horno.

**Ensayo de reacción al fuego bajo la acción directa de la llama:** No presenta adaptaciones relevantes. Esta prueba no se ha realizado en el IMME, por lo que pueden surgir adaptaciones posteriores una vez que se sigan los procedimientos planteados en el manual.

**Ensayo de ciclo de calor-humedad:** Este ensayo se propone de acuerdo a procedimientos realizados en el IMME, razón por la cual no existe adaptaciones a dicho recinto.

**Ensayo de Aislamiento Térmico:**

- ✓ Estabilidad de la temperatura a lo largo del ensayo, con una variación de  $\pm 3^\circ\text{C}$ . En la norma consultada, no se propone un rango de variación de temperatura.

**Ensayo de Aislamiento Acústico:**

- ✓ Dimensiones del panel a ensayar: la normativa internacional propone dimensiones más pequeñas a las que usualmente se fabrican en Venezuela.
- ✓ Especificaciones de medidores de ruidos, las cuales no se encontraban explícitamente en la norma consultada.

***CAPÍTULO V:***  
***CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES***

## 5.1. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos establecidos y a la metodología aplicada en la presente investigación, se ha llegado a un conjunto de opiniones que engloban las conclusiones relacionadas al planteamiento del ***manual de ensayos de calidad y resistencia de paneles para la construcción de viviendas de interés social***. Estas conclusiones son:

**5.1.1.** Se puede indicar que los paneles son una excelente alternativa en el sistema constructivo de viviendas de interés social, debido a que están asociados a una solución económica, sustentable, de rápida y sencilla instalación, presentando una calidad competente comparada con otras opciones.

**5.1.2.** Aunque se han realizado algunos estudios sobre ensayos aplicados a los paneles, se evidencia, a través de la investigación de documentos relacionados al caso, la ausencia de publicaciones nacionales que los registre de manera sistemática.

**5.1.3.** Existen investigaciones en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, realizadas entre 1975 y 1990, en las cuales se han desarrollado ensayos de flexión y compresión para paneles usados como tabiquería y losas en viviendas.

**5.1.4.** En Perú se han desarrollado ensayos y estudios de paneles usados como miembros de una vivienda que han arrojado resultados favorables, pudiéndose establecer una comparación de éstos con muros, losas de entrepiso y losas de techo de concreto armado.

**5.1.5.** Los ensayos planteados en el manual fueron seleccionados de acuerdo a la frecuencia que se usan en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela (UCV) y a la información que proporcionan sus resultados.

**5.1.6.** Para el planteamiento de los ensayos se utilizaron normativas internacionales no vigentes provenientes de la ASTM, ISO e ICONTEC, adaptadas a las condiciones constructivas de nuestro país. También se usaron trabajos investigativos y métodos aplicados previamente en el IMME.

**5.1.7.** Aunque no existe alguna adaptación fiel a normas internacionales, los ensayos físicos y el correspondiente al ciclo de calor-humedad fueron adecuados casi totalmente a las condiciones del IMME, debido a que se han ejecutado previamente y se han obtenido resultados satisfactorios. El resto de los ensayos se plantearon siguiendo rigurosamente las normativas, salvo algunas modificaciones leves que se aplicaron producto de las condiciones constructivas de Venezuela.

**5.1.8.** Los ensayos físicos permiten evaluar la resistencia del panel, ante determinadas situaciones de servicio, en donde se debe garantizar la integridad y funcionalidad de éste elemento en una edificación.

**5.1.9.** El ensayo de compresión persigue como fin, determinar la deformación longitudinal del panel y la deflexión lateral en la parte media, luego de que han sido aplicadas cargas de compresión, por medio de una máquina de ensayos y otros elementos.

**5.1.10.** En el ensayo de flexión se requiere de un dispositivo (mecánico o hidráulico) para ejercer fuerzas perpendiculares al eje longitudinal del panel, de

manera que se produzcan deformaciones en la parte media de la muestra y se pueda determinar la ductilidad del panel o su capacidad para resistir la flexión.

**5.1.11.** A través del ensayo de impacto se desea conocer el comportamiento de un panel cuando está sometido a los golpes controlados de objetos pesados. Los resultados de la prueba se ven reflejados en la deflexión lateral de la parte media del panel producto de la descarga de determinada energía potencial.

**5.1.12.** Los ensayos de durabilidad tienen como objetivo establecer una predicción acertada del comportamiento y la resistencia de los paneles ante el desgaste o ante una eventualidad particular.

**5.1.13.** El ensayo de fuego por medio del uso de un horno de laboratorio, tiene como alcance conocer las condiciones del panel, producto de una variación controlada de temperatura y luego de someterse a los efectos de impacto, erosión y enfriamiento de una manguera de flujo de agua.

**5.1.14.** Lo que se persigue determinar en una muestra que se ensaya bajo la acción directa de una llama, es su inflamabilidad y variación en su apariencia producto de la aplicación del fuego.

**5.1.15.** A través del ciclo de calor-humedad se determina la resistencia del panel a la desintegración o desagregación, al estar sometido a cinco o más ciclos sucesivos de inmersión en agua y secado.

**5.1.16.** Los ensayos de aislamiento buscan determinar la calidad y nivel de confort que puede proporcionar el panel, en el ambiente o cerramiento del cual forman parte.

**5.1.17.** En el ensayo de aislamiento térmico se busca comprobar las propiedades de resistencia y transmisión térmica de un panel, por medio de la medición del flujo de calor por convección que se transmite de forma perpendicular, a través de la muestra.

**5.1.18.** El principio que sigue el ensayo de aislamiento acústico es la medición del índice de reducción acústica, entre dos salas separadas por un panel, por medio de equipos de transmisión y control de ruido.

**5.1.19.** El manual que se propone no persigue una normalización u obligatoriedad de su uso. Sin embargo, contiene los requisitos técnicos por referencia, de otras normas y por lo tanto puede ser denominado *Reglamento Técnico*, según disposiciones de la Norma COVENIN 2438.

**5.1.20.** El contenido presentado en el manual, se muestra a través de un formato preestablecido, que facilita la búsqueda y comprensión de datos para el desarrollo satisfactorio de cada una de las pruebas.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

Las sugerencias más importantes que nacieron del planteamiento del manual, son:

**5.2.1.** El presente Trabajo Especial de Grado es de tipo investigativo y no experimental, debido a esto, la recomendación inherente es efectuar los ensayos planteados bajo los lineamientos propuestos en el manual, para corroborar la aplicabilidad del mismo en el entorno para el cual fue diseñado. Así como también, contrastar los resultados esperados de forma teórica con los arrojados en la práctica, de manera que se corrijan los posibles errores que pueda presentar el manual, y se acentúen las premisas expuestas en el mismo. Adicional a esto, se recomienda establecer los materiales, equipos y precauciones necesarias para garantizar las condiciones mínimas de seguridad industrial en el recinto de aplicación de ensayos.

**5.2.2.** Para extender los alcances de la investigación, se recomienda divulgar la aplicación del manual, una vez realizadas las correcciones que hayan sido necesarias, a los diferentes organismos, institutos y profesionales afines a la construcción civil, de manera que se comience a estandarizar la aplicación y reporte de resultados de estos ensayos. Posterior a esto, se recomienda presentar el manual como propuesta de normativa ante las organizaciones y autoridades competentes.

**5.2.3.** Se recomienda continuar con la presente línea de investigación, aumentando la cantidad de ensayos adaptados a las condiciones actuales, así como también ampliar el estudio a paneles como elementos usados para fines diferentes de tabiquería, como por ejemplo: losas, techos, paredes cargadas, entre otros. Esta recomendación se hace, ya que se considera que los paneles son

alternativas eficientes para la construcción, que carecen de conocimiento público y requieren lineamientos nacionales para ensayarlos y usarlos.

**5.2.4.** De manera que se pueda seguir abordando la línea de investigación de ensayos de materiales, se requiere poner en disposición para consulta normas más actualizadas en bibliotecas de la universidad, de manera que los planteamientos a realizar estén acordes con las tecnologías del momento.



## REFERENCIAS

### A. Fuentes impresas:

#### A.1. Libros:

##### A.1.1. Un autor:

Arias, F. (2004). *El Proyecto de Investigación, Introducción a la metodología científica*. (4<sup>ta</sup> ed.). Caracas: Editorial Episteme.

Hibbeler, R. (2006). *Mecánica de materiales*. (6<sup>ta</sup> ed.). Madrid: Editorial Pearson Educación.

Plazola, A. (2002). *Arquitectura habitacional, Volumen 2*. (5<sup>ta</sup> ed.). Ciudad de México: Editorial Limusa.

##### A.1.2. Más de un autor:

Porrero, J.; Ramos, C.; Grases, J. & Velazco, G. (2008). *Manual del Concreto Estructural*. (2<sup>da</sup> ed.). Caracas: Editorial SIDETUR.

##### A.1.3. Autor institucional:

Instituto Nacional de la Vivienda (1991). *La Vivienda Social y Urbana en Venezuela*. Caracas: INAVI.

#### A.2. Artículos:

##### A.2.1. Artículos en libro compilado:

Pollner, E.; Molina, Y. & Spasic, B. (1976). Estudio Experimental de estructuras de grandes paneles, bajo acción de cargas horizontales alternadas. *Boletín Técnico IMME, XIV* (54-55), p. 59-100. Caracas: Universidad Central de Venezuela.

### **A.3. Trabajos académicos:**

#### **A.3.1. Trabajos de Grado:**

Alzualde, M. & Zamora, M. (1994). *Diseño de Elementos para la Resistencia al Fuego*. Caracas: Ingeniería Civil – Universidad Central de Venezuela.

Herrera, J.; Peña, M. & Sánchez, E. (1987). *Propiedades Estructurales de un Sistema Prefabricado constituido por paneles Tipo Sándwich*. Caracas: Ingeniería Civil – Universidad Central de Venezuela.

### **A.4. Otros documentos impresos:**

#### **A.4.1. Informes técnicos:**

Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad Central de Venezuela. (2009). *Informe Técnico No. 3111*. Caracas: Autor.

Laboratorio de Estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú. (2009). *Evaluación Experimental del Sistema Constructivo “M2”*. Lima: Autor.

#### **A.4.2. Normas / Documentos legales:**

Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto. (2002). *Norma Venezolana COVENIN 338:2002*. Caracas: Comisión Venezolana de Normas Industriales.

Ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción. Parte 2: Ensayo con una fuente de llama única. (2002). *Norma Española UNE-EN ISO 11925-2:2002*. Madrid: Una Norma Española.

Ley de Reforma Urbana. (1989). *Decreto Nacional de la República de Colombia, 38650, 11-01-89*.

Ley del Régimen Prestacional de Vivienda y Hábitat. (2008). *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 5889 (Extraordinaria), 31-07-08*.

- Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Requisitos de las instalaciones del laboratorio sin transmisiones indirectas. (1994). *Norma Española UNE- EN ISO 140-1:1994*. Madrid: Una Norma Española.
- Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 3: Medición en laboratorio del aislamiento acústico al ruido aéreo de los elementos de construcción. (1995). *Norma Española UNE- EN ISO 140-3:1995*. Madrid: Una Norma Española.
- Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 10: Medición en laboratorio del aislamiento al ruido aéreo de los elementos de construcción pequeños. (1994). *Norma Española UNE- EN ISO 140-10:1994*. Madrid: Una Norma Española.
- Normalización y Actividades Relacionadas. Vocabulario General. (1996). *Norma Venezolana COVENIN 2438:1996*. Caracas: Comisión Venezolana de Normas Industriales.
- Paneles prefabricados: Clasificación y Requisitos. (1988). *Norma Colombiana ICONTEC 2446*. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- Standard Method of Measuring Relative Resistance of Wall, Floor, and Roof Construction to Impact Loading. (1979). *Norma ASTM E695-79*. West Conshohocken, PA: American Society for Testing Materials.
- Standard Methods of Fire Tests of Building Construction and Materials. (1981). *Norma ASTM E119-81*. West Conshohocken, PA: American Society for Testing Materials.
- Standard Test Methods of Conducting Strength Tests of Panels for Building Construction. (2005). *Norma ASTM E72-05*. West Conshohocken, PA: American Society for Testing Materials.

Terminología de las Normas Venezolanas COVENIN-MINDUR de Edificaciones. (2000). *Norma Venezolana COVENIN 2004-98*. Caracas: Marín, J. – Comisión Venezolana de Normas Industriales.

Thermal insulation - Building elements - In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance. (1994). *Norma Internacional ISO 9869:1994*. Ginebra: International Standard Organization.

## **B. Fuentes electrónicas:**

### **B.1. Páginas web:**

Departamento de Ingeniería de Materiales de la Universidad Politécnica de Cataluña. (2011). Grupo: educ.ar. Disponible en: <http://tq.educ.ar/grp0128/Ensayos/flexion.htm> [Consulta: 2011, Junio 12].

Guillén, A. (2009). Revista Mundo 4x4. Disponible en: <http://www.revistamundo4x4.com/hemeroteca.html> [Consulta: 2011, Marzo 07].

Lucio (2008). Bur-Burgales.blogspot. Disponible en: <http://bur-burgales.blogspot.com/2008/08/clunia.html> [Consulta: 2011, Marzo 07].

Sigillo, M. (2010). CARACAS en Retrospectiva. Disponible en: <http://www.facebook.com/profile.php?id=518840588#!/pages/CARACAS-en-Retrospectiva/19122052210> [Consulta: 2011, Marzo 07].

Sin Autor. (1999). Diseño Mecánico I. Pontificia Universidad Católica de Chile. Disponible en: <http://www2.ing.puc.cl/icm2312/apuntes/materiales/materials6-1.html> [Consulta: 2011, Junio 12].

Sin Autor. (2006). Enciclopedia Virtual de Ingeniería Mecánica. Universidad Jaume I, Castellón, España. Disponible en: [http://www.emc.uji.es/d/mecapedia/ensayo\\_de\\_compresion.htm](http://www.emc.uji.es/d/mecapedia/ensayo_de_compresion.htm) [Consulta: 2011, Junio 12].

- Sin Autor. (2010). Arqhys Online. Disponible en: <http://www.arqhys.com/contenidos/arquitectura-antiguo-egipto.html> [Consulta: 2011, Junio 11].
- Sin Autor. (2010). Diccionario de la Real Academia Española. Disponible en: <http://www.rae.es/rae.html> [Consulta: 2011, Febrero 26].
- Sin Autor. (2010). Digital.csic. – España. Disponible en: <http://digital.csic.es/handle/10261/8154> [Consulta: 2011, Marzo 12].
- Sin Autor. (2010). Ministerio del P. P. para la Vivienda y Hábitat. Disponible en: <http://www.fmh.gob.ve/node/1286> [Consulta: 2011, Febrero 26].
- Sin Autor. (2010). Welcome continent. Disponible en: <http://www.continent.uz/es/faq/> [Consulta: 2011, Junio 11].
- Sin Autor. (2011). Acústica Integral. Disponible en: <http://www.acusticaintegral.com/> [Consulta: 2011, Junio 11].
- Sin Autor. (2011). Catálogo Rockwool. Disponible en: <http://guia.rockwool.es/tipos-de-proyecto/vivienda-unifamiliar/elementos-estructurales.aspx> [Consulta: 2011, Marzo 12].
- Sin Autor. (2011). Fisicanet. Disponible en: <http://www.fisicanet.com.ar> [Consulta: 2011, Junio 12].
- Sin Autor. (2011). ISOTEX. Disponible en: <http://www.grupoisotex.com/Empresas/Empresas.htm> [Consulta: 2011, Junio 12].
- Sin Autor. (2011). Plataforma Arquitectura. Disponible en: <http://www.plataformaarquitectura.cl/2009/11/12/> [Consulta: 2011, Junio 12].
- Sin Autor. (2011). Wcities.es. Disponible en: <http://es.wcities.com/> [Consulta: 2011, Marzo 07].
- Universidad de Los Andes (Colombia). (2010). Centro de VIS. Sistema de Construcción VIS. Disponible: <http://micigc.uniandes.edu.co/VIS/inventario.htm> [Consulta: 2011, Marzo 12].

## APÉNDICE

### Notaciones:

- °C = Grados Centígrados
- cm = Centímetros
- Db = Decibeles
- $f_s$  = Resistencia a la rotura del acero de refuerzo ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )
- $f_y$  = Tensión cedente especificada del acero ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )
- h = Hora
- K = Kelvin
- Kg = Kilogramo
- kPa = Kilopascal
- m = Metro
- mm = Milímetro
- min = Minuto
- p.s.i. = libras/pulgada<sup>2</sup>
- W = Vatio

### SIGLAS:

- ACI = American Concrete Institute
- ASTM = American Society for Testing Materials
- CEB = Comité Europeo del Hormigón
- 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.
- INAVI = Instituto Nacional de Vivienda
- ISO = International Standard Organization
- UNE = Una Norma Española

**ANEXOS**

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

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

### INTRODUCCIÓN

#### I. OBJETO DE PRUEBA

#### II. REFERENCIAS

II.1. Referencias Normativas

II.2. Referencias de Trabajos de Investigación

II.3. Otras Referencias

#### III. DEFINICIONES

#### IV. NOTACIONES

#### V. MÉTODOS DE ENSAYO

V.1. ENSAYO DE COMPRESIÓN

V.2. ENSAYO DE FLEXIÓN

V.3. ENSAYO DE IMPACTO

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

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

V.6. ENSAYO DE CICLO DE CALOR-HUMEDAD

V.7. AISLAMIENTO TÉRMICO

V.8. AISLAMIENTO ACÚSTICO

#### VI. ANEXOS INFORMATIVOS

## 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 puede 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 contrario<sup>1</sup>, 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 entrepiso 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.

---

<sup>1</sup> 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<sub>2</sub> 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**

**°C** = Grados Centígrados

**cm** = Centímetros

**Db** = Decibeles

**fs** = Resistencia a la rotura del acero de refuerzo ( $\text{Kg/cm}^2$ )

**fy** = Tensión cedente especificada del acero ( $\text{Kg/cm}^2$ )

**h** = Hora

**K** = Kelvin

**Kg** = Kilogramo

**kPa** = Kilopascal

**m** = Metro

**mm** = Milímetro

**min** = Minuto

**psi** = libras/pulgada<sup>2</sup>

**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

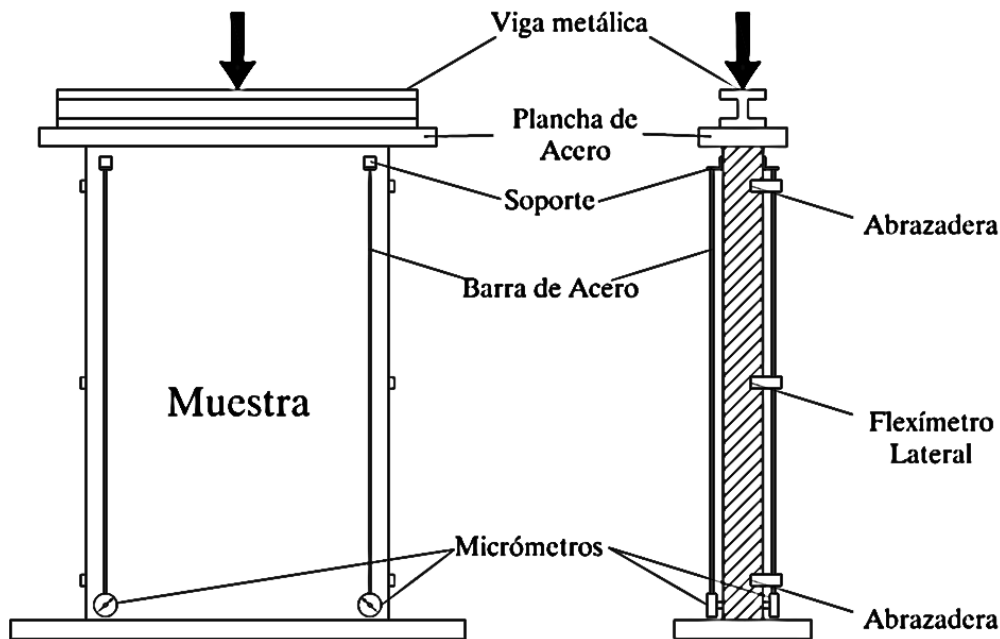
### V.1. ENSAYO DE COMPRESIÓN:

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:**

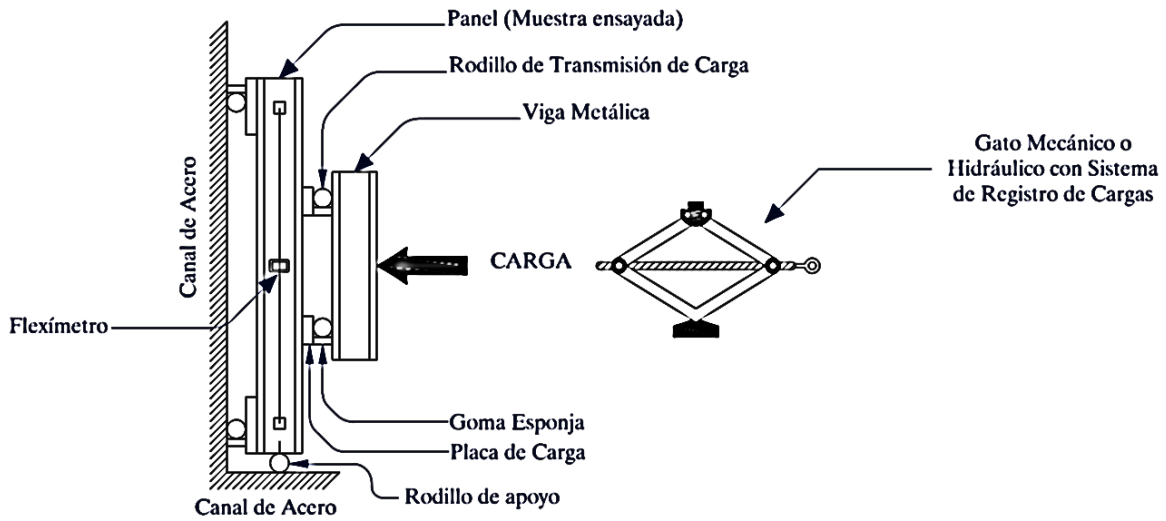
**a) Principio:** A través de este ensayo se busca medir la ductilidad de ciertos materiales, o su capacidad para resistir la flexión.

**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.

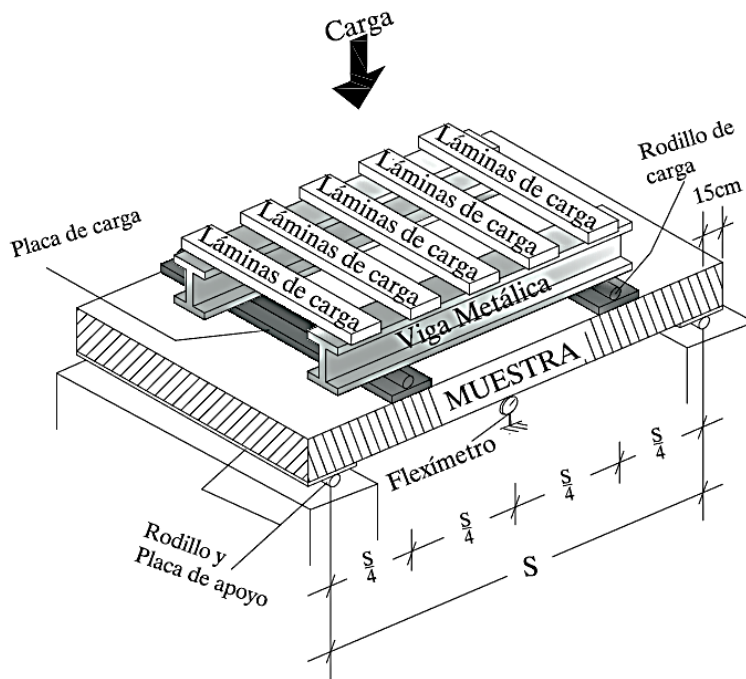
El equipo para el ensayo del panel en *posición vertical* se arma como se muestra en la *Figura 02*:



**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  $75 \pm 5$  cm de largo,  $15 \pm 5$  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, la cual esté 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*

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

*Tabla 02: Deflexión Lateral en Cargas Transversales*

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

**V.3. ENSAYO DE IMPACTO:**

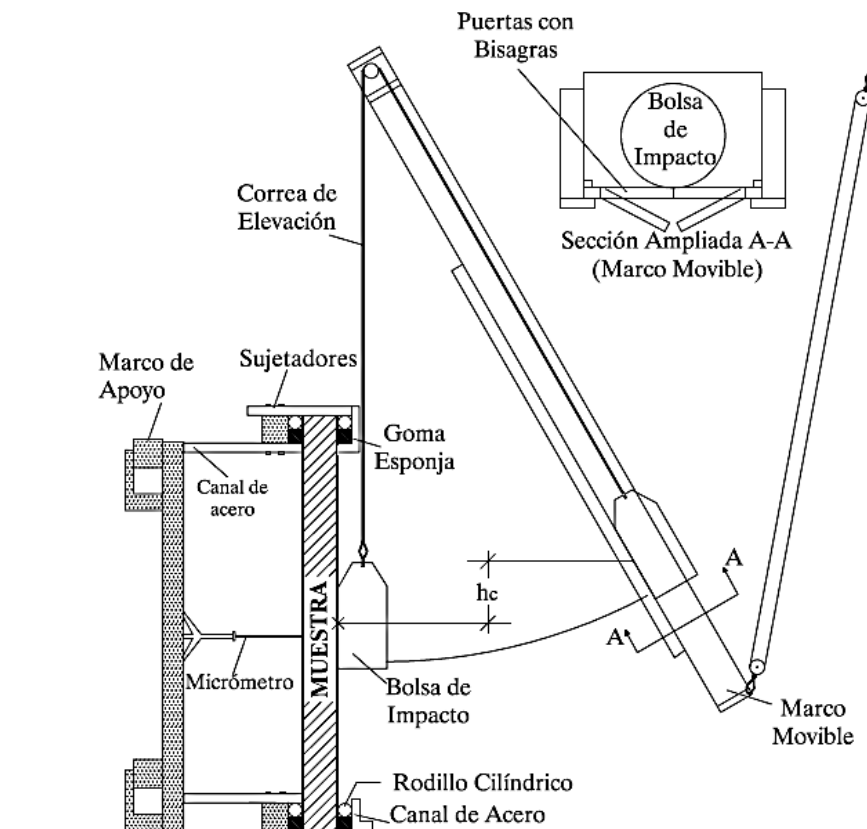
**a) Principio:** Los procedimientos descritos en la presente sección, permiten evaluar el desempeño relativo de paredes bajo las condiciones representativas en estado de servicio, cuando están sometidas a impactos de objetos pesados.

**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*<sup>2</sup>, 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.

---

<sup>2</sup> 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.

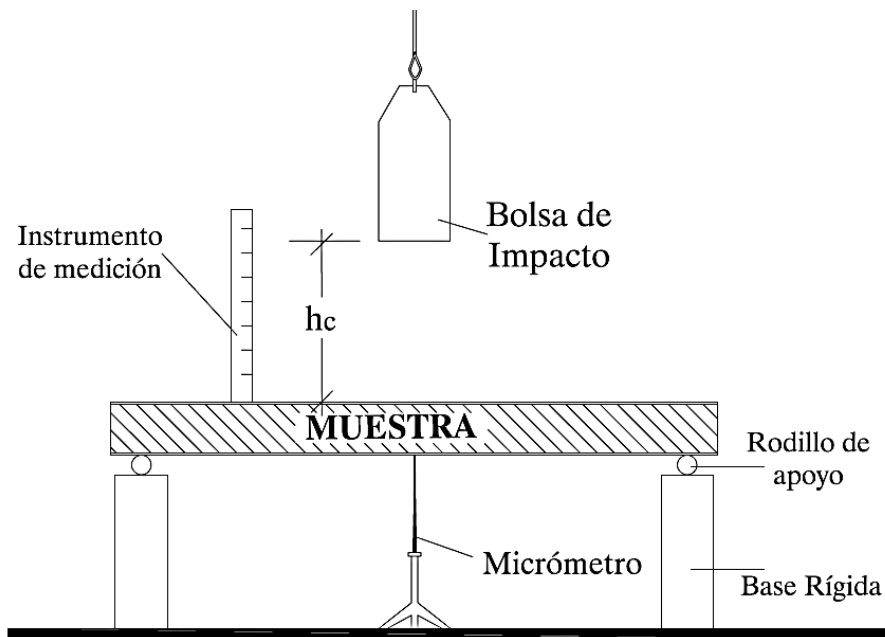
**d.2)** La bolsa para el impacto se sujeta como un péndulo en el marco movable, tal como se muestra en la *Figura 04*. Cuando se verifique que los sujetadores no afecten la deflexión de la muestra, se aplica la carga de impacto en el medio de la cara de la muestra. La bolsa se puede liberar, del marco 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:  $(U = m \times g \times h)$

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  $0,15 \pm 0,003 \text{ W/m}^*\text{K}$ .

- 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 ser continuada más allá del tiempo determinado para la clasificación de resistencia al fuego.

#### **(Información previa a la realización del ensayo):**

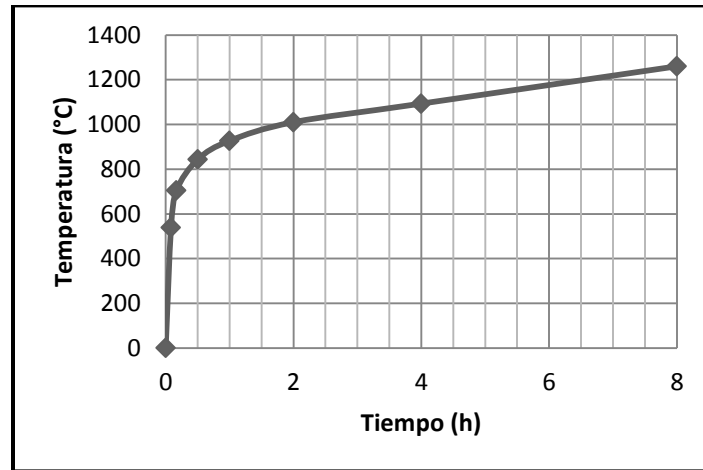
- ✓ Se deben proveer *condiciones de humedad* en equilibrio para la muestra, tal que, sean representativas de lo que probablemente se presente en condiciones de servicio. Para ello se recomienda secar la muestra en un ambiente entre 50 % y 70 % de humedad relativa a  $23 \pm 3^{\circ}\text{C}$ . En caso 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**

<b>Temperatura (°C):</b>	<b>Tiempo:</b>
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 las 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:

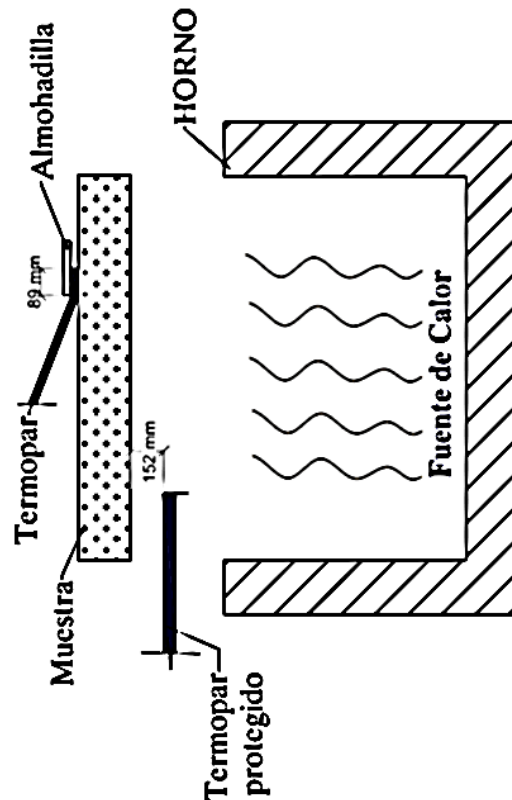


Figura 06: Esquema de la lectura de temperatura en la Prueba de Fuego. Fuente: Elaboración Propia

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**

<b>Período de resistencia</b>	<b>Presión de Agua en la base de la boquilla: (psi-kPa)</b>	<b>Duración de la aplicación de agua en la cara expuesta (min)</b>
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<sub>s</sub> = 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<sub>s</sub> (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  $23 \pm 5$  °C y una humedad relativa del  $50 \pm 20$  %.
- **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  $5 \pm 1$  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  $125 \pm 10$  mm para exposición de la llama al borde y de  $85 \pm 10$  mm para la exposición de la llama a la superficie respectivamente.

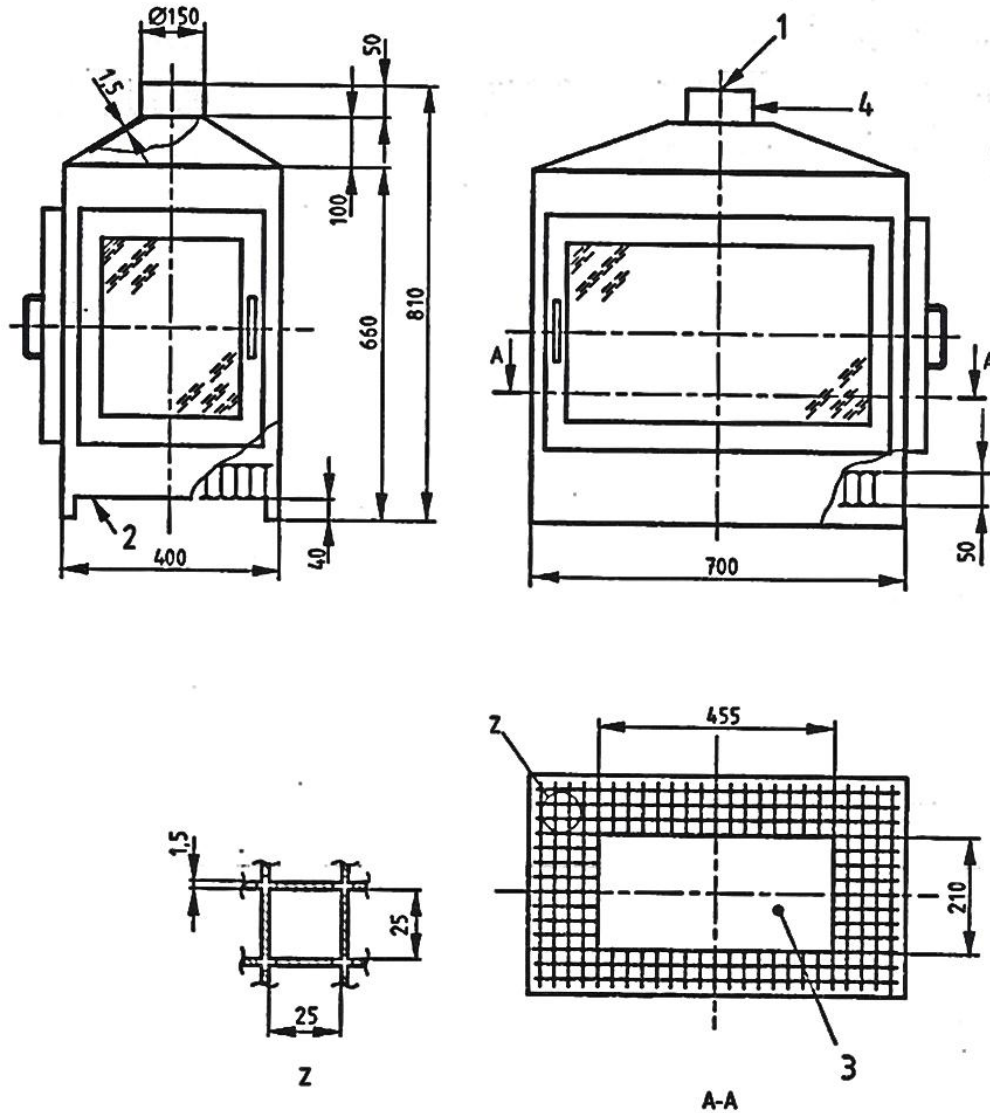
- **Cronómetro:** El cronómetro debe ser capaz de registrar intervalos de tiempo transcurridos con una aproximación de segundos y su precisión debe ser de 1 s en una 1 h.
- **Anemómetro:** Se utilizará un anemómetro adecuado con una precisión de  $\pm 0,1$  m/s, para la medición de la velocidad del flujo 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.

Dimensiones en milímetros



**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

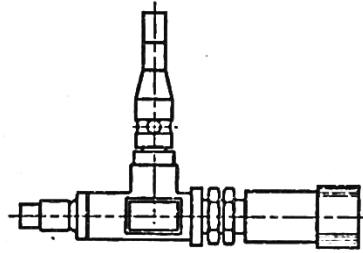


Figura 7.2: Quemador de gas y válvula de ajuste. Fuente: Norma Española UNE-EN ISO 11925:2002

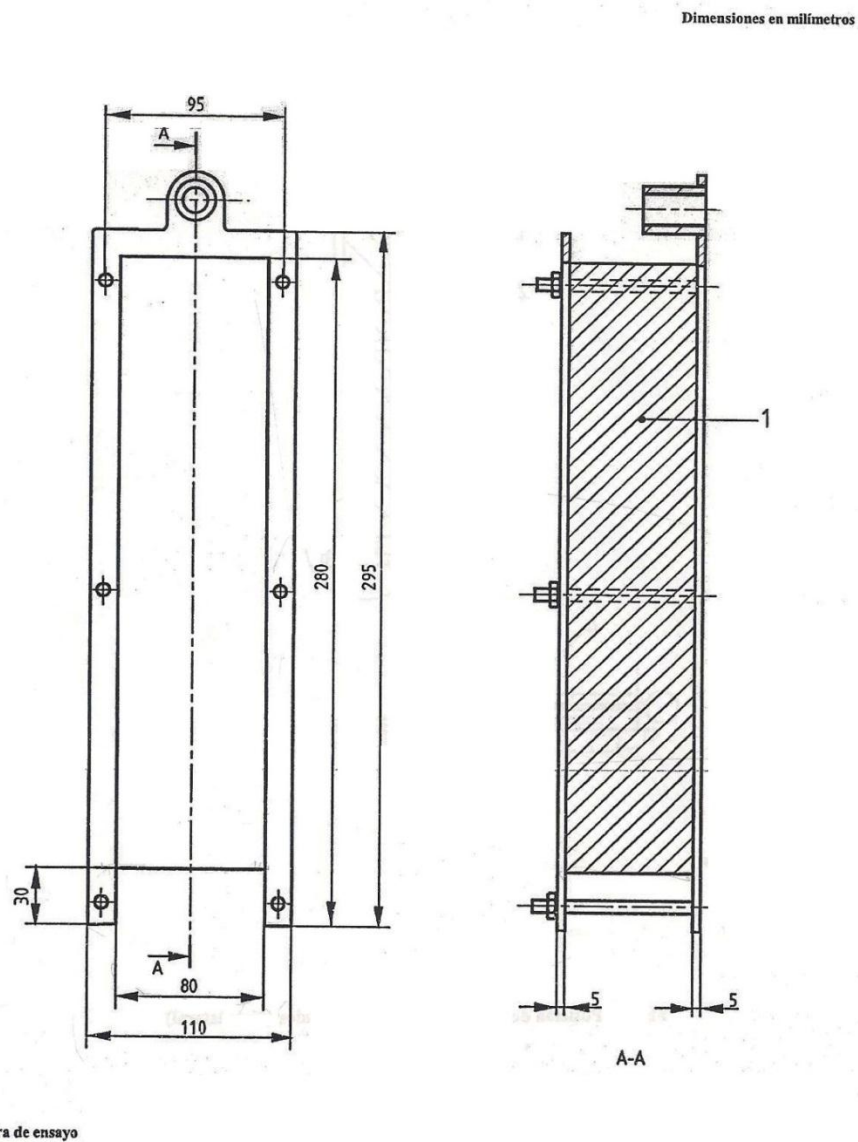
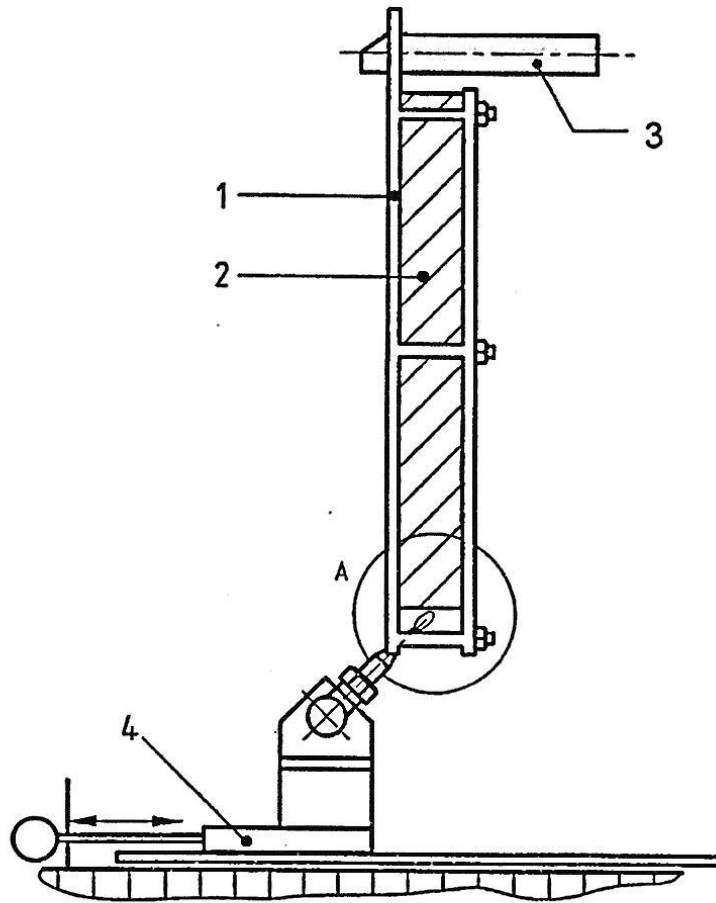


Figura 7.3: Soporte de muestra tipo. Fuente: Norma Española UNE-EN ISO 11925:2002





**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  $45^\circ$  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 sí la muestra es orgánica o a 105 °C sí 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.

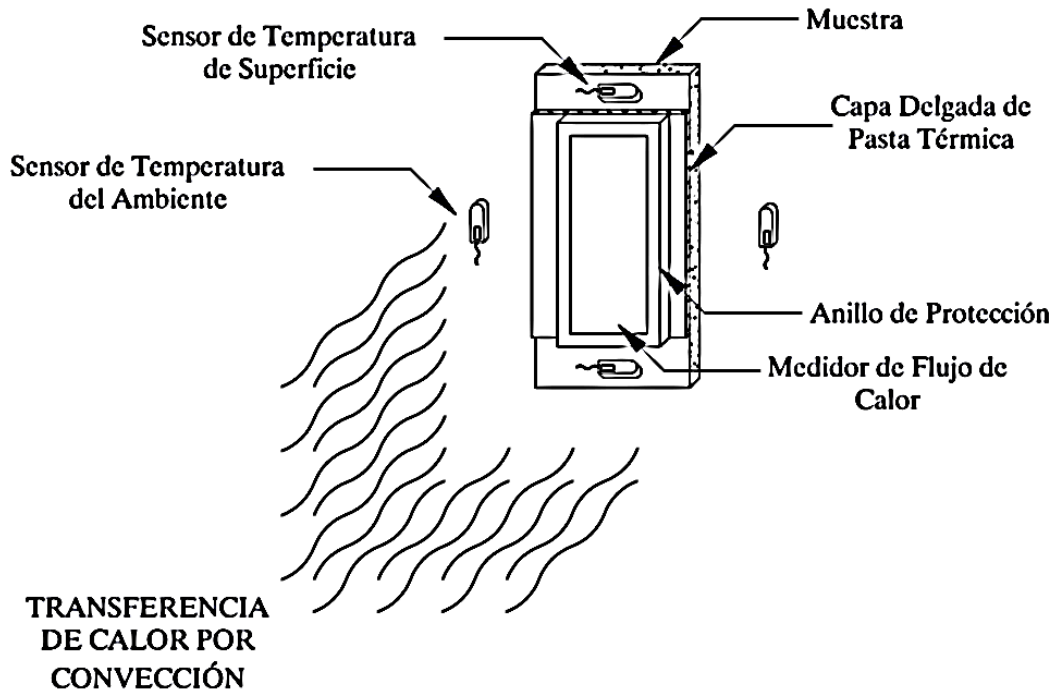
El medidor de flujo de calor debe presentar baja resistencia térmica, para minimizar la perturbación causada por dicho medidor, pero debe tener alta sensibilidad tal que, se suministre una señal suficientemente amplia para la menor medición de calor medido.

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:

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

A: Área de la superficie expuesta al calor [ $\text{m}^2$ ]

- ✓ 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 [ $^{\circ}\text{C} \times \text{m}^2/\text{W}$ ] ó [ $\text{K} \times \text{m}^2/\text{W}$ ]

**T<sub>si</sub>:** Temperatura interna de la superficie del elemento de la edificación [ $^{\circ}\text{C}$  o K]

**T<sub>se</sub>:** Temperatura externa de la superficie del elemento de la edificación [ $^{\circ}\text{C}$  o K]

**q:** Densidad de la tasa de flujo de calor [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

*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  $[W/^\circ C \times m^2]$  ó  $[W/K \times m^2]$

**T<sub>i</sub>:** Temperatura del ambiente interno [ $^\circ C$  o K]

**T<sub>e</sub>:** Temperatura del ambiente externo [ $^\circ C$  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.*

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

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

Dónde:

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

**T<sub>si</sub>:** Temperatura interna de la superficie del elemento de la edificación [ $^\circ C$  o K]

**T<sub>se</sub>:** Temperatura externa de la superficie del elemento de la edificación [ $^\circ C$  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 ( $\Delta$ ), 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.

**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 m<sup>3</sup>. 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/m<sup>3</sup>.
- ✓ 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.

**d.3)** El dispositivo medidor de ruido se ubica, con el micrófono perpendicular al centro de la muestra, a una distancia de  $10 \pm 5$  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:

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

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.

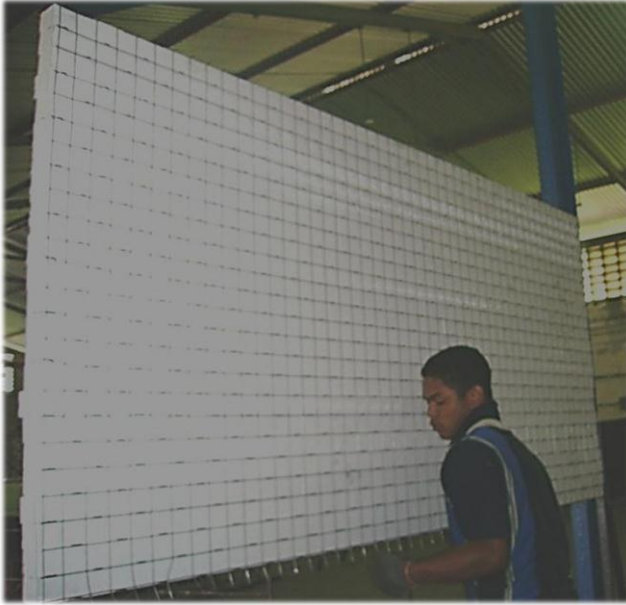
$A_0$  = Es el área superficial de la muestra a ensayar (Largo x ancho), en metros cuadrados.

$A$  = 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 la 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.

## VI. 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.*

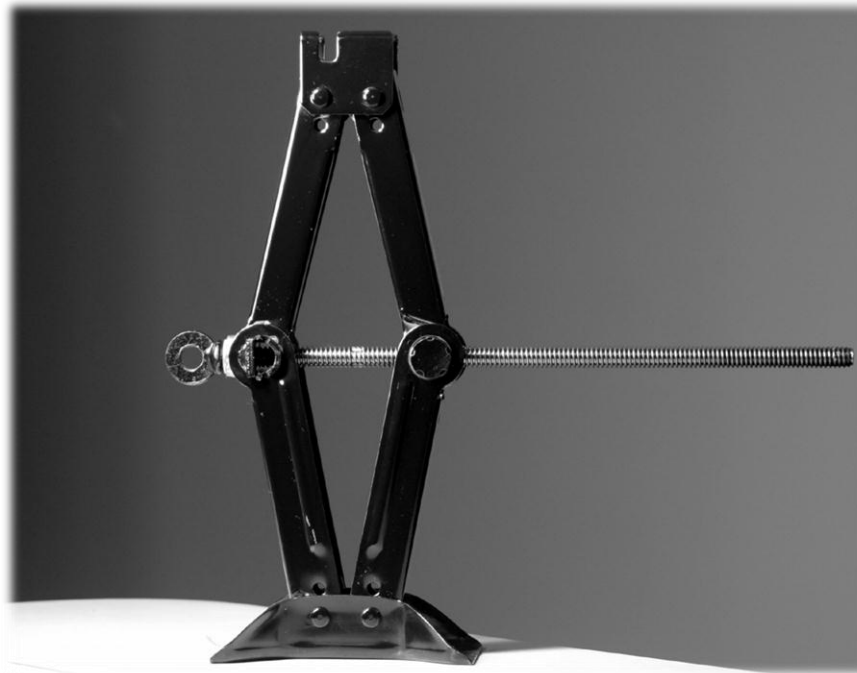
**Fuente:** *Empresas DAVI (México) (2011)*



**Anexo 03:** *Flexímetro con sus correspondientes accesorios.*

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





**Anexo 04: Jackscrew (Gato Mecánico).**

**Fuente: Productos Alibaba (España) (2011)**



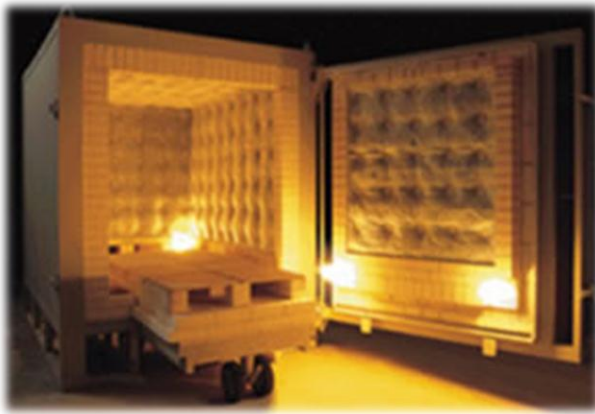
**Anexo 05: Dinamómetro de Muelle usado para medir cantidades de carga.**

**Fuente: Direct Industry (Alemania) (2011)**



**Anexo 06: Micrómetro Analógico.**

**Fuente: Instrumentos Baxlo Precisión (España) (2011)**

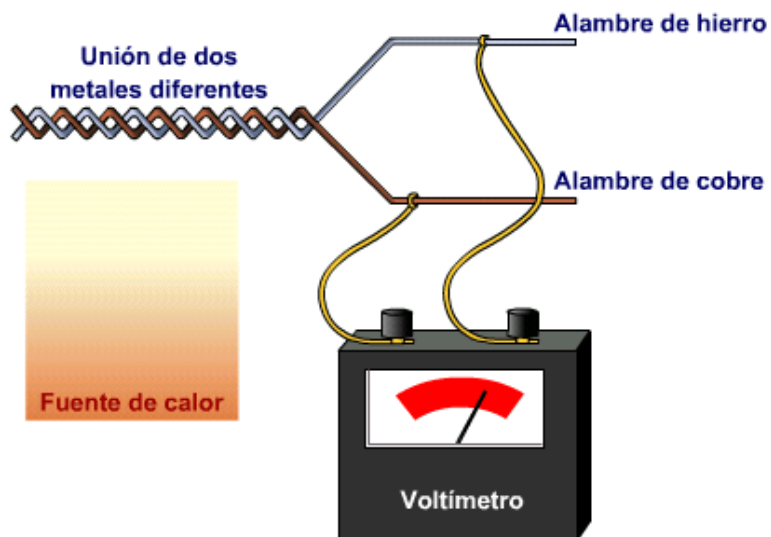


**Anexo 07: Horno Quemador.**

**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)**

## ***2. FOTOGRAFÍAS DE APLICACIÓN DE LOS ENSAYOS PROPUESTOS***

A continuación se muestran una serie de fotografías que son tomadas del Informe Técnico N° 3111 del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), de fecha 24 de Noviembre de 2009. *Cortesía: Prof. César Peñuela.*



Foto No. 1: Ensayo de Impacto (I)



Foto No. 2: Ensayo de Impacto (II)



Foto No. 3: Ensayo de Impacto, falla por aplastamiento del recubrimiento (I)



Foto No. 4: Ensayo de Impacto, falla por aplastamiento del recubrimiento (II)



Foto No. 5: Ensayo a Flexión, cara externa hacia arriba



Foto No. 6: Ensayo a Flexión, cara externa hacia arriba, falla del panel (I)



Foto No. 7: Ensayo a Flexión, cara externa hacia arriba, falla del panel (II)



Foto No. 8: Ensayo a Flexión, cara externa hacia abajo





Foto No. 9: Ensayo a Flexión, cara externa hacia abajo, falla del panel (I)



Foto No. 10: Ensayo a Flexión, cara externa hacia abajo, falla del panel (II)



Foto No. 11: Ensayo a Compresión (I)



Foto No. 12: Ensayo a Compresión (II)



Foto No. 13: Ensayo a Compresión,  
falla del recubrimiento interno



Foto No. 14: Ensayo a Compresión,  
falla del recubrimiento interno y perfil

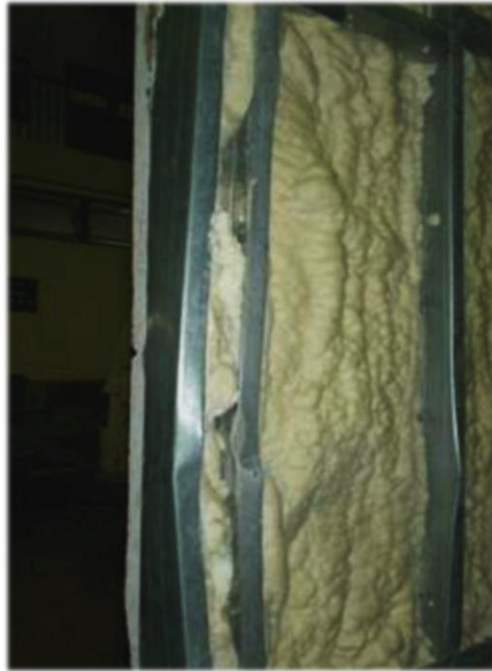


Foto No. 15: Ensayo a Compresión, falla de perfiles