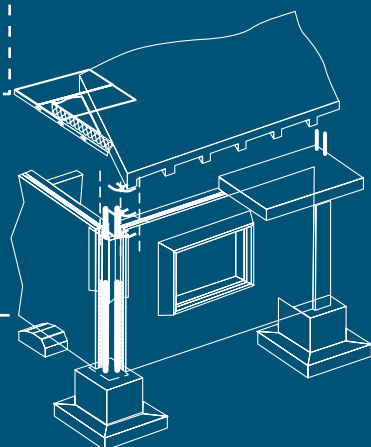


MANUAL DE CONSTRUCCION INDUSTRIALIZADA

Manual de Construcción Industrializada

Ing. Horacio Mac Donnell
Ing. Horacio Patricio Mac Donnell
REVISTA VIVIENDA SRL



Manual de Construcción Industrializada

***Ing. Horacio Mac Donnell
Ing. Horacio Patricio Mac Donnell
REVISTA VIVIENDA SRL***

© Copyright INGS. MAC DONNELL - REVISTA VIVIENDA SRL
Buenos Aires, Abril de 1999
Queda hecho el depósito que establece la ley 11.723

Impreso en Argentina
Ilustrador: Arq. Héctor Merino

I.S.B.N. 987-97522-0-1

La reproducción total o parcial de esta obra en cualquier forma que sea, idéntica o modificada, no autorizada por el editor, viola los derechos reservados. Cualquier utilización debe ser previamente solicitada. Los infractores serán reprimidos con las penas de los artículos 172 y concordantes del Código Penal (arts. 2º, 9º, 10º, 71º, 72º de la ley 11.723).

Año 1999, Versión I

PROLOGO

Estimados Ingenieros Mac Donnell:
Muchas gracias por el libro “Manual de Construcción Industrializada”.

Lo primero que he experimentado con la lectura de este libro ha sido un sentimiento de admiración. Me admira el esfuerzo que ha significado redactar todas esas páginas, y producir tal cantidad de tablas, gráficos y figuras.

La necesidad de libros de este tipo se aprecia al recorrer las obras de construcción de viviendas del tipo llamado tradicional. A veces se las denomina artesanales, pero la verdad es que su producción está en manos de artesanos ineptos. Es penoso comparar lo que se hace ahora en obras de vivienda, aún en las de lujo, con la calidad que lograban hace más de cincuenta años constructores y albañiles italianos, incluso en remotos pueblos del interior. Es increíble, pero en esta hora de asombrosos progresos tecnológicos, la mayor parte de la construcción de viviendas constituye la única industria que carece totalmente de control de calidad.

El libro que tengo a la vista es, en realidad, dos libros. El primero contiene todas las recomendaciones para construir viviendas con racionalidad, garantizando la seguridad, habitabilidad y durabilidad. Este es un manual que debería ser de aplicación obligatoria en toda construcción de viviendas, industrializadas o no.

El segundo libro describe y evalúa los desarrollos realizados en la Argentina para la construcción de viviendas estandarizadas, prefabricadas, e industrializadas. Esta es una valiosa fuente de información para usuarios y constructores de viviendas.

Lo que llama la atención en esta obra, es la cantidad de

conceptos breves que resumen sabiduría. En ese sentido quiero citar frases que me impactaron:

No se puede industrializar la vivienda *“sólo porque sea razonable hacerlo. Se industrializa cuando se necesita hacerlo. La industrialización no es un fin. Si no existe real necesidad de ella no aparecerá”*.

“Las necesidades de aislamiento térmico, aún hoy en la Argentina, son subestimadas. Hasta aquel que puede hacerse su propia casa, actúa como ignorando que es un derroche de dinero personal y nacional no aislar por lo menos muros y techos”.

“No es tolerable, y es una falta de cumplimiento de los requisitos mínimos de habitabilidad, que se produzca condensación superficial en las paredes de una vivienda que no pertenezcan a baños o cocinas”.

“Es peor colocar mal la barrera de vapor que no colocarla”.

Y frases de este tipo, que condensan años de experiencia, se encuentran en cantidad en todo el libro.

Deseo que esta publicación tenga gran difusión entre arquitectos, ingenieros, constructores y usuarios, a fin de lograr lo que ahora nos parece una utopía: que las viviendas, tanto económicas, como de lujo, sean realmente seguras, habitables y duraderas. Y que, gracias a la industrialización, aumente de tal manera la construcción de viviendas, que se produzca algo que parece una paradoja: que gracias a la disminución de mano de obra por vivienda, se obtenga mayor ocupación a nivel nacional **x**

Hilario Fernández Long



Ing. Horacio Miguel Mac Donnell: Ingeniero Civil de la Universidad de Buenos Aires.

- *En la Actividad Privada* trabajó en la profesión y como empresario de la construcción en Mendoza y Buenos Aires.
- *Desarrolló* varios sistemas constructivos en el País y en el exterior.
- *En la Actividad Pública:*
 - *Director Nacional de Tecnología de la Secretaría de Vivienda hasta 1995.*
 - *Miembro del Comité Ejecutivo del CIRSOC hasta 1995.*
 - *Miembro del Comité Directivo de IRAM hasta 1997.*
- *Al presente se dedica a la Consultoría sobre Estructuras y Sistemas Constructivos.*

Ing. Horacio Patricio Mac Donnell: Ingeniero Civil de la Universidad de Buenos Aires.

- *En la Actividad Privada:*
 - *Proyectó y construyó obras de vivienda individuales y edificios en el Gran Buenos Aires.*
 - *Solución de Patologías y reparaciones de estructuras lesionadas. Participó en el desarrollo de varios Sistemas Constructivos. Asesor estructural de Empresas con Sistemas Constructivos.*
- *En la Actividad Pública:*
 - *Fue Docente en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires en la Cátedra de Composición Estructural.*
 - *Es Docente en la Cátedra de Sistemas Constructivos en la misma Universidad.*
 - *Miembro del Subcomité IRAM de Acondicionamiento Higrotérmico de Viviendas.*
- *Al presente integra una Consultora sobre Estructuras y Sistemas Constructivos.*

Ambos han dictado numerosos Cursos y Conferencias sobre el Tema de la Industrialización y su Normas en diversas Universidades, Consejos Profesionales y otras Instituciones.

E-mail: macd@ciudad.com.ar

INTRODUCCION

Este manual tiene la intención de difundir las normas y requisitos que se deben cumplir en una vivienda, y en especial las técnicas para su construcción en forma industrializada.

Las exigencias de los usuarios tanto en el cumplimiento de requisitos como en calidad de las viviendas están aumentando y lo harán aún en mayor medida. Nuestra responsabilidad como proyectistas y constructores, nos obliga a satisfacerlas y para lograrlo debemos **contar con un control de proyecto, usar materiales normalizados y procesos constructivos que no dependan de la buena voluntad o pericia de los artesanos, del clima o de la idoneidad de la dirección de la obra. Esto es lo que entendemos por industrialización de la Construcción de Viviendas.**

La Argentina tiene una historia en la industrialización de la construcción y el uso de sistemas de más de 30 años, donde como sucede en cualquier actividad hubo fracasos pero también muchos éxitos que no se difundieron debidamente.

La primera parte del libro se dedica a desarrollar el fundamento teórico indispensable para el proyecto de viviendas. Especialmente se analizan las normas IRAM, en cuya elaboración hemos participado, y consideramos de cumplimiento inexcusable.

Posteriormente se describen las distintas tecnologías que se pueden emplear para industrializar el proceso constructivo.

Para elaborar este libro, además de la bibliografía utilizada, nos hemos basado en nuestra experiencia en desarrollar, inspeccionar, evaluar y también construir con distintas tecnologías.

Deseamos hacer un reconocimiento a los profesionales y empresarios que dedicaron horas y recursos al estudio y desarrollo tecnológico de la vivienda y que en alguna medida buscamos reflejar en estas páginas.

Finalmente presentamos nuestro trabajo, esperanzados en que, con la ayuda de Dios, contribuya al bien común en nuestra Patria.

Abril de 1999

Horacio Miguel Mac Donnell
Horacio Patricio Mac Donnell

Agradecimientos:

A la Revista Vivienda, a su Director Arq. Daniel Carmuega sin cuyo apoyo no hubieramos concluido esta tarea. A su personal, especialmente al Arq. Héctor Merino que se encargó de las ilustraciones.

A la colaboración prestada por la Dirección de Tecnología de la SS de Vivienda de la Nación.

Al distinguido Ing. Hilario Fernández Long por su generoso Prólogo ✕

INDICE GENERAL

PROLOGO.pág. 5

Ing Hilario Fernández Long.

INTRODUCCIONpág. 7

CAPITULO 1

La vivienda como producto de una

industria. Generalidadespág. 11

Exigencias a cumplir por el producto vivienda.

Reglas de calidad.

Reglas de seguridad. Riesgos normales. Riesgos anormales. Reglas de Habitabilidad. Reglas de durabilidad.

Viviendas tradicionales.

Industrialización de la construcción de viviendas. Necesidad de industrializar. Primeras experiencias e ideas de industrialización.

CAPITULO 2

Terminologíapág. 21

Material. Elemento. Componente. Sistema constructivo y tradicional. C.A.T.: Certificado de Aptitud Técnica.

Guías para el estudio de Sistemas industrializados. Índice y grado de industrialización. La serie, los materiales usados, la integración y la racionalización.

Métodos de la industrialización. Los sistemas cerrados. Los sistemas abiertos.

Clasificación de los sistemas constructivos. Consideraciones sobre los sistemas livianos y pesados. Sistemas livianos. Sistemas pesados. Sistemas importados.

CAPITULO 3

Requisitos de seguridadpág. 31

Reglas de calidad.

A) Las accionespág. 32

1. Cargas y sobrecargas gravitatorias. 2. Acción del viento. 3. Acción sísmica. 4. Cargas de la nieve y del hielo. 5. Acciones térmicas climáticas. 6. Riesgo de fuego.

B) Los esquemas estructuralespág. 38

Cargas verticales. Estructuras de techos de sistemas livianos. Estructuras de techos de los sistemas pesados. Cargas horizontales. Arriostramientos horizontales. Arriostramientos verticales. 1. Aporticamientos. 2. Columnas rígidas empotradas. 3. Cruces de San Andrés (Contra-venteos). 4. Paneles sucesivos al corte. 5. Rígi-

dización con revestimientos estructurales. Fundaciones.

CAPITULO 4

Requisitos de habitabilidadpág. 47

Introducción. Nociones térmicas.

Transmisión de calorpág. 48

Convección. Radiación solar y terrestre. Conducción.

Cambios térmicos debidos al cambio

de estado del aguapág. 53

Evaporación. Condensación

Inercia térmicapág. 55

Concepto de confortpág. 57

Escalas de confort. Exigencias de invierno.

Aplicación prácticapág. 61

1. Aislación térmica (Coeficiente K)pág. 62

Heterogeneidades en los cerramientos. Puentes térmicos. Cámaras de aire. Ejemplos de aplicación: Muros y techos de sistemas livianos y pesados. Valores máximos admisibles de transmitancia térmica.

2. Evitar condensacionespág. 71

2a. Condensaciones superficiales. Verificación. 2b. Condensaciones intersticiales. Verificación. Ejemplos de aplicación. Importancia de la ubicación de la barrera de vapor. Los puentes térmicos y la condensación.

3. Coeficiente "G"pág. 87

Ahorro de energía en edificios. Definiciones y términos en el cálculo de "G". Valores de "G" admisibles. Factor de corrección de transmisión de calor: γ . Corrección por inercia térmica del terreno: α . Infiltración de aire. Número de renovaciones: n . Coeficiente volumétrico "G". Ejemplo de cálculo del coeficiente "G". Referencias para el uso de la planilla de cálculo. Análisis de los resultados. Ahorro de energía.

El aislamiento acústico en viviendaspág. 94

Introducción. Intensidad del sonido. ¿Cómo percibe nuestro oído? Período o frecuencia. Propagación del sonido. Velocidad de propagación y velocidad del sonido. Longitud de onda. Impedancia acústica. Reflexión del sonido y absorción. Grado de absorción. Tiempo de reverberación. Amortiguación del sonido. Aislamiento del sonido. Medida del aislamiento al ruido aéreo. Índice de debilitamiento acústico (R). Paredes simple. Ley de masas (o de Berger) e incidencia de la frecuencia. Influencia

de la elasticidad. Estanquidad. Cerramientos múltiples. Cámara de aire. Resonancia de las paredes múltiples. Frecuencia de resonancia del conjunto. Frecuencia propia de la cámara de aire. Acoplamiento rígido entre elementos. Cálculo del aislamiento de un cerramiento doble. Aislamiento del sonido transmitido por cuerpos sólidos. Medidas. Aislamiento a ruido de impactos. Aislamiento de vibraciones. Normas IRAM. Soluciones constructivas. Cerramientos usuales. Conclusión.

CAPITULO 5

Reglas de durabilidadpág. 111

Introducción. Definiciones. ¿Cuánto tiempo debe durar una vivienda permanente? Factores que comprometen la durabilidad.

1. Agentes exteriores a la vivienda. a) Climáticos. b) Fuego c) Biológicos. 2. Agentes interiores. Factores que comprometen la durabilidad originados en el material o componente analizado. La durabilidad de los materiales de uso más común. Hormigones. Maderas. Metales. Plásticos. Conclusiones.

CAPITULO 6

Sistemas constructivos de grandes

panelespág. 119

Introducción.

Funcionamiento estructural.

1. Sistema de esqueleto. 2. Sistemas de paneles portantes. Estabilidad espacial. Tipos de arriostramiento. Arriostramientos verticales tridimensionales.

Componentes de sistemas en base a grandes paneles.

Paneles para muros exteriores. Paneles multicapas (o paneles sandwich). Paneles mixtos. Paneles macizos. Paneles de hormigón: a) con agregados livianos. Agregados livianos de mayor uso. Arcilla expandida. Agregados volcánicos. Escoria expandida de alto horno. Agregados orgánicos. Agregados sintéticos. Vermiculita. Consideraciones sobre los hormigones livianos. b) Paneles de hormigón aireado. Hormigones gaseosos. Hormigones espumados. Paneles para losas. Forma de la planta. Proceso constructivo.

Juntas y uniones entre los componentes.

Definiciones. Juntas interiores. Juntas exteriores. Pautas para el diseño de juntas externas. Selladores al exterior. Juntas ventiladas. Juntas llenas. Masillas. Cordones o tiras preformadas. Juntas horizontales. Juntas verticales. Juntas ventiladas cerradas. Las juntas en sistemas eu-

ropeos de grandes paneles.

Uniones. Uniones puntuales. Uniones continuas. Consideraciones sobre las uniones.

La fabricación de grandes paneles.

Moldes. Elección. Vibrado. Vibración interna y externa. Vibración superficial. Tratamiento térmico. Curva de temperaturas. Precauciones en el curado. Posición de los moldes. Transporte y montaje de elementos.

CAPITULO 7

Sistemas argentinos de grandes

panelespág. 171

SUPERCEMENTO.

Datos generales. Descripción del sistema. Fabricación de los elementos premoldeados. Transporte y montaje. Conclusión.

CONSTRUCCIONES INDUSTRIALIZADAS

FATTORELLOpág. 177

Datos generales. Descripción del sistema. Fabricación de los elementos. La vivienda económica. Transporte y montaje.

CAPITULO 8.

Módulos tridimensionales (MT)pág. 185

Introducción. Diseño de módulos tridimensionales. Clasificaciones. Viviendas con módulos tridimensionales. Comportamiento estructural en edificios con MT. Fundaciones de MT. Tipos estructurales. Juntas entre módulos. Instalaciones en MT. Aislaciones térmicas. Procesos de fabricación de los MT. 1. MT pesados. Transporte y montaje. 2. MT livianos. Procedimientos de fabricación de MT livianos. Materiales usados en los MT livianos. Metales. Madera y derivados. Plásticos. Otros materiales. Ventajas y desventajas de los MT.

SISTEMA CONSTRUCTIVO "MO-HA"pág. 197

Descripción. Sistema estructural. Peso de los elementos. Fabricación de los módulos. Transporte y montaje. Consumo de mano de obra.

CAPITULO 9

Sistemas livianospág. 203

Definiciones. Clasificación. Sistemas livianos de madera. Limitaciones de la madera. Tratamientos de la madera. Efectos del clima. Fuego. Tratamientos ignífugos. Comportamiento de los materiales relacionados con la construcción con madera. Sistemas de esqueleto o lineal. Sistemas de entramado. Clasificación de las maderas y propiedades mecánicas. Dimensionado de elementos estructurales. Arriostramientos. Uniones mecánicas. Clavos. Pernos y tornillos. Cerramientos.

CAPITULO 10

Sistemas con estructura de madera en

la Argentinapág. 225

SISTEMA MDNpág. 226

Descripción. Estructura. Fabricación. Proceso de montaje.

SISTEMAS NORTEAMERICANOS DE

ENTRAMADOS DE MADERApág. 229

Descripción general. Conclusiones. Proceso de montaje. Detalles constructivos. Fundaciones. Revestimientos. Instalaciones.

SISTEMA "DC KIT"pág. 237

Descripción. Fundaciones. Uniones. Muros exteriores. Cerramientos. Techos y muros. Montaje. Conclusiones.

CAPITULO 11

Sistemas livianos con estructura

de aceropág. 243

Introducción. Estructuras. Tipos. Elementos estructurales. Perfiles laminados. Perfiles de chapa doblada. Tubos. Enrejados. Uniones. Tornillos. Uniones soldadas. Funcionamiento estructural. Cargas verticales. Techos. Entrepisos. Columnas y parantes. Cargas horizontales. Arriostramientos horizontales y verticales. Detalles de uniones. Durabilidad de las estructuras de acero. Fuego. Revestimientos. Corrosión. Entrepisos. Cerramientos. Puentes térmicos. Resolución.

CAPITULO 12

Sistemas livianos con estructura metálica

en la Argentinapág. 257

SISTEMA SÚBITAS

Introducción. Descripción general. Fundaciones. Estructura metálica. Muros exteriores e interiores. Techo. Entrepisos. Instalaciones. Proceso de montaje.

Edificio industrializado con el sistema

(Usbuaia)pág. 262

Introducción. Descripción. Techos. Paredes exteriores. Paredes interiores. Losas. Vigas. Arriostramientos. Bases. Proceso constructivo. Estructura metálica. Losas y cerramientos.

SISTEMAS CON ENTRAMADO

DE ACERO. (STEEL FRAMING).....pág. 266

Introducción. El entramado de acero. Los perfiles. Tornillos. Techos. Entrepisos. Arriostramientos. Anclajes. Encuentros. Revestimientos. Durabilidad. Proceso constructivo. Conclusión.

CAPITULO 13

Sistemas livianos de paneles portantespág. 273

Introducción. Ejemplos.

SISTEMA PROVELCOpág. 274

Descripción general. Muros exteriores. Muros interiores. Techos. Juntas y uniones. Proceso de montaje. Conclusión.

SISTEMA COIMPROpág. 278

Descripción general. Componentes del sistema. Muros exteriores e interiores. Paneles de techo. Uniones y juntas. Proceso de producción. Proceso de montaje. Características y especificaciones especiales de los materiales. Consideraciones sobre la durabilidad.

SISTEMA EUROCASApág. 282

Descripción general. Fabricación de los paneles. Proceso de montaje. Conclusión.

Otros sistemaspág. 286

CAPITULO 14

Sistemas industrializados "in situ"pág. 289

Introducción. Clasificación de los sistemas "in situ". Sistemas "in situ" con encofrados. Encofrado túnel para edificios de vivienda. Sistemas "in situ" con elementos prefabricados. Sistemas "in situ" con capas de morteros sobre mallas.

CAPITULO 15

Sistemas "in situ" desarrollados en la

República Argentinapág. 297

FERROCEMENTO.

Descripción. Elementos del sistema. Paredes y techo. Montaje.

Vivienda SEMILLA.pág. 299

Descripción. Elementos del sistema. Placas para muros y tabiques. Estructura metálica de vigas reticuladas. Uniones entre elementos. Montaje de la vivienda. Conclusión.

Sistema constructivo PLASTBAUpág. 303

Descripción. Elementos del sistema. Tipología constructiva. Ensayos realizados. Montaje.

Sistema constructivo PENTA WALLpág. 306

Descripción. Elementos del sistema. Mortero resistente. Fabricación. Montaje.

Sistema PRENOVApág. 309

Descripción. Descripción del proceso. Losas. Paredes. Aislaciones. Terminaciones. Conclusiones.

BIBLIOGRAFIApág. 313

ANEXOpág. 314

Listado de sistemas con C.A.T.

CAPITULO 1

La vivienda como producto de una industria

Generalidades

Siempre se repite que si en un país la construcción está activa su economía está sana. El mercado inmobiliario, industrias de materiales, profesionales, grandes sectores de trabajadores, empresas de servicios y transporte se mueven a su alrededor.

La construcción es tan atípica que mucho tiempo se discutió si era efectivamente una industria. Cada obra se transforma en una fábrica, el cliente es por lo general el dueño del terreno y debe nombrar a un profesional que conozca el negocio; el constructor diversifica su actividad con instaladores, existen muchos métodos para construir una misma obra; los costos cambian con el equipo empleado y el transporte, es decir que puede variar considerablemente por estos ítems.

Realmente era para dudar si se podía llamar industria a la que debe fabricar un producto distinto cada vez, sin plantas fijas, con costos variables y finalmente con responsabilidades compartidas entre protagonistas diversos: proyectista, empresa constructora y proveedores de materiales.

Lo que aquí proponemos es acercar la edificación de viviendas un poco más a la imagen de industria.

Trataremos de explicar primero qué es el producto final vivienda, por qué queremos cambiar la forma actual de producirlas, qué debemos exigirle a ese producto, qué re-



Viviendas tradicionales en Humahuaca y variedad en terminaciones con grandes paneles

percusión tendrá en la mano de obra, cómo se ha hecho lo mismo en otras partes y cómo les ha ido y finalmente veremos cuáles son los métodos que se pueden usar y las inversiones que podrían esperarse para cada uno.

Es muy amplio el terreno en el que vamos a incursionar y los continuos cambios tecnológicos lo hacen muy variable. Pero pese a todo, lo que digamos aquí, no estará condenado a una efímera permanencia. Es así porque nuestra tarea básica es recordar los principios físicos y

químicos que se producen en los materiales al usarlos junto a otros nuevos o en forma no conocida.

Exigencias a cumplir por el producto vivienda

La vivienda tradicional en cada país busca cubrir las aspiraciones de su población. Los materiales, las técnicas de aplicación son conocidas y también lo es su respuesta con el tiempo, se sabe cuánto duran sus muros y techos, sus instalaciones.

Después de la guerra 1939-1945 la urgencia en construir, los nuevos materiales usados en el conflicto, el uso racional o no de procedimientos novedosos y el peligro que podrían significar en la seguridad de las comunidades obligó a plantear racionalmente el producto vivienda.

Fue el Centro Científico y Técnico de la Edificación (CSTB) de Francia bajo la dirección de Gerard Blachère el que realizó junto a otros destacados "viviendólogos", el estudio científico que significaba definir qué se debía exigir a un edificio de vivienda. Se plantearon los problemas a resolver y se analizaron las soluciones considerando válida cualquier respuesta que respondiera a las exigencias.

Estas exigencias, aceptadas hoy universalmente y completadas en su expresión posteriormente son las indicadas en el cuadro inferior.

Algunas de ellas tienen carácter absoluto, tales como todas las que afectan a la salud y al medio ambiente.

Las exigencias se han enumerado en forma generaliza-

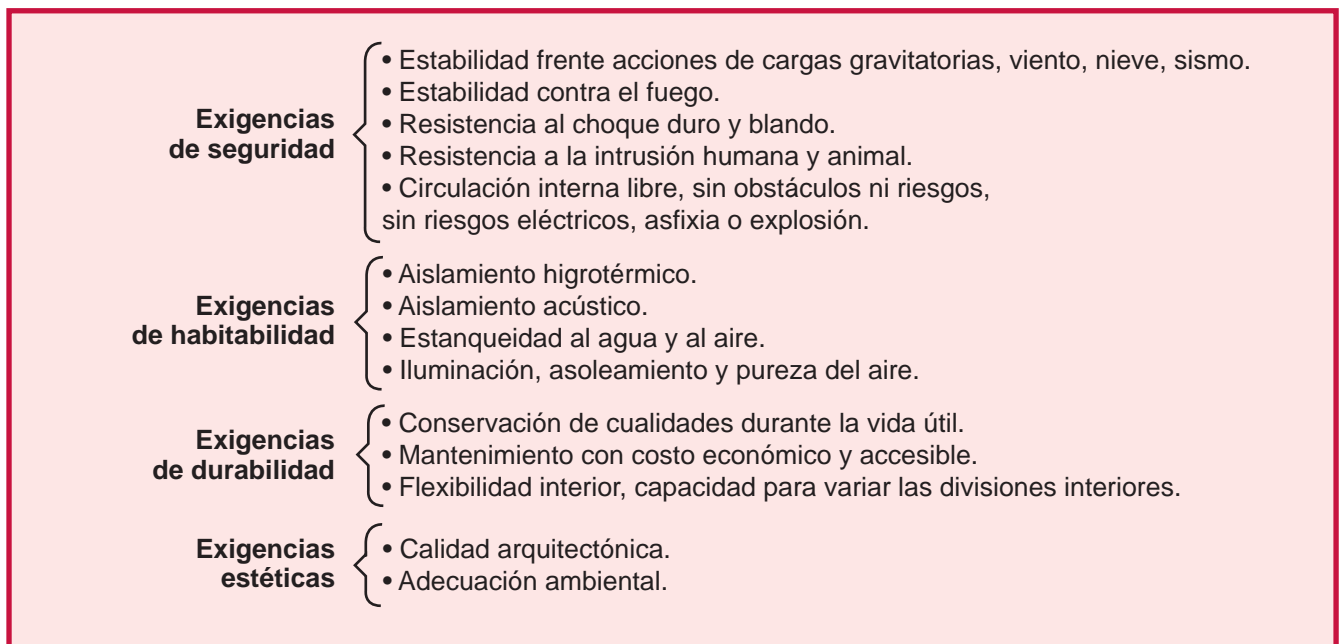


da, cada una de ellas puede abrirse en forma más detallada analizando los reglamentos de construcción, urbanísticos, municipales y de empresas proveedoras de servicios.

Reglas de calidad

Todos los conceptos y exigencias que trataremos son para una **"vivienda"**, **no un sustituto** sin calidad y con durabilidad reducida. Si se quiere construir menos caro se afecta la durabilidad y finalmente el producto será una edificación que no alcanzará los 50 años a los que aspiramos. Seguramente antes de ese tiempo habrá que rehacerla.

¿Para nuestro País es esto más barato? ¿No es pagar dos veces la misma obra en una misma generación?



De las exigencias o aspiraciones humanas expresadas, se derivan las reglas de calidad que deben cumplirse en una vivienda y obviamente deben preverse en el diseño, con el agregado nuestro de normativa, son ellas:

Reglas de seguridad

(Reglamentos CIRSOC, Reglamentaciones Municipales)

La seguridad es función del riesgo y estos pueden ser:

Riesgos normales

- . Provocados por acciones de cargas y sobrecargas gravitatorias.
- . Acciones de la nieve, hielo, viento y choque.
- . Intrusiones humana y de animales no deseadas.
- . Caída de rayos.
- . Obstáculos a la circulación interna en piso y entresijos.
- . Riesgos por equipos o instalaciones.



Riesgos en terminaciones tradicionales

Riesgos anormales

- . Acciones provocadas por incendios (Ley Nacional)
- . Acciones originadas en sismos, inundaciones, aludes y maremotos.
- . Gases tóxicos en zonas fabriles. (Reglamentos municipales).
- . Explosiones en polvorines o de depósitos de combustibles. (Reglamentos de calidad ambiental).

Reglas de habitabilidad

(Normas IRAM)

- . Protección frente al medio, condiciones de confort y de uso.
- . Estanqueidad al agua, viento, nieve, polvo e insectos.
- . Comportamiento a la acción combinada de agua y temperatura.

- . Confort térmico y acústico aceptables.
- . Capacidad para recibir instalaciones, equipos y mobiliario.
- . Adecuada iluminación y ventilación.
- . En las habitaciones una de las paredes como mínimo debe ser clavable y el clavo debe aguantar una carga mayor de 3 (tres) kg.
- . Protección contra radiaciones nocivas.

Reglas de durabilidad

(Normas IRAM).

- . Durabilidad prevista: 50 años para estructuras y obra gruesa.
- . En instalaciones, carpinterías e impermeabilizaciones puede ser menor.
- . Costo de mantenimiento accesible para el ocupante.

Estas reglas de calidad no son permanentes y es natural que vayan evolucionando. Las necesidades de adaptación a nuevas circunstancias y la aparición de nuevos equipamientos en la vivienda, las agresiones que se siguen cometiendo contra el "habitat", la contaminación ambiental en las ciudades, ríos, mares, zonas de alta atmósfera, y las variaciones climáticas hacen pensar que las exigencias serán mayores pues el desaprensivo comportamiento humano ya está obligando nuevas reglas de calidad o más leyes de preservación del ambiente.

Viviendas tradicionales

La producción de viviendas se realiza en nuestro País con sistema tradicional en su mayoría. ¿Qué es tradición constructiva en la Argentina? Simplemente, la que nos dejó España como herencia arquitectónica, la construcción llamémosla mediterránea, colonial, en fin la que se usa también en Italia, Francia y Portugal.

Una vivienda en sistema tradicional para nosotros, es aquella que tiene muros de mampostería de ladrillo común o hueco, o bloques de hormigón o cerámico, y su techo tiene cubierta de chapas metálicas o tejas. En la estructura del techo el hormigón armado es desde hace mucho el más común en vastas zonas y no siempre es el más apropiado.

Otras tecnologías de menor uso pero también tradicionales son las de ciertas zonas del Norte con paredes de ladrillos comunes más grandes y aunque son cocidos les llaman "adobones", muy difundidos también en Mendoza y San Juan.

En zonas cordilleranas y de serranías también se ha usado la piedra en forma de mampuestos pero no es relevante. En Humahuaca como herencia indígena pueden verse todavía algunas edificaciones en piedra.



Tradición indígena en la construcción



Tecnología canadiense en madera (Balcarce, Bs. As.)



Mampostería de piedra

En el Noreste se usa la madera para la vivienda tradicional pero con escaso desarrollo de sus posibilidades y diseños deficientes. Esto hizo que la Secretaría de Vivienda la considere "vivienda no tradicional" y siga exigiendo para las obras con fondos nacionales que cuente con el C.A.T. (Certificado de Aptitud Técnica).

Hemos comprobado en un número significativo de obras, la falta total de protección de la madera, detalles constructivos importantes ignorados, que afectan la durabilidad en principio y finalmente la seguridad de la casa. Por eso pensamos que es útil la difusión del "Manual Técnico del Uso de la Madera en la Construcción de Viviendas" publicado por la Secretaría de Vivienda.

Aun cuando parezca obvio, resaltamos que lo tradicional en otros países con experiencia de siglos, puede no serlo en el nuestro, y el uso de la madera en la edificación es uno de esos casos. **No es el material madera el cuestionado sino el mal empleo del mismo.**

Se dijo antes que el sistema tradicional es el más usado entre nosotros. En obras de vivienda en el ámbito oficial,

podríamos decir que es el 90 % de lo ejecutado, fue un poco menor en los años 80 cuando desde el gobierno se promocionaron los sistemas industrializados.

Industrialización de la construcción de viviendas

Damos a continuación una de las muchas definiciones de industrialización, a nuestro entender la más adecuada:

"Producir viviendas reemplazando la mano de obra artesanal, con máquinas utilizadas por obreros especializados en su manejo, o con máquinas automáticas".

Parece absurdo pensar en la industrialización cuando estamos afectados por altos índices de desocupación y debiera pensarse en ocupar más mano de obra.

Este mismo argumento se usó cuando se produjo la revolución industrial y sucedió exactamente lo contrario ya que la mayor productividad generó mayor consumo y más ocupación.

Es ilustrativa la sentencia que el juez Mr. Baron Thomson de Inglaterra, dictó en Enero de 1813 en el proceso seguido a una banda de mecánicos que destruían las maquinarias (los Luddites) arguyendo que estas disminuían la demanda de mano de obra y originaban la reducción del salario.

Dijo el juez: "...Gracias a ella (la maquinaria) disminuyen los gastos y aumentan el consumo y la demanda de productos tanto en el mercado interior como en el exterior; y a la supresión de la maquinaria seguiría el cese de la fabricación, ya que nuestros precios no serían competitivos con los de otros países que también la hubieran suprimido...". Aparte que se trataba de otros productos y situaciones distintas vale hoy la afirmación hecha en otro párrafo respecto al floreciente desarrollo que originaron.



Vivienda tradicional en zona sísmica

Con la demanda de vivienda en Argentina ¿es lógico pensar en mayor desocupación?

Por otra parte, el operario de máquina aprende más rápido su manejo que el albañil su arte, al que lleva años llegar a serlo.

Otro fenómeno se produce en los últimos años en la Argentina, al haber ciertas muestras de reactivación en el sector, y es el de la aparición de albañiles de países limítrofes sin cumplimiento de las leyes salariales, en desmedro de nuestros operarios.

La realidad indicaría que favorecer el empleo de artesanos extranjeros no mejora el desempleo de los compatriotas.

Necesidad de industrializar

¿Cuales son las causas o razones que llevan a industrializar o promover cambios del método de producción?

Existe en nuestro mercado de viviendas un grupo de hechos que se repite frecuentemente tanto en las obras privadas como en las públicas, de los que mencionamos los más destacados:

- **La calidad de las construcciones de viviendas masivas es cada vez menor debido a una mano de obra ineficiente por escasez de quien la concreta: el oficial albañil.** Esto genera una menor productividad que la empresa la considera en los presupuestos a cotizar en obras siguientes.

- De lo anterior surge que **se utiliza más mano de obra de la necesaria**, que se destina a sustituir máquinas (p.ej. hacer mezclas en forma manual y de menor calidad). Esto es subocupación disimulada y una subestimación social del que la sufre.

- **El uso de subcontratistas** en gran parte de la obra, que lógicamente trabajan a mayor velocidad en detrimento de la calidad.

En general las fundaciones, los revoques, el hormigón, los revestimientos se subcontratan en las obras de vivienda.

- **Incumplimiento de entregas de obras** en los plazos estipulados.

Las multas convenidas en general no se aplican por lo difícil y enojoso de su ejecución y la gran demora en la solución si se recurre a la justicia.

- Cada vez es **mayor el número de accidentes laborales** y el valor de las primas se incrementó. El origen de esto debe buscarse en la inexperiencia del obrero utilizado.

- **El albañil ejerce por su capacitación un control de calidad** de las características físicas de los materiales ya que con el uso diario detecta defectos sin recurrir a ensayos, nos advierte del ladrillo malo, de la falta de esquadria de una baldosa, etc.

Su ausencia en la obra se debería suplir con ensayos a los que somos francamente reacios.

Porque realmente, ¿cuántas veces ensayamos un bloque o un ladrillo que luego se colocaron en una pared portante exigida? Y si tuviéramos la intención de hacerlo, ¿dónde está el laboratorio con experiencia y las normas que lo realizarían?. Hay 10 ó 12 laboratorios capacitados en el País.

En general, este fenómeno de carencia de artesanos es mundial y en ciertos países desarrollados el oficial albañil



Conjunto de viviendas FONAVI

ñil es tan escaso que se ha transformado en el operario mejor pago con salarios casi de ejecutivos. Es que observando trabajar a un albañil se puede apreciar la cantidad de tareas distintas que realiza: cálculo de materiales para el trabajo inmediato, mediciones, nivelaciones, uso de variadas herramientas, etc. y muchas veces a la

intemperie rigurosa y en situaciones peligrosas.

El aprendizaje de estas habilidades se adquiere con años de práctica y cuando se llega a ser un "buen oficial", no se encuentra una mejora importante en su salario ni tampoco un mayor reconocimiento social, de aquí que no exista un mayor interés en perfeccionarse en la construcción.

Ya en nuestro País se produjo la traslación de estos obreros a otras industrias por falta de actividad unas veces y otras por la seguridad de continuidad en el trabajo y mejores condiciones para efectuarlo.

Por lo expresado, por lo que dicen los indicadores oficiales y también los mismos gremios, es razonable suponer que a breve plazo esta disminución de obreros especializados, y su costo, hará que las empresas que se dediquen a la obra masiva de vivienda, vayan a la industrialización del sector, quedando la obra pequeña o muy sofisticada para la construcción tradicional.

En la República Argentina los costos de un edificio tradicional se reparten aproximadamente en:

- 40 % Gastos en materiales.
- 35 % Gastos en mano de obra.
- 25 % Gastos generales y beneficio.

Estos valores han sido variables en los últimos decenios, debido a la inestabilidad económica, a la inflación permanente, a los elevados costos financieros, a las tasas de seguro, etc. pero en algunas cortas épocas "normales" podríamos sostener que eran representativos.

Para que la industrialización tenga éxito deberían disminuirse los gastos indicados, un análisis rápido señala que el único susceptible de reducir es la incidencia de la mano de obra.

Efectivamente, los materiales tradicionales como morteros, hormigones, cerámicos y derivados del acero tienen tecnologías muy elaboradas y será difícil abaratarlos. La sustitución en nuestro País se haría por otros más caros como plástico, madera, aluminio, derivados químicos y otros.

Los gastos generales aumentarían por la mayor incidencia de las amortizaciones por desembolsos derivados de una nueva tecnología que exige investigación, proyectos, equipos para la fabricación y montaje, prototipos, promoción y comercialización.

Sólo la mano de obra puede reducirse y en el mejor de los casos mantenerse los otros ítems. En los materiales usando los cementos y arcillas, como sucede con los grandes paneles prefabricados. Esto hace que esta tecnología en la Argentina como lo fue en Europa post guerra pudiera competir en las obras masivas, privadas o públicas.



Montaje de sistema de paneles en París (Francia)



Fachada del conjunto en París (Francia)



Detalle del revestimiento de terminación

Con otros procedimientos, p.ej. sistemas livianos, los materiales generalmente son más caros pero mayoritariamente las instalaciones de fábrica, el transporte y el montaje son más baratos que en los sistemas pesados.

Pero siempre resulta que la disminución de costos debe buscarse en la reducción de horas hombre en fábrica y en obra.

Cuando tratemos en particular cada tipo de sistema constructivo se darán algunas proporciones de costos.

Supongamos ahora que un sistema industrializado muy desarrollado llega a reducir el costo de la mano de obra en un 50 % y mantiene los mismos valores para materiales y gastos. Reduciría el valor total de los costos directos en un 17,5 %. Desde luego que lograría un verdadero éxito técnico y financiero nada común.

Pero queremos con este elemental ejemplo, destacar como valor informativo profesional, que muchas veces se promueven sin mayor análisis afirmaciones que difunden que la industrialización nos llevaría a costos en nuestras viviendas inferiores al 50 % de los valores de la vivienda tradicional.

También hay que señalar que en estos momentos nuestros costos de producción son inestables por el deterioro de la actividad, ya que se trabaja en muchos ítems con "cuadrillas" de subcontrato. La tecnología de producción es importante para una comparación de precios, pero es innegable que la industrialización reduce tiempos y finalmente lo que es seguro es que la calidad mejorará.

Debe saberse que hasta que el sistema se afiance y su mano de obra alcance el entrenamiento en el uso de sus máquinas y materiales, se darán costos que podrán ser no competitivos con lo tradicional.

Pero superada esta etapa, su rapidez, el trabajo bajo techo, el aprovechamiento superior del tiempo y las ventajas de la repetitividad de tareas influirán en los valores finales en forma favorable.

Primeras experiencias e ideas de industrialización

Es interesante destacar lo sucedido en Estados Unidos con la evolución de su tradición constructiva. No es aventurado decir que su construcción tradicional llega hoy en día a ser construcción industrializada en casi la totalidad de sus obras de vivienda.

Desde el carretón que llevaba las maderas para la estructura y cerramientos que conformaban el "balloon frame", a las fábricas que hoy venden casas en todo el país pasaron no más de 40 años, y sin teorizar sobre la necesidad de industrializar, lo hicieron cuando observaron **que con la misma inversión se podían hacer más unidades, es decir mejorar la productividad.**

Es posible que la tecnología de su construcción tradicional haya favorecido este desarrollo pero sabemos el

gran valor que en ese país se le da al tiempo.

Veamos algunos nombres de norteamericanos que transitaban en la fabricación de viviendas integrando la investigación técnica y la producción industrial.

Además de Frank Lloyd Wright que conceptualizó la unión imprescindible entre la tecnología y el diseño, fue Thomas Alva Edison quien en 1907 construyó casas prefabricadas de hormigón, de dos pisos a precios muy bajos.



Hospital militar prefabricado (1886)

En Nueva Jersey instaló una fábrica donde alcanzaba una producción de 150 viviendas anuales. El proceso de montaje de cada vivienda era de cuatro días.

Otro famoso inventor incursionó en la industrialización de la vivienda: Alexander Graham Bell que trabajó en 1901 con lo que hoy llamamos módulos tridimensionales conformando con tubos, tetraedros de gran resistencia mecánica y de poco peso.

John E. Conzelmann patentó en 1912 su sistema y construye edificios de varios pisos con elementos prefabricados de hormigón armado, losas, muros y columnas.

En Brooklyn en 1900 se habrían fabricado los primeros elementos de grandes dimensiones de hormigón armado que tenían 5.1 m de largo por 1.20 m de ancho y 0.05 de espesor. Eran placas que se colocaban sobre una estructura metálica. En 1905 en Pennsylvania se construye un edificio de cuatro plantas con losas prefabricadas y sólo se llenan en obra las columnas.

En 1907 para edificios industriales aparece el muy conocido "Tilt-up" con sus muros hormigonados en el suelo levantándose después a su posición vertical. En la actualidad se usa también para edificios de vivienda.

Estos trabajos más el desarrollo permanente que tenía el "balloon frame" con herramientas cada vez más novedosas creó en la sociedad americana la certidumbre de que así se debía hacer su casa, en fábrica y con máquinas.

Los trabajos de estos investigadores y empresas ayudaron a la tecnificación e industrialización de la casa tradicional americana y se llega hoy en EE.UU. y también en Canadá a que la vivienda tradicional es totalmente industrializada. Y ya desde la década del 70 se certifica la calidad de una vivienda al salir de la fábrica en forma similar a la que se está usando en Europa con otros productos y con las Normas ISO 9.000.

Veremos más adelante este tipo de certificación que no alcanza a la ejecución "in situ" es decir fundaciones, anclajes, conexiones, etc.

En Europa aparecen con el siglo XX las fábricas de viviendas usando hormigón armado.

En Francia desde 1891 la Empresa Coignet trabaja con vigas de hormigón prefabricadas para el Casino de Biarritz y en Alemania ya se fabricaban pilotes de hormigón armado en 1906.

Toda la actividad de concretar viviendas prefabricadas en hormigón se desarrolla principalmente después de la primera guerra mundial en Francia, Dinamarca y Alemania.

Gropius, Mies Van Der Rohe, Nervi y muchos más descubrieron rápidamente la necesidad de hacer el cambio en la construcción para transformarla en una industria con fábricas y menor tiempo en el lugar de implantación de la obra.

La segunda guerra interrumpe esos primeros pasos hasta 1950 aproximadamente en que algunas firmas francesas y dinamarquesas sentaron las bases para la construcción de edificios con grandes paneles cuyos conceptos fundamentales siguen siendo valederos.

Mencionamos entre ellas Camus, Coignet, Estiot, Larsen & Nielsen y a partir de 1960 Alemania se incorpora en principio asociada a las anteriores y después con sistemas propios.

En nuestro País en los primeros años de la década del treinta el Ing. José Delpini trabajó en algunas obras con elementos premoldeados.

Hasta los años sesenta en los que aparecen las primeras fábricas con sistemas nacionales se trabajaba con algunos extranjeros o en baja escala de industrialización (p.ej. pequeños paneles).

Posteriormente veremos algunas de esas tecnologías que gozan del mérito de haber buscado una mayor eficiencia en la construcción.

Es interesante comprobar que en el período que transcurre entre las dos guerras mundiales personalidades de la arquitectura opinaron sobre la incipiente industrialización

que se vislumbraba augurándole un porvenir dorado:

Decía Le Corbusier en 1920:

"El problema de la vivienda es un problema de la época. El equilibrio de la sociedad de hoy, depende de él. La arquitectura tiene como primera deuda, en este período de renovación que comienza como revisión de valores, una revisión de los elementos que constituyen la vivienda. La producción en serie está basada en el análisis y la experiencia. La industria en gran escala debe ocuparse de la edificación y establecer los elementos de la vivienda sobre las bases de la producción en serie. Debemos crear el espíritu de la producción en serie. El espíritu de la construcción de viviendas mediante la producción en serie. El espíritu de concebir viviendas de producción en serie. El espíritu de vivir en viviendas producidas en serie. Si eliminamos de nuestros corazones y mentes todos los conceptos muertos, relativos a la vivienda y miramos el problema desde un punto de vista crítico y objetivo, llegaremos a la Vivienda-Máquina, a la vivienda producida en serie, saludable (moralmente también) y bella al igual que lo son las herramientas e instrumentos que acompañan nuestra existencia. Bella también con toda la animación que el artista sensible puede añadir al severo y puro funcionamiento de los elementos".

En 1935 escribe Gropius:

"Llegaremos a un punto de competencia técnica en el que será posible racionalizar los edificios y producirlos en serie, reduciendo sus estructuras a un cierto número de elementos. Como los tacos de construcción de los niños, estos elementos se unirán en seco; esto quiere decir que la construcción terminará definitivamente de depender del tiempo.

Esta viviendas completamente terminadas, construidas sólidamente al abrigo del fuego, podrán ser expedidas completamente equipadas directamente de la fábrica, llegarán a ser, a fin de cuentas, uno de los principales productos de la industria. Sin embargo, antes que esto pueda realizarse, cada parte de la vivienda (forjados tabiques, ventanas, puertas, escaleras y equipos) deberán normalizarse.

El resultado neto debería ser una feliz combinación arquitectónica de un máximo de estandarización con un máximo de variedad".

Sin embargo a pesar de las expresiones los tiempos se prolongaron y la industrialización de la construcción de viviendas en Europa Occidental aún deja mucho que desear.

Ante ese panorama en 1976 Marcel Lods maestro de la industrialización en Francia protestaba diciendo:

"El día que se gaste en las viviendas el mismo esfuerzo que se está empleando en los objetos, habrá algún cambio. La Régie Renault encuentra absolutamente normal



Conjunto de viviendas industrializadas en Francia

el emplear tiempo, personal, capitales extremadamente importantes en el estudio de un auto (entre el programa y la salida de serie transcurren seis años) y la Renault dispone de una documentación muchísimo más importante que la que yo dispongo para los edificios industrializados en los que estoy obligado a inventar todo desde la A a la Z.

Los constructores de automóviles -o de otros objetos- no tienen, como es el caso de los arquitectos, la obligación de tener éxito al primer golpe; ellos hacen prototipos que pueden desechar. Yo trato, con grandes dificultades de realizar prototipos de elementos, someterlos a ensayos de resistencia mecánica, aislamiento térmico.

Cuando admitamos este sistema, la vivienda recuperará

el lugar que ha perdido con relación al resto de los objetos, pues actualmente un automóvil cuesta en francos constantes diez veces menos que lo que costaba en 1910. Es necesario que la vivienda reduzca su precio y eleve su calidad en la misma proporción".

Esta desazón entre lo previsto por los grandes maestros y la realidad actual, también nos puede desanimar en la voluntad de avanzar en industrializar nuestra manera de construir en la Argentina.

Pero si miramos bien como se desarrolla todo avance técnico veremos que ellos son producto de la necesidad. Cuando analizamos la industria de la construcción en los EE.UU. vemos, que se encuentra en buen grado industrializada (Se ha reemplazado la mano del artesano por la máquina). En esa sociedad se manifestaron los problemas enumerados en párrafos anteriores y la industrialización llegó como respuesta. En Europa, Francia sobre todo, se hicieron intentos de promover la industrialización con grandes planes plurianuales para sistemas constructivos, pero al cesar ese impulso oficial la actividad de los sistemas decreció, no desapareció, es decir los problemas que llevan a la industrialización no tenían tanta fuerza.

En nuestro país la necesidad de industrializar no ha sido lo suficientemente fuerte para hacerlo, y no se puede, como no pudieron hacerlo en Europa industrializar porque sea razonable hacerlo. Se industrializa cuando se necesita hacerlo. La industrialización no es un fin, **si no existe real necesidad de ella no aparecerá**, o lo hará en grados según se necesite. La teoría sin duda nos lleva a industrializar, **la realidad marcará los tiempos y formas** ✗

CAPITULO 2

Terminología

Con el objeto de evitar confusiones en los términos que se utilizarán con más frecuencia se da a continuación un listado con el significado que cada uno tiene en las normas IRAM o el adoptado por la Secretaría de Vivienda en sus Certificados de Aptitud.

- **Material:** Materia prima amorfa a la que a lo sumo se le ha aplicado algún tratamiento de calor.(cemento, ripio, arena, gránulos plásticos).

- **Elementos:** pueden ser

Simples: Cuando se le ha dado al material una forma para cumplir una determinada función (perfiles, placas, bloques).

Compuestos: (También llamados componentes). Además de tener una forma cumplen una o mas funciones en la obra o se combinan con otros elementos (estructuras, carpinterías, paneles).

- **Componente:** Un producto diseñado y fabricado para uno o varios usos en la construcción. Conceptualmente es similar a un elemento. En el desarrollo histórico de la industrialización el elemento comprende el todo de la función y el componente es parte del conjunto de edificio. Esto lógicamente es un acuerdo generalmente aceptado.

- **Componente de catálogo:** Es el componente elaborado sin pedido previo e integra el acopio permanente de fábrica.

- **Sistema Constructivo:** (Definición de la Secretaría de Vivienda), "Conjunto integral de materiales y elementos constructivos combinados según determinadas reglas tecnológicas para conformar una obra completa". En otros países se lo llama procedimiento constructivo.

- **Sistema tradicional:** Es el de uso más difundido en cada País con Reglamentos y Normas que regulan su empleo.

- **Sistema no tradicional:** El que no es tradicional, por sus materiales novedosos o técnicas poco conocidas.

- **C.A.T.:** Certificado de Aptitud Técnica: documento que otorga la Secretaría de Vivienda en el que se certifica que se ha hecho una evaluación técnica favorable de un material, elemento o sistema constructivo.

Otras definiciones aparecerán en el texto relacionadas con el tema en tratamiento.

Aclaración: Cada vez que se nombre "Secretaría de Vivienda" nos referimos al organismo nacional que tiene el tema vivienda entre sus misiones y funciones. Lo aclaramos debido a que en distintas épocas tuvo oficialmente otros nombres y rangos.

Guías para el estudio de los Sistemas Constructivos Industrializados

Se presentarán una serie de elementos que contribuyen al estudio de los Sistemas y permiten establecer parámetros para su comparación, fijando de esta manera criterios para tomar decisiones sobre la conveniencia de su uso, en cada caso.

Índice y grado de industrialización

Son dos valores que se utilizan en un edificio o programa para medir y calificar la industrialización de sistemas. El **"índice"** es el indicador de la cantidad y el **"grado"** es el indicador de la calidad del tipo de industrialización adoptado.

Existen diferentes fórmulas para expresar los índices de prefabricación, siendo el más difundido el siguiente:

$$I = \frac{100}{t_2 (t_1 + t_2)}$$

siendo

t₁ = tiempo de fabricación y transporte en horas-hombre/m² de superficie útil.

t₂ = tiempo en obra.

Aclaremos que el **"índice"** no representa mayor productividad o eficiencia en el empleo de los recursos disponibles, refleja con su crecimiento que la mano de obra en fábrica es mayor.

Son interesantes los valores calculados con ese índice

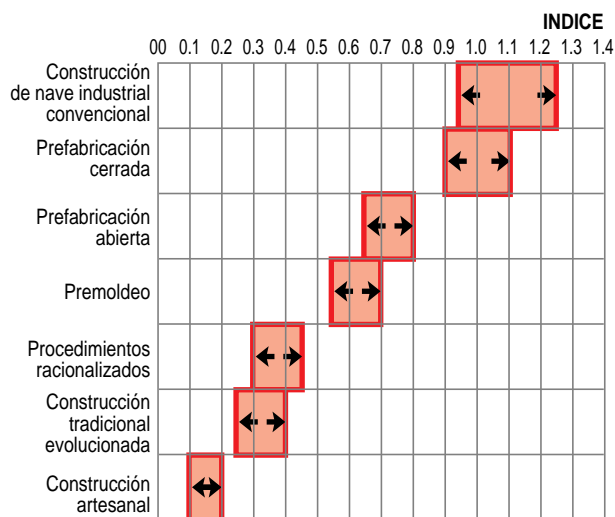


Fig. 1: Aplicación del índice de industrialización

usando parámetros de rendimientos horarios generalmente aceptados, realizados por el Ing. J. Salas de España, ver **Figs. 1 y 2**.

El primero muestra en ordenadas, grupos de tecnologías distintas con las zonas de variación al aplicar el índice en sistemas industrializados.

En la **Fig. 2** aparecen los índices medios para los métodos tradicional, racionalizado e industrializado y las bandas de oscilación. El modelo estudiado fue para viviendas de aproximadamente 70 m² en bloques y operatorias superiores a 200 unidades con diferentes sistemas constructivos.

La construcción industrial "convencional", (construcción de fábricas) sería la de mayor índice comparativamente, bastante lógico dada la poca variedad en exigencias respecto a las de una vivienda.

El "índice" atiende exclusivamente a criterios de lograr incrementos apreciables del trabajo en fábrica, acorde con los objetivos básicos de la época en que se generalizó su uso, década del 70. No se evalúan otras prestaciones como la calidad obtenida, relación costos y performances, inversiones, consumo energético ni la calificación de la mano de obra local.

La situación actual es diferente y esos parámetros no pueden ser ignorados, la implantación de una fábrica de viviendas afecta el medio ambiente por la energía usada, los residuos y emanaciones que genera, el movimiento de sus equipos, el uso de carreteras, los ruidos producidos, y muchos aspectos que dependen del sistema adoptado.

En la **Fig.3** se aprecia el resultado de un cálculo de los índices en horas-hombre en obra y por vivienda, según

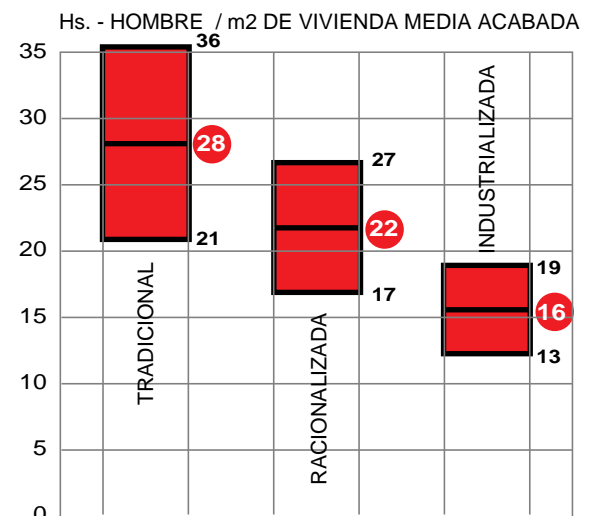


Fig. 2: Variación e índices medios estimados para procesos de construcción

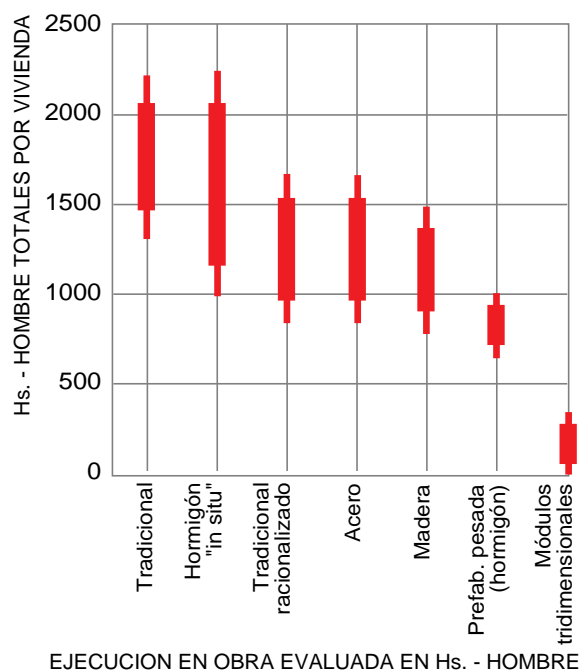


Fig. 3: Índices en horas-hombre totales "in situ" por vivienda para distintas tecnologías en Inglaterra

la tecnología empleada, realizado en Inglaterra, por I. Gauntlett director del National Building Agency. Los trazos gruesos corresponden al 80 % de los casos estudiados y los finos, 20 %, el de los casos extremos. Las viviendas analizadas tienen las mismas características del caso anterior.

El **grado de industrialización**, como ya se dijo, es un indicador de características cualitativas y es difícil encontrar una forma general de valorar todos los factores que pueden presentarse cuando deba realizarse una elección.

En Francia el "Grupo Tecnológico del Plan Construcción" dividiendo en dos grupos llamados "**procedimientos tecnológicos**" y "**tecnología de elaboración de componentes**" los valora según parámetros diversos y clasifica tomando 0, + ó -, que corresponderían a: neutro, favorable o desfavorable.

Las **Tablas 1 y 2** son ejemplos de la larga lista confeccionada. El objetivo del trabajo era dar **criterios orientativos del grado de industrialización para la ejecución de una obra ya determinada**.

Todo esto es quírase o no, subjetivo, ya que depende de quien juzga, pero las evaluaciones siempre han sido así. Es indudable también que las listas proporcionan criterios útiles al juzgar la adecuación a los parámetros de la propuesta ofrecida.

El proceso se completaba con otra tabla que ordenaba

CRITERIOS DE EVALUACION		TABLA 1						
		PROCEDIMIENTOS GENERALES EVALUADOS						
		CAP. DE COMERCIALIZACION EN UN SISTEMA INTEGRADO	CAP. DE COMERCIALIZACION COMO COMPONENTE	APORTES DE MEJORAS A LAS CONDICIONES DE TRABAJO DE OBRA INMIGRADA	MATERIAS PRIMAS CONSUMIDAS	DISMINUCION DEL CONSUMO DE ENERGIAS	NECESIDADES DE INVERSION	
A11	T2 Grandes paneles de fachada sandwich de hormigón aislante ligero.Capa ext. muy delgada.	-	+	0	+	+	+	-
A12	T1 Grandes paneles de hormigón homogéneo ligero.Aridos ligeros.	-	+	0	+	0	+	-
A13	T1 Grandes paneles de hormigón y productos huecos. Piezas cerámicas de grandes dimensiones.	-	0	0	+	+	0	-
A3	t1 Hormigonado in situ. Mesas y encofrados muro.	+		0	0	+	-	0
A3	t2 Hormigonado in situ. Túneles.	-		0	0	+	-	-
A5	Estructuras prefabricadas de hormigón y sistemas asimilados	0	+	0	0	+	+	-
A62	Elementos tridimensionales (montaje en fábrica o en obra)	-		+	+	0	0	0
A63	Vivienda unifamiliar y pequeños edificios de estructura metálica.	+		+	+	0	+	+
A73	Vivienda unifamiliar tridimensional, madera, módulos, móvil.	-		±	±	-	0	0
A8	Cápsulas.	-	-	0	0	-	-	-

CRITERIOS DE EVALUACION		TABLA 2						
		TECNOLOGIAS DE ELABORACION DE COMPONENTES						
		CAP. DE COMERCIALIZACION EN UN SISTEMA INTEGRADO	CAP. DE COMERCIALIZACION COMO COMPONENTE	APORTES DE MEJORAS A LAS CONDICIONES DE TRABAJO DE OBRA INMIGRADA	MATERIAS PRIMAS CONSUMIDAS	DISMINUCION DEL CONSUMO DE ENERGIAS	NECESIDADES DE INVERSION	
B12	Paneles de fachada ligeros de madera.	-	+	+	-	0	0	
B13	T1 Paneles de fachada ligeros no de madera. Sandwich chapa metálica y poliuretano.	0	+	0	-	+	0	
B13	T3 Paneles de fachada ligeros no de madera. Panel de hormigón ligero.	0	+	0	-	+	-	
B134	Amianto-Cemento. Componente de fachada	-	0	0	0	0	0	
B21	Componentes de tabiquería de yeso.	0	0	0	+		0	
B32	Componentes tubulares en hormigón pretensado.	+	0	0	+	0	-	
B34	"Semilosas"	0	0	0	+	-	0	
B42	Componentes de cubierta y techumbre. Asfalto.	+	0	0	-	0	0	
B5	Componentes de equipamiento hidráulicos salvo B54 (bloques sanit. prefabricados) T1 y T2	+	+	+	+		-	
B6	Componentes de distribución de electricidad y gas.	0	+	+	+	0	+	

los resultados de cada grupo respecto a los parámetros, que debían ser favorables o neutros.

Tiene para nosotros la importancia de brindar datos para la elaboración de una política pública o empresarial no sólo en el aspecto tecnológico sino integral, para alcanzar un grado de industrialización adecuado a nuestra época.

La serie, los materiales usados, la integración y la racionalización

De la definición dada de industrialización en el Capítulo anterior se desprende que es el uso de la máquina, reemplazando al artesano, lo que determina si el sistema es más o menos industrializado y siempre refiriéndonos a la totalidad del hecho constructivo.

Tener un conjunto repetitivo de productos a fabricar, tener la **serie**, se identifica erróneamente con industrializar. Esta aparece cuando la demanda del producto es importante y **puede haber serie con productos artesanales, es decir nada industrializados.**

También ocurre que una construcción puede tener elementos de elevado nivel industrial y ser una construcción tradicional. Por usar ladrillos de máquina e incorporar carpintería industrializada no deja de ser tradicional un muro de cerramiento así conformado.

Otra asociación incorrecta es la de uso de **materiales nuevos** con industrialización ya que sabemos que **materiales tan viejos como la arcilla o tan usado como el cemento están en procesos constructivos altamente industrializados.** P. ej.: Células modulares de hormigón.

Algunas afirmaciones sobre **integración y racionalización** como condiciones para poder industrializar distan de la realidad.

La **integración** de los protagonistas de una obra y su coordinación unificada es siempre deseable en la construcción. Pero también es cierto que el proyectista de una obra pública no conoce a priori quien será el ejecutor de su obra. Sólo tiene el conocimiento de lo que necesitará para ejecutarla y lo expresa en un pliego de condiciones siendo esto suficiente para concretarla correctamente.

Si entendemos por **racionalización** "el conjunto de estudios de métodos de producción, incluidos los de gestión y tecnología conducentes a mejorar la productividad y la rentabilidad" es obvio que nada tiene que ver con industrializar.

Cualquier profesional con experiencia constructiva, aun cuando no sea mucha, puede contarnos cómo racionalizó una obra tradicional en el proyecto, transporte de

materiales o ejecución de la misma.

De aquí sacamos que "**racionalizar no significa industrializar ni tampoco lo industrializado está siempre racionalizado**", lo más frecuente es que se racionalice después de introducir la máquina en el proceso.

Gérard Blachère complementa la definición que dimos antes de industrialización con esta conocida ecuación:

$$\text{Industrialización} = \sum \begin{matrix} \text{Racionalización} \\ \text{Mecanización} \\ \text{Automatización} \end{matrix}$$

que comprendería un cierre total de industrializar la construcción de viviendas.

La mecanización es la mayor posible, la racionalización comprende todo el proceso (diseño, tecnologías, producción) y la automatización la máxima en todos los trabajos, con el objetivo de hacer más viviendas de la mayor calidad al menor precio.

Un capítulo aparte es la **computarización** que puede optimizar todo proyecto de industrialización, desde el diseño con la selección de la tecnología incluida, hasta el empleo de componentes y su relación con los adyacentes.

No es materia de este Manual pero sí queremos destacar su importancia como una herramienta hoy casi imprescindible, que se usa en la elaboración gráfica de un desarrollo con la posibilidad de seleccionar alternativas; o la determinación de componentes por las características físicas de los materiales que los integran con rapidez y seguridad.

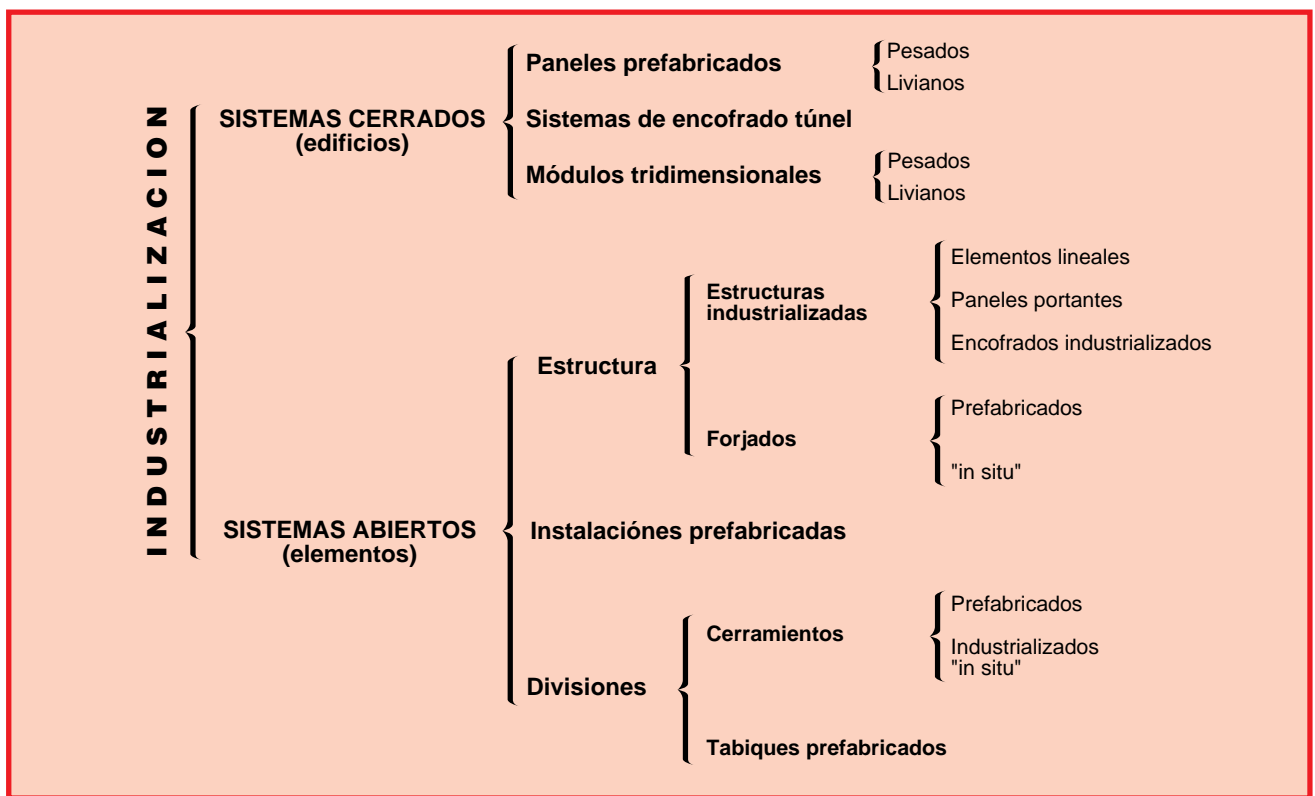
Verificar el comportamiento térmico de una pared o techo o calcular las acciones de viento o sismo para una determinada forma de un proyecto son facilitados por el uso de la computadora.

Métodos de la industrialización

La clasificación de los métodos de industrialización nos mostrará que en ciertos casos, hay zonas difusas en cuanto a las definiciones, donde se hace difícil, ubicar algunos procedimientos.

Aquí llegamos a dos formas de industrializar: una es ya una realidad con muchos ejemplos difundidos ampliamente y la otra es una elaboración que requiere unas condiciones previas para su aplicación, de normativa y convenios de la industria.

La primera es la llamada de **sistemas cerrados** (o de modelos) y la otra es la de **sistemas abiertos** (o de elementos).



Los sistemas cerrados

Resuelven todo un edificio y sus elementos no pueden intercambiarse con los de otras fábricas tal como sucede en la industria de electrodomésticos. Son ejemplo de ellos los de paneles prefabricados pesados o livianos, los de encofrados túnel y los módulos tridimensionales.

En estos sistemas la coordinación modular y dimensional no tiene mayor importancia, es sólo una forma de trabajo interna sin relación con la que adoptan otras marcas. Se tienen en cuenta para adaptarse a las medidas más o menos corrientes de algunos elementos tales como mosaicos, azulejos y otros revestimientos, evitando cortes de piezas que demoran el trabajo y son difíciles de realizar.

Los sistemas abiertos

En este caso se **industrializa no el edificio sino los componentes del mismo y su característica principal es la intercambiabilidad** de los mismos aun cuando sean de distintas fábricas con uniones cada vez más universales.

Para que esto sea posible debe haber una **coordinación dimensional y modular aceptada** por todos los que intervienen en el proceso constructivo y la otra con-

dición es que haya una **compatibilidad de las juntas**.

Creemos que estas son las razones que demoran su difusión pese a lo sensato de la propuesta. Tal vez en Norteamérica y Francia sean los lugares de mayores logros con este sistema.

En el cuadro superior se resume lo expresado.

Clasificación de los sistemas constructivos

Con lo visto podemos intentar una clasificación de los sistemas industrializados más amplia. De acuerdo al objetivo buscado con la obra se hace la clasificación para compararlos y resolver el más conveniente para cada ocasión. Si se busca priorizar el trabajo en fábrica se utilizarán los "índices", si el trabajo es en zonas inaccesibles se buscarán sistemas livianos. No sería sensato trabajar con un sistema de grandes encofrados en la Antártida donde la elaboración del hormigón requeriría precauciones especiales al igual que su colocación.

Si consideramos el problema de vivienda integralmente, hay que remarcar que no siempre los parámetros para una clasificación son tecnológicos. Pueden serlo de financiación, de comercialización, de consumo de energía, sociales, de ocupación de mano de obra, etc.

Uno de los sistemas más usados en nuestro país, nació con la necesidad de evitar la desocupación de personal que terminaba una importante obra de hormigón en una Provincia. Por la experiencia que habían adquirido se eligió un sistema de uso intensivo de hormigón, lástima que en esa Provincia no había áridos aptos para hacerlo. Resumiendo, según la necesidad será la clasificación.

En la Argentina se ha adoptado clasificar a los sistemas constructivos por el peso máximo de sus componentes y el de realización en obra.

Se clasifican entonces en :

- Sistemas **livianos** hasta un máximo de 100 Kg.
- Sistemas **semi pesados** de 101 hasta 500 Kg.
- Sistemas **pesados** con componentes de más de 500 Kg.
- Sistemas **"in situ"** por realizar parte importante de la obra en el lugar y usar equipos y máquinas en obra gruesa y terminaciones

Esta clasificación se usó en las obras del Fondo nacional de la Vivienda (FONAVI) al solo efecto de aplicación en distintas circunstancias impuestas por razones topográficas, distancia a los centros de provisión de materiales y de producción, limitaciones en el transporte y otras.

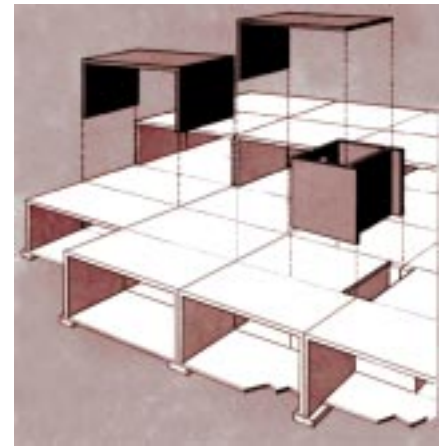
Las motivaciones pueden ser distintas y hacen que se discriminen a materiales o tecnologías como podría presentarse en zonas de ambientes agresivos o climas marítimos que excluirían ciertos metales, o la presencia de suelos de bajas resistencia que limitan el uso de estructuras pesadas.

La clasificación por el peso máximo de los componentes es muy usada en casi todos los países para una caracterización rápida de su tipo de construcción. Analizándola se observa que es también un cierto agrupamiento de tecnologías y predominancia de materiales y elementos.

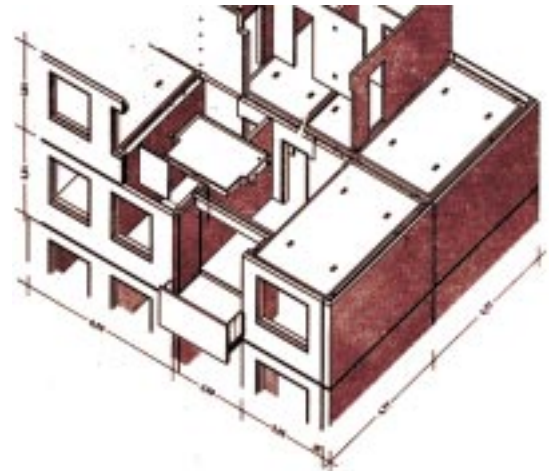
En los sistemas livianos se usan chapas metálicas que utilizan el plegado, la extrusión, rodillos para deformación, punzonado ,etc. para su procesamiento. La madera y sus derivados se trabaja en secciones de distintas escuadrías con compensados y tableros aglomerados unidos por clavos, pernos y conectores. El herramental para la madera está hoy en día tan desarrollado que en talleres y fábricas, se puede decir que existe una máquina para cada función o terminación a lograr.

El hormigón liviano en placas o paneles de pequeñas dimensiones trabajado con aditivos o agregados de baja densidad se usa para cerramientos de sistemas livianos.

Los sistemas "in situ" son a base de hormigones livianos colados en encofrados o capas sucesivas de morteros u hormigón convencional proyectadas sobre mallas electrosoldadas con núcleo de aislante.



Esquema de sistemas volumétricos (módulos)



Esquema de sistemas de placas



Esquema de sistemas lineales (esqueleto)

Otra clasificación muy usada es según las características estructurales:

- a) **Unidireccionales** o lineales (esqueletos);
- b) **Bidireccionales** o planos (placas, paneles);
- c) **Tridireccionales** o volumétricos (cajas o módulos).

En la **Tabla 3** se muestra una clasificación de los sistemas de construcción industrializada según diversos objetivos que se busque resaltar. Como ya se dijo siempre será posible de agregar ítems que por distintos motivos puedan interesar.

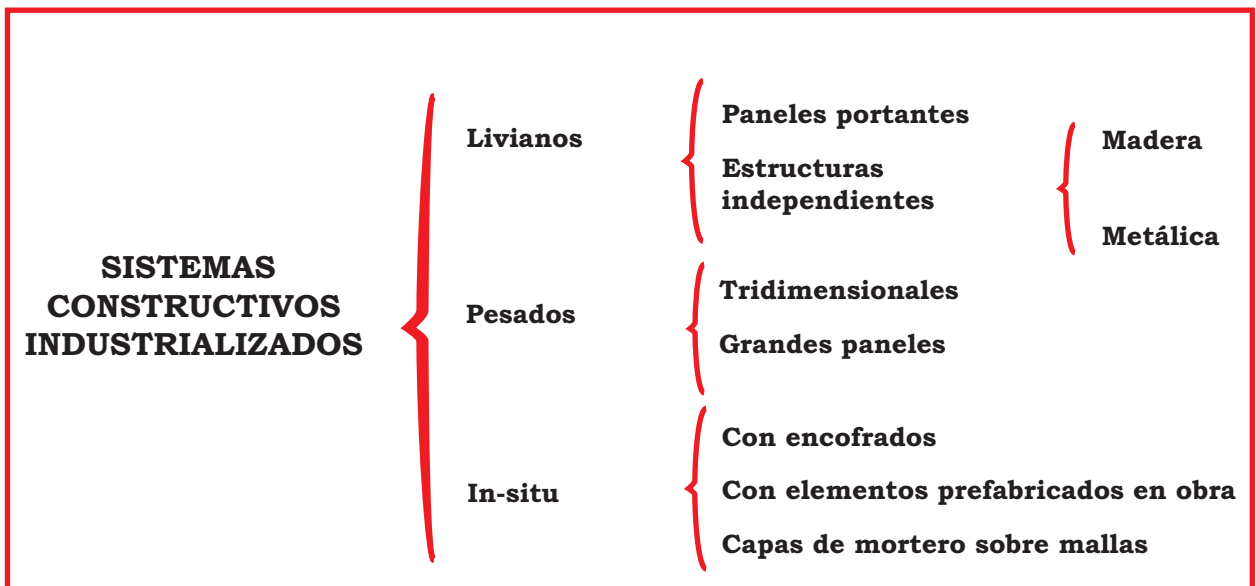
En este manual y por razones didácticas y el vocabulario constructivo usual en nuestro medio se han clasificado los sistemas en el cuadro que figura debajo.

Consideraciones sobre los sistemas livianos y pesados

Aun cuando posteriormente se desarrollarán con más amplitud las características de cada uno de ellos, creemos necesario expresar algunas ideas fundamentales que los diferencian y los hacen

TABLA 3

INDICE DE INDUSTRIALIZACION	POCO INDUSTRIALIZADO INDUSTRIALIZADO MUY INDUSTRIALIZADO	Cuando el índice de industrialización es inferior a 0,20. Cuando el índice de industrialización está entre el 0,20 y el 0,60. Cuando el índice de industrialización es superior a 0,60.
CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES	LINEALES PLANOS VOLUMETRICOS	Esqueleto Paneles placas Módulos ó cajas
PESO DE LOS ELEMENTOS	LIVIANO SEMI-PESADO PESADO	Los elementos no sobrepasan los 100 kg Los elementos tienen un peso máximo entre 101 y 500 kg El peso máximo de los elementos es superior a 500 kg
DISPOSICION DE LOS ELEMENTOS PORTANTES	LONGITUDINAL TRANSVERSAL CRUZADO	Elementos portantes principales paralelos al eje longitudinal de la construcción Elementos portantes principales paralelos al eje transversal de la construcción Elementos portantes principales en planos eje longitudinales y transversales
FINALIDAD DE LA OBRA	VIVIENDAS SERVICIOS NAVES OTROS	Unifamiliares, en altura, etc. Escuelas, Hospitales, Oficinas Industriales, agrícolas Estacionamientos, silos, puentes, etc.
DIMENSIONES DE LOS ELEMENTOS	CELULAS GRANDES PANELES PANELES MEDIOS ELEM. LINEALES	Habitación, vivienda, bloque técnico Un elemento solo resuelve un paño de pared de dimensiones normales Una de las dimensiones es igual a la dist. suelo-techo Sección transversal pequeña comparada con la longitudinal. Pueden ser simples: pilares, vigas compuestos: pórticos, semipórticos mixtos: combinación de los anteriores
MATERIAL DOMINANTE	HORMIGON OTROS MATERIALES MIXTOS	Armado, pretensado, ligero, alveolar, etc. Acero aluminio, madera, plásticos, etc. Hormigón-cerámica, hormigón-acero, acero-cristal, etc.
LUGAR DE REALIZACION DE LOS ELEMENTOS	PREMOLDEO PREF. SEMIPERMANENTE PREF. FIJA CONVENCIONAL MIXTO "IN SITU"	Elementos preparados previamente Fábrica semipermanente de prefabricación Fábrica fija de prefabricación Fábrica industrial convencional Combinación de los anteriores Parte importante de la obra hecha en el lugar de la construcción



más o menos aptos para una circunstancia.

Partiendo del concepto común para livianos y pesados, de exigirles una durabilidad similar, (50 años en nuestro País) con el mantenimiento que requieren y aceptando como superabundante o no necesario una vida útil mayor para una obra de vivienda, podemos afirmar que con ambos podemos cumplir las reglas de calidad mencionadas en el Cap.1.

¿Qué vivienda tradicional o industrializada puede durar más de cincuenta años sin conservación adecuada?

La durabilidad de un casa depende de quien la ataque, un fuerte sismo destruye casas de mampostería u hormigón y no afecta a las de madera, si la acción es el fuego sucede al revés. La corrosión afecta a estructuras de acero y hormigón, el cedimiento de las fundaciones es más grave en sistemas pesados que en los livianos.

Podríamos seguir dando ejemplos de respuestas distintas de sistemas livianos o pesados, ante la agresión de las acciones, climas, suelos, ambientes o cualquier otra acometida destructiva. Por esto no consideramos valorativos estos inconvenientes que hasta cierto punto pueden deberse a errores de diseño, elección incorrecta de materiales, mala ejecución, etc.

Con estas prevenciones analicemos las "ventajas y desventajas" que a priori les asignamos a los sistemas livianos y pesados; considerando que las mismas son atribuibles a la mayoría de cada uno de ellos, pero recordando que pueden en algunos casos singulares no cumplirse.

Sistemas livianos

Ventajas:

Poca inversión inicial.

Flexibilidad en el proyecto.

Mayor diversidad en materiales y tecnologías.

Menores costos en transporte.

Más apto para obras dispersas.

Más apto para terrenos pequeños y con obras existentes cercanas.

Menor equipamiento para el montaje.

Mayor cantidad de herramientas portátiles en fábrica y obra.

Rápida adaptación de la mano de obra.

Elementos independientes de un proyecto completo.

Desventajas:

Materiales más caros.

Más desarrollo en el diseño de estructuras, uniones, carpinterías, etc.

Mayor necesidad de investigación y ensayos.(Impacto, compresión, etc.).



Esquema de vivienda de madera (Equipos DC)



Traslado de módulos de hormigón (MO.HA. Argentina)



Sist. de encofrados Túnel (Integrit Argentina)



Sist. de grandes paneles (Fattorello-Neuquén)



Sist. de ejecución "in situ" desde el interior y revocando los paramentos exteriores (Plastbau-España)



Sist. de prefabricación liviana con estructura de chapa de acero y paneles de hormigón (Súbitas-Argentina)

Mayor número de elementos a controlar.

Mayor estudio del transporte de elementos.

Mayor análisis del montaje y uniones ante acciones de viento.

Estudio más completo del anclaje y las fijaciones.

Mayor mantenimiento.

Sistemas pesados

Ventajas:

Uso de materiales más baratos y más conocidos.

Tecnologías usuales y diseños estructurales experimentados.

Terminaciones tradicionales.

Resistencia a acciones de choque y químicas.

Reducción en el número de juntas.

Menor mantenimiento.

Desventajas:

Proyectos más rígidos.

Mayor inversión inicial en moldes y equipamiento de fábrica.

Encarecimiento del transporte y montaje.

Mayor análisis en el diseño del acondicionamiento térmico.

Mayor incidencia del transporte por sus equipos y distancias.

Mayor inversión en equipos de montaje.

Mayor protección del personal en el montaje y ante inclemencias climáticas principalmente de viento y niebla.

Sistemas importados

En la década del 80 se produjo un ingreso de sistemas importados principalmente del continente europeo que tuvo una duración de no más de tres años. En general fueron sistemas y equipos para fabricar sistemas de grandes paneles. Se complementó esta importación con materiales como aditivos, selladores de juntas, separadores, mallas y armaduras especiales para algunos procesos.

Transcurridos los años suficientes puede hacerse una evaluación de este ingreso. En principio fue sin duda positivo en un mercado dominado por lo tradicional, cerrado hasta para las publicaciones técnicas que podían difundir materiales y técnicas novedosas. Coincidente con la posibilidad, para profesionales y empresarios, de viajes a países desarrollados, significó una renovación "mental" en la construcción, afortunadamente aceptado en las universidades y constructoras sin sentirnos "agredidos por esta invasión tecnológica exterior".

Concretamente, quedaron tres fábricas de grandes paneles, equipamiento para producir hormigones con fibra de vidrio y otros morteros livianos, equipos de encofrados muy tecnificados y casi al final maquinaria para paneles aislados de mallas electrosoldadas y morteros proyectados "in situ".

Con el uso de la madera se construyeron obras de alta calidad, procedentes de Finlandia, Canadá y Estados Unidos que ayudaron a los productores locales a demostrar la posibilidad de este material.

En lo referente a materiales y elementos podemos señalar la aparición de las placas de yeso, innumerables revestimientos de materiales poco difundidos o desconocidos. también la industria de bloques de hormigón y cerámicos pudieron ingresar nuevos equipos de alta productividad.

En igual medida se incrementó el equipamiento de las fábricas de productos sanitarios y eléctricos con el agregado de diseños de valor estético importante.

Si debemos evaluar **técnicamente** esta época, la juzgamos ampliamente positiva, una actualización postergada por abstracciones hoy incomprensibles pero no desinteresadas, que mantenían la actividad muy lejos de lo que se estaba haciendo en el mundo.

A partir de 1990 y al amparo de las vigentes condiciones económicas mundiales, se está produciendo otra oleada de productos y sistemas para la construcción. **La tendencia muestra que la importación se orienta hacia sistemas y elementos para la construcción liviana**, en su mayor parte procedente de América del Norte. En su ingreso al País aparecen sectores que no siempre pertenecen a la construcción sino que son importadores, que han encontrado el momento apto para su actividad. Esto ya ha mostrado en algunas zonas lo peligroso que resulta, cuando buenos sistemas son maltratados con cambios de materiales, tecnologías y mano



Grandes paneles con cerámico (Del autor en Brasil)

de obra inexperta. El importador hace la casa para venderla y **hacer su negocio hoy, mañana se verá si sigue siendo rentable**. Tampoco el Estado ha mostrado mayor interés en exigir el cumplimiento de las reglas de calidad fuera de su área.

Los productos que se están importando son en su mayoría buenos y aptos para los países donde se fabrican, muchos de ellos inclusive vienen avalados por certificaciones de calidad y amplia experiencia. No han aportado grandes novedades tecnológicas, a excepción de algunos tableros que tienden a ser el reemplazo de los de **asbesto-cemento ya prohibidos en varios países**. **Otra novedad es el cada vez mayor uso de estructuras metálicas livianas**, (chapa plegada) que pese a ser conocidas en la Argentina desde hace mucho, se usaron poco en nuestra construcción de viviendas.

Más adelante analizaremos los aspectos más relevantes para su ponderación ✖

CAPITULO 3

Requisitos de seguridad

Reglas de calidad

Las reglas de calidad con respecto a la seguridad se encuentran en los reglamentos CIRSOC, en reglamentos específicos como el de madera en Códigos Municipales y Leyes Nacionales o Provinciales.

Para aproximarnos al análisis de la seguridad estructural en los Sistemas Constructivos debemos tener presente que la reglamentación ha sido concebida y desarrollada para la forma tradicional de construir, por lo tanto cuando busquemos pautas de cálculo para algún tipo de sistema estructural novedoso o no tradicional primero debe cumplir la reglamentación nacional existente, si no la hay se recurrirá a reglamentación internacional, no sólo de procedimiento de cálculo sino de calidad de los materiales; si tampoco existe, se acude a experimentación mediante los ensayos adecuados. Estos ensayos deben cumplir la Normativa IRAM o de no contar con ella, una Normativa reconocida internacional (ASTM, British Standard, ISO, DIN).

Con el tiempo un sistema constructivo, o un material novedoso, al emplearse masivamente en un país lleva a los empresarios y al Ente Normalizador a definir una Norma de uso. Este es el caso del hormigón celular en Alemania, o de algunos plásticos en los EE.UU.

Las Reglas de Calidad de la Seguridad se agrupan alrededor de dos temas indicados en el cuadro.

Pasaremos revista a las acciones, poniendo por supuesto como objeto de atención aquello que importa a los sistemas industrializados. Posteriormente cuando se trate en particular cada sistema, se profundizará específicamente.

A) Acciones

Cargas Gravitatorias y sobrecargas	CIRSOC 101
Cargas de Viento	CIRSOC 102
Cargas de Sismo	NAA80 (*), CIRSOC 103
Cargas de la Nieve y del Hielo	CIRSOC 104
Superposición de Estados de Carga	CIRSOC 105
Acción Térmica Climática	CIRSOC 107
Fuego	Cód. Munic., Leyes Nacionales

B) Tipo de estructura resistente y materiales

Estructuras de Hormigón Armado y Pretensado	CIRSOC 201
Estructuras de Acero	CIRSOC 301 y siguientes
Estructuras de Madera	Manual de la Sec. de Vivienda
Materiales	Normas IRAM

(*) : (Normas Antisísmicas Argentinas)

A) Las acciones

1. Cargas y sobrecargas

Gravitatorias

Habíamos visto en el capítulo 2 que la clasificación más común de los sistemas constructivos es separar a los sistemas por su peso: **Livianos y Pesados**.

Veamos en números qué significa esto tomando una vivienda básica como muestra la **figura 1**: y evaluando sus pesos, comparándola también con un sistema tradicional. (**Cuadro 1**)

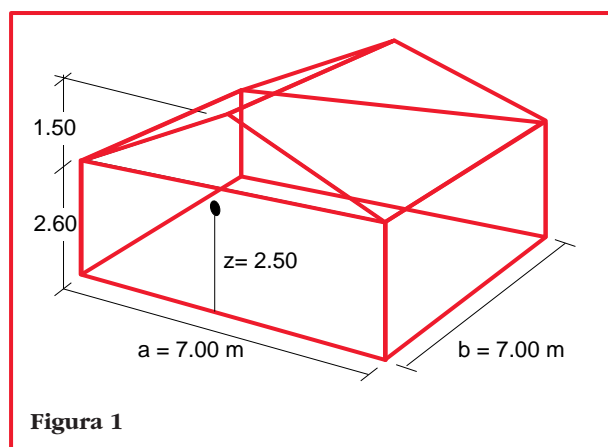
La casa construida con un sistema pesado, prácticamente pesa lo mismo que la tradicional, mientras que la liviana pesa alrededor de cuatro veces menos.

Si el lugar de emplazamiento de la vivienda es apartado o de difícil acceso con los sistemas pesados se encarecen los fletes; o si el terreno es de poca resistencia sin duda el Sistema Liviano tendrá ventajas.

Lo mismo ocurrirá si el emplazamiento es en Zona Sísmica donde las cargas de ese origen son proporcionales al peso, es decir un sistema liviano tendrá 4 veces menos solicitaciones de origen sísmico.

Otro punto para analizar es la forma que propone el reglamento CIRSOC 101 para las sobrecargas de cubiertas, esto es según las pendientes del techo varían las sobrecargas, al aumentar la inclinación va disminuyendo la sobrecarga. (Ver **Figura 2**)

Hay que tener en cuenta que al aumentar las pendientes crece la superficie expuesta al viento, lo cual en ciertas zonas incrementará las cargas en la estructura, por otra parte al acrecentar las pendientes se aumentan las superficies de techos y la superficie de paredes de los tímpanos en los techos a dos aguas. La pendiente ideal



saldrá pues de estudiar las consideraciones funcionales, estéticas y económicas.

2. Acción del Viento

El reglamento CIRSOC 102 tiene por objeto determinar los procedimientos y medios para obtener los valores de las acciones producidas por el viento sobre las construcciones.

El procedimiento comienza determinando la velocidad de referencia del viento (β) del lugar de la obra, ver mapa de la **figura 3**. Estos valores de velocidad son fruto de datos estadísticos, esta velocidad al cuadrado, multiplicada por una constante y por coeficientes que tienen en cuenta la altura de la construcción, su forma y la rugosidad del terreno, determinan la presión dinámica de cálculo (q_z). Luego se calcularán las acciones como prescribe la Norma (nuestra intención no es explicar la Norma, al contrario creemos imprescindible su lectura).

En el diseño habrá que poner especial cuidado en la determinación de la rugosidad del lugar (**Ver Figura 4**),

Cuadro 1

	Sist. Tradicional	Sist. Liviano	Sist. Pesado
Techos	Madera-Tejas 65 kg./m ²	Est. Metálica-Chapa 20 kg./m ²	Losa Hormigón 8cm-Tejas 240 kg./m ²
Paredes Exteriores	Mamp. L. Hueco 0.20 320 kg./m ²	Placa Cement. 1.9 cm Estr. Metal-Placa Yeso 70 kg./m ²	Hormigón 8 cm 192 kg./m ²
Paredes interiores	Mamp L. Hueco 0.10 160 kg./m ²	PlacaYeso-Estruc Met 35 kg./m ²	Hormigón 8 cm 192 kg./m ²
Total casa 50m2	50 x 65 = 3.25t 78.5 x 320 = 25.12t 78.5 x 160 = 12.56t	50 x 20 = 1,0 t 78.5 x 70 = 5.5 t 78.5 x 35 = 2.8 t	50 x 240 = 12 t 78.5 x 192 = 15.1 t 78.5 x 192 = 15,1 t
	41 toneladas	9.3 toneladas	42.2 toneladas

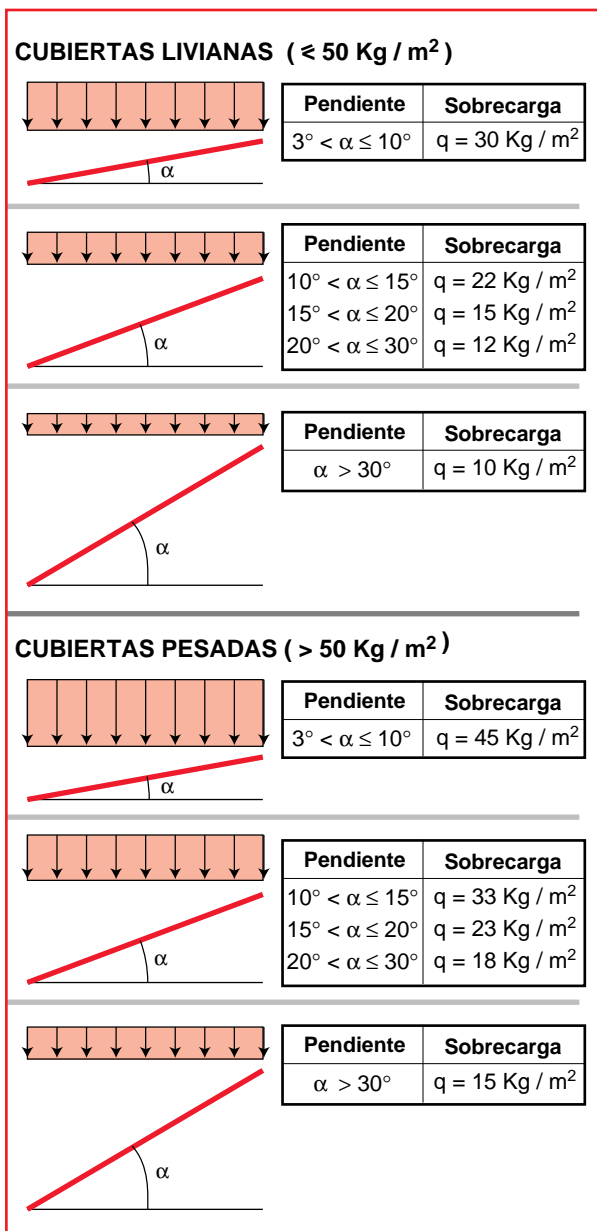
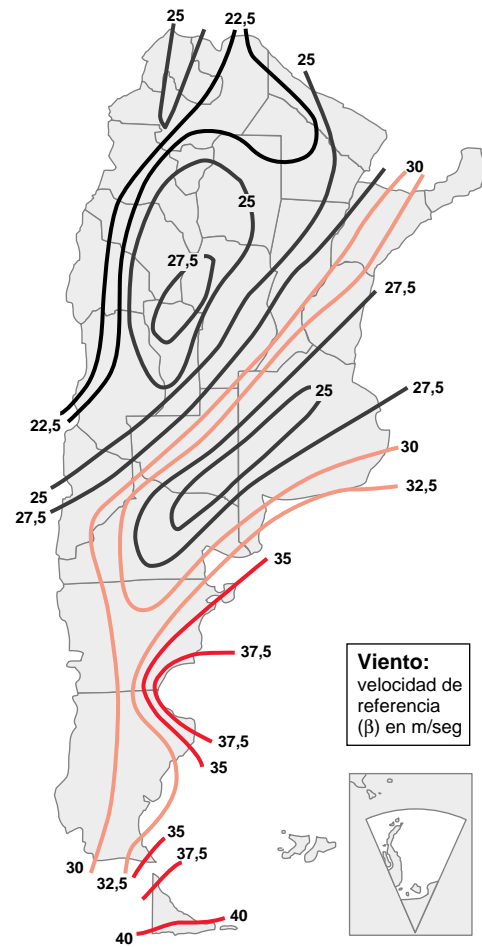


Fig. 2: Pendientes y sobrecargas usadas en cubiertas inaccesibles

pues las cargas de viento cambian sensiblemente. Para la casa de la **figura 1**, y tomando su ubicación en Salta (Zona de Velocidad de referencia baja $\beta = 22.5 \text{ m/seg}$), Buenos Aires (valor medio $\beta = 27.5 \text{ m/seg}$) y Ushuaia (valor máximo, $\beta = 40 \text{ m/seg}$) se determinaron los valores de la presión dinámica de cálculo para una altura de $Z = 2.50$ metros. (Ver **Figura 5**)

Los sistemas livianos deben ser especialmente verificados a esta solicitud, tanto por resistencia como por deformaciones en sus muros. Otro tanto ocurre con las pendientes del techo que pueden pasar de succión a presión al variar sus inclinaciones.

Figura 3



En el caso de las cargas de Viento los sistemas livianos tienen desventaja con respecto a los pesados; en un sistema liviano al presentarse la succión, por ejemplo en una cubierta, la fuerza ascendente puede tranquilamente superar el peso de la cubierta, siendo necesario considerar entonces que elementos antes traccionados ahora se comprimen (pudiendo pandear), o elementos que con el peso propio y la sobrecarga apoyaban, ahora deben estar anclados.

En cambio, los sistemas pesados normalmente el peso de los techos supera la succión.

3. Acción Sísmica

Con el objeto de dotar a las construcciones de un grado de seguridad ante la acción sísmica el INPRES (Instituto Nacional de Prevención Sísmica. San Juan) en 1980 elaboró la NAA80 (Normas Antisísmicas Argentinas) donde se incluyen Prescripciones Transitorias relativas al diseño sismorresistente de sistemas constructivos no tradi-

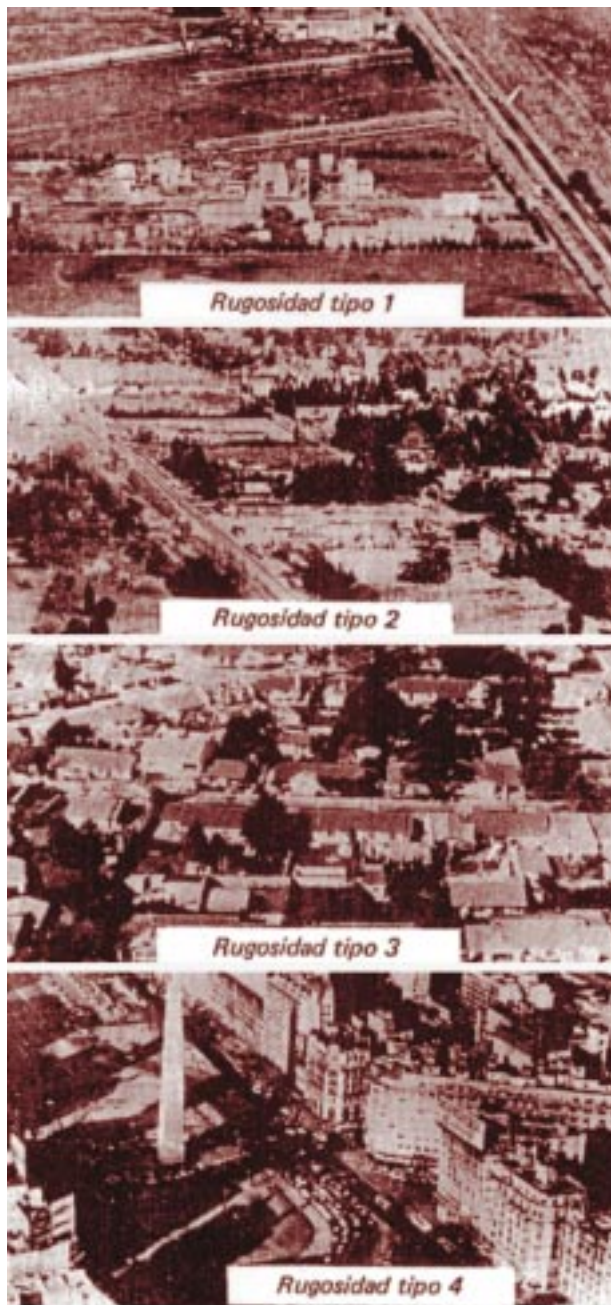


Fig. 4: Las rugosidades del terreno

cionales. Posteriormente una comisión INPRES-CIRSOC elaboró la normativa que conocemos como INPRES-CIRSOC 103 que en su PARTE 1 da la Zonificación Sísmica, criterios de análisis y diseño, comportamiento de suelos, etc.; mientras que en la PARTES 2 y 3 especifica los requisitos a cumplir por las estructuras de Hormigón y Mampostería; quedando en vigencia para el resto la NAA80.

En el mapa de la **figura 6** se observa la Zonificación Sísmica de la NAA80.

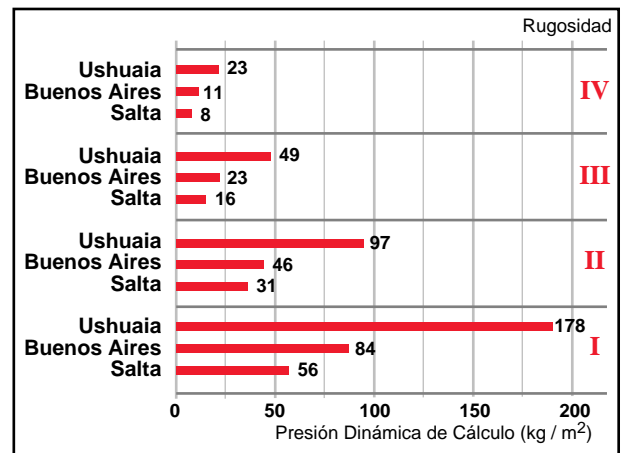
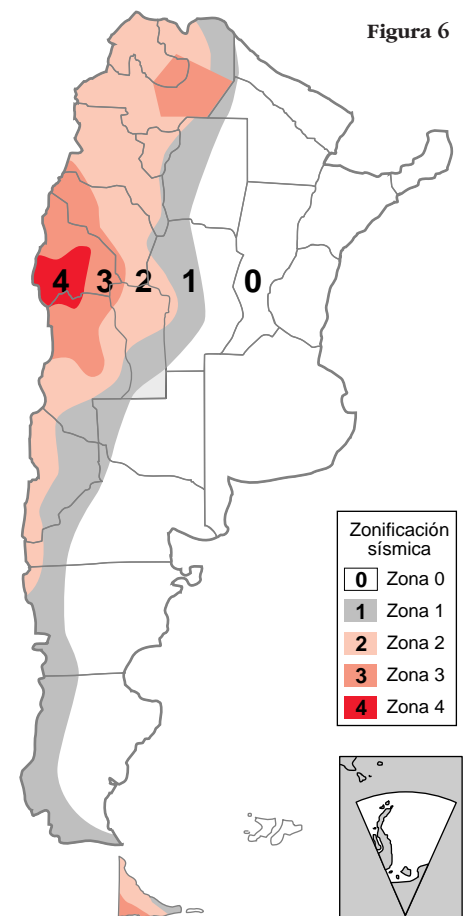
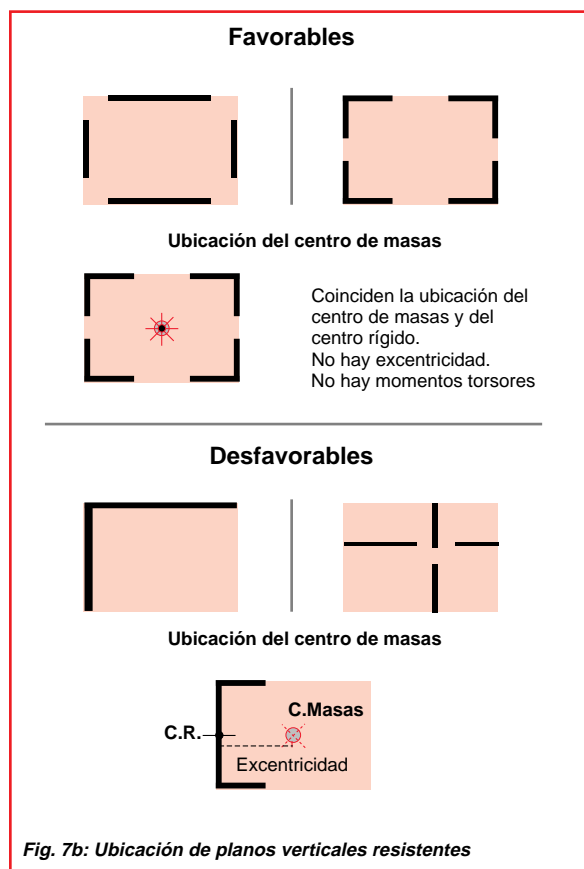
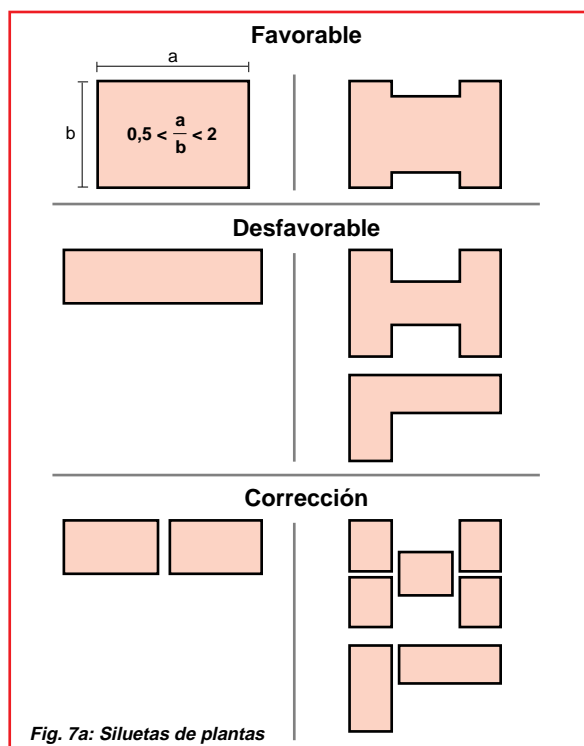


Fig. 5: Comparación de las presiones dinámicas de Cálculo para la altura $z = 2,50$ m y la Vivienda de la fig. 1



La Zona 4 es de muy elevada peligrosidad sísmica, la 3 es de elevada peligrosidad, moderada la 2, la 1 reducida y por último la Zona 0 es de muy reducida peligrosidad.



Consideraciones relativas al reglamento que influyen en el diseño:

Como actitud el proyectista de sistemas industrializados (y de cualquier otra construcción) debe usar a los reglamentos como guía para su estructura y no como un obstáculo a ser salvado o requisitos a ser cumplidos.

El espíritu de los reglamentos antisísmicos se basa en buscar que las estructuras sean:

- **De plantas simples**, regulares, lo mas simétricas posibles, evitando plantas alargadas. Utilizar en los casos necesarios juntas para separar volúmenes de vibración distinta. (Ver figura 7a)
- Que el centro de los planos resistentes (Centro de rigidez), **no se aparte demasiado del centro de masas** evitando así momentos torsores importantes.
- Evitar las **vigas de grandes luces** que provocarán concentración de carga en sus apoyos.
- Que la estructura **permita deformaciones** que disipen energía sin colapsar.

Los puntos anteriores son generales para toda construcción. En particular para los sistemas constructivos la NAA80 mayor los esfuerzos en las uniones, es decir pide que las uniones ofrezcan más seguridad que el resto de la estructura, es una forma para que se preste especial atención a este tipo de detalles. También limita la altura a construir con sistemas constructivos en zonas sísmicas. El Instituto Nacional de Prevención Sísmica evalúa las características de los sistemas industrializados otorgando Certificados de Aptitud Sismorresistente.

Consideraciones sobre el proyecto de la Vivienda:

El proyecto para la zona sísmica debe considerar que habrá que colocar planos de rigidez verticales de manera simétrica, al cual se ajustarán la ubicación de vanos. (Ver figura 7b)

En los sistemas livianos es importante la ubicación del tanque de reserva de agua, pues el peso de éste es muy importante comparado con el del resto de los elementos. Se deberá analizar si no resulta más económico colocar el tanque en una torre auxiliar.

La simplicidad del funcionamiento estructural debe ser prioridad, debe haber un claro recorrido de las cargas a la fundación.

4. Cargas de la Nieve y del Hielo

El mapa de la **figura 8a**, del CIRSOC 104, ilustra las zonas donde se debe considerar la carga de Nieve. Los valores de esas cargas van de los 30kg/m² hasta más de 320 kg/m² según su ubicación específica.

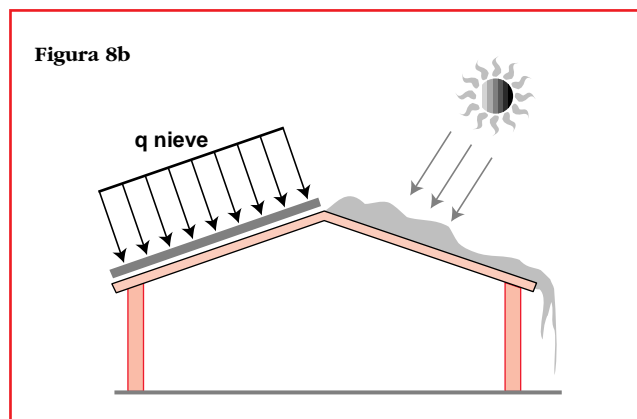
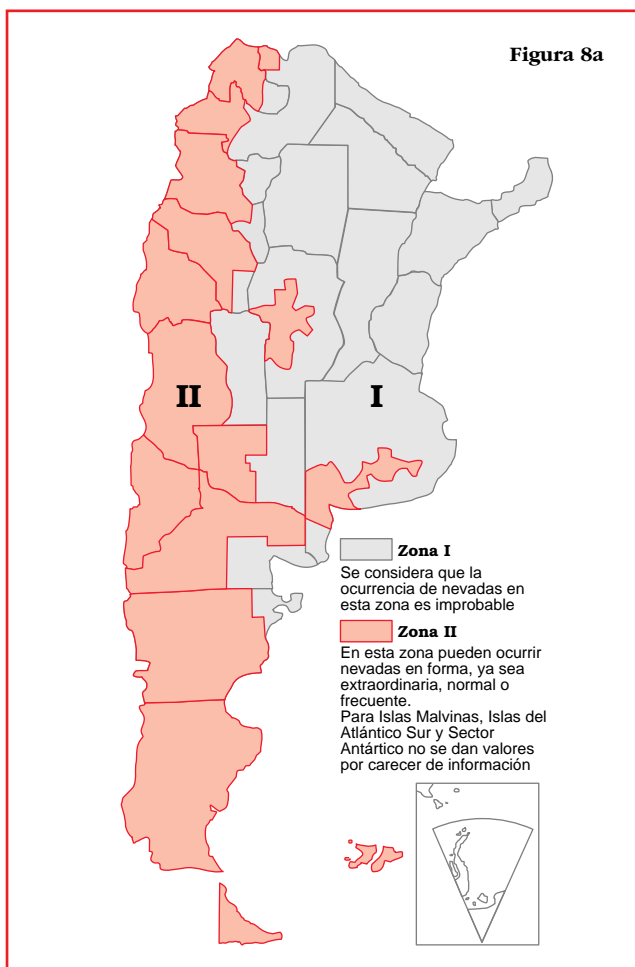


Fig. 9: Cargas de hielo sobre el borde de un techo

La carga de nieve (Peso específico=300kg/m³) del lugar estará afectada por un coeficiente K que tenga en cuenta la forma del techo que favorezca o impida la acumulación de nieve.

La carga de nieve a considerar será $q = K \cdot q_0$; siendo q_0 =carga de nieve según la zona (CIRSOC 104); el coeficiente K es función de ángulo α de la cubierta con la horizontal.

Así para poca pendiente $\alpha < 20^\circ$ será $K=1$ (máximo), para α entre 20° y 60° será $K = \cos \alpha$, y para cubiertas de mucha pendiente $\alpha > 60^\circ$ la carga de la nieve será nula: $K=0$.

Como recomendación final no se debe olvidar que el estado de carga de nieve debe considerarse asimétrica de tal manera de cubrir los casos del tipo que muestra la **figura 8b**.

La carga de hielo es el peso de la posible formación de hielo sobre los elementos constructivos, la formación de hielo depende de la temperatura del aire, la humedad, la presión, la velocidad del viento, la altura del lugar y la geometría de la construcción. El Reglamento hace

consideraciones sobre cómo se forma ese hielo, y dónde se forma. En esta breve síntesis debemos resaltar que el peso específico del hielo es de 920 kg/m³, de allí que su peso debe ser tenido muy en cuenta en las zonas donde haya antecedentes de su formación (Ver **figura 9**).

5. Acciones térmicas climáticas

Por variaciones térmicas los elementos de una construcción cambian su forma, este cambio puede provocar deformaciones, dilataciones o contracciones, si sus características de vinculación se lo permiten, o tensiones si los vínculos son tales que restringen la deformación. Se debe prestar mayor atención a los elementos de materiales que tienen alto coeficiente de dilatación o los casos de construcciones muy extendidas.

La recomendación CIRSOC 107 dice que para determinar la acción térmica climática se debe tener en cuenta la ubicación geográfica de la construcción y estudiar especialmente la influencia de la secuencia constructiva, de las características de la estructura y del fenómeno climático de la temperatura.

Como aspectos a tener en cuenta en el análisis la Recomendación enumera:

- a) la época del año en que se completa cada parte de la construcción
- b) el tipo de vinculación al suelo (si permite los desplazamientos)
- c) qué orientación tiene cada cara, su color y tipo de superficie
- d) Si existe o no aislación térmica
- e) Si existe calefacción o refrigeración

La recomendación CIRSOC 107 presenta dos mapas con dos tipos de diferencias de temperaturas, que usará como guías el proyectista. En el mapa de la **figura 10** se presenta la distribución de la amplitud anual de los valores medios mensuales de temperatura (La amplitud es la diferencia entre las temperaturas medias del mes más caliente y del mes mas frío; por ejemplo la diferencia entre la media de Enero y la media de Julio), este tipo de datos se emplea por ejemplo en los elementos que tienen una inercia térmica grande como los elementos de hormigón de gran espesor. Para los elementos con poca inercia térmica, que se calientan y enfrían rápidamente, el valor a usar es el del mapa de la **figura 11**. Allí se

encuentra la distribución de la diferencia entre las temperaturas máximas absolutas y mínimas absolutas de un determinado lugar.

Para la amplitud **diaria**, diferencia entre la máxima y mínima de un día, se toma **25°**.

Existe un trabajo en el Anteproyecto de Recomendación CIRSOC sobre Elementos Prefabricados de Hormigón Armado y Pretensado, que acota las variaciones de temperatura como vemos en el mapa de la **figura 12**.

Lo que se representa es la distribución de la variación de la temperatura (Δt) de diseño, que se define como

$$\Delta t = T_m - T_c, \text{ donde}$$

Tm es la temperatura media durante el período normal de construcción en la localidad donde se realizará la obra.

Tc es la temperatura que es igualada o excedida en promedio el 99% del tiempo durante los meses de invierno (junio, julio y agosto). Algo así como una mínima de invierno.

Para los sistemas pesados, esta recomendación parece la más adecuada.

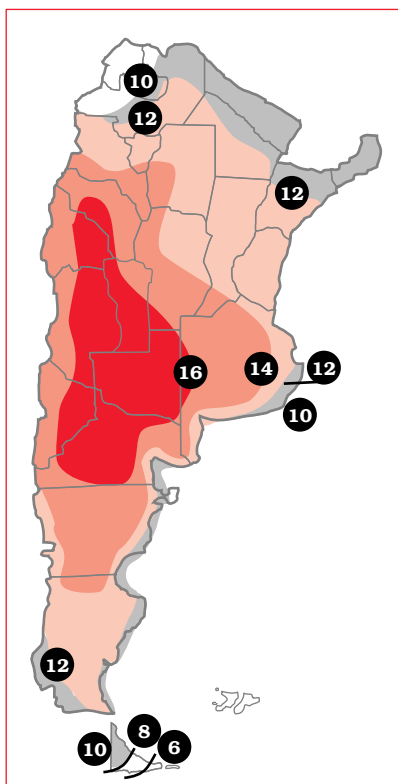


Fig. 10: Distribución de la amplitud anual de los valores mensuales

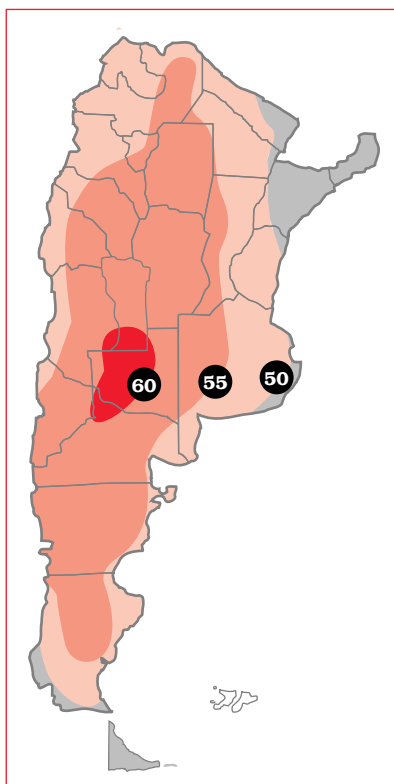


Fig. 11: Distribución de las diferencias entre las máximas absolutas

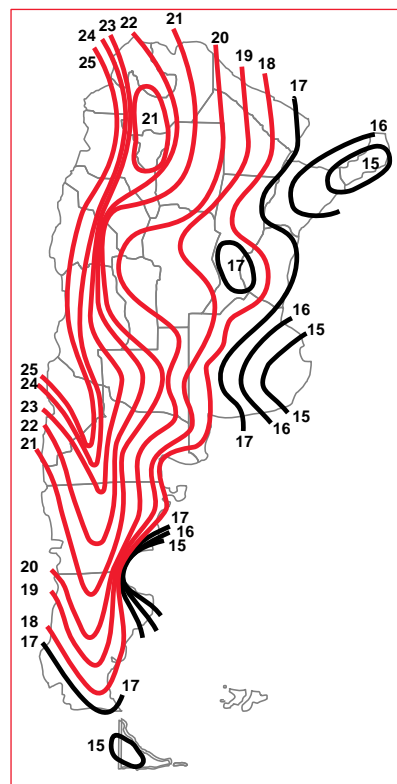


Fig. 12: Variación de la temperatura de Diseño

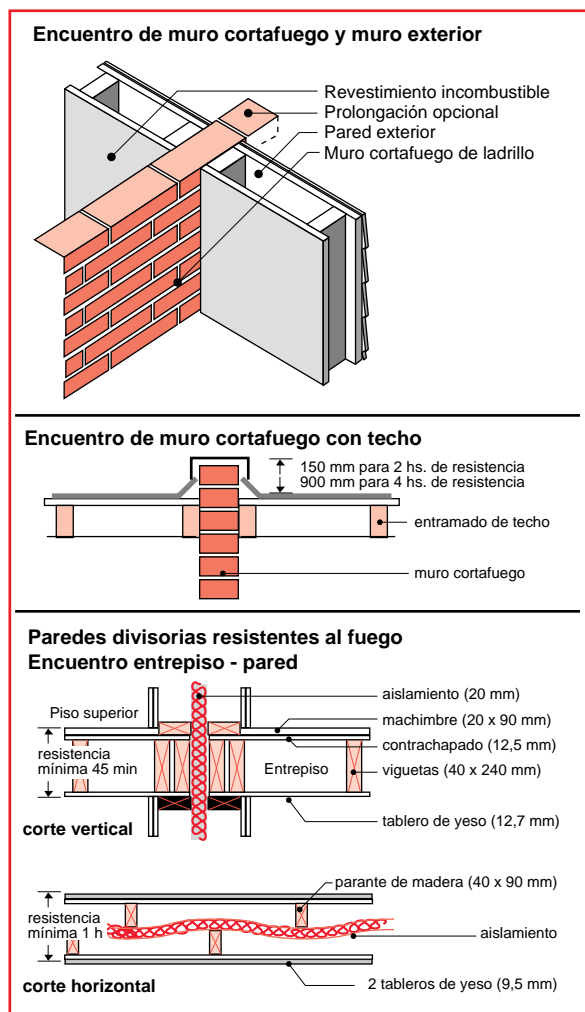


Fig. 13: Detalles de muros cortafuego en sistemas de madera

6. Riesgo de Fuego

No existen edificios a Prueba de Fuego, lo que existe son edificios que continúan con cierto nivel de seguridad durante más o menos tiempo cuando son atacados por el fuego. Entonces el diseño estará orientado a resistir al fuego la mayor cantidad de tiempo posible y como mínimo el tiempo que marcan los Códigos según la Carga de Fuego que sea posible encontrar en el lugar. Por supuesto en el diseño se deben tomar las precauciones para evitar que ocurran los incendios, evitando la propagación del fuego, proveyendo salidas de escape adecuadas, la posibilidad de evacuar el humo, etc.

El riesgo de incendio en las viviendas tradicionales de baja altura no suele ser muy atendido, sin embargo en los sistemas industrializados por sus materiales y procedimientos no muy difundidos requieren tener un análisis cuidadoso del diseño y sus detalles.

Sin duda el comportamiento del ladrillo ante la acción

del fuego está entre los mejores: no se daña mayormente con temperaturas que oscilan entre 800° y 1000°, recién después de los 1000° se raja debido a dilataciones desiguales.

El acero, por el contrario, sufre dilataciones importantes a partir de los 270° e importantes pérdidas de resistencias a partir de los 500°.

El hormigón, según los agregados que se utilicen, se comienza a cuartear cerca de los 200° y a perder la mayor parte de su resistencia a los 500°.

La madera comienza su combustión a los 275°. Las piezas de madera de secciones importantes al carbonizarse superficialmente, retardan la destrucción, pues esta zona protege al núcleo. Existen tratamientos a base de pinturas, para las construcciones existentes, o de inmersión que reducen el grado de combustibilidad de la madera o que retrasan la propagación de la llama.

Algunos tableros de revestimiento otorgan resistencias al fuego, entre los mas efectivos están los de yeso, que al colocar doble tablero de yeso de 12.5 mm otorga 30 minutos de resistencia al fuego del muro. La lana mineral usada como aislante, también es un retardante del fuego. (Ver figura 13)

Un caso que debe ser estudiado es el de los plásticos y elementos afines, usados tanto en recubrimientos como en aislaciones, ver que cambios sufren sus propiedades ante el calor o si su combustión puede provocar gases tóxicos.

B) Los esquemas estructurales

Cargas Verticales:

Techos:

Para describir la resolución estructural de las distintas posibilidades de techos, hay que tener presente el tipo de sistema que se está empleando, por ejemplo no sería sensato colocar un techo de losas de hormigón sobre las paredes de un sistema liviano. Por lo tanto los componentes estructurales deben seguir el espíritu del sistema, si se trabaja con sistemas de paredes cuyos componentes no necesitan grúas para su emplazamiento, sería perder esa característica el requerir equipo pesado para montar el techo.

Estructuras de techos de Sistemas Livianos:

Se agrupan las posibles soluciones en (ver fig.14):

1. El techo tiene estructura de **Cabriadas** o vigas principales sobre las que apoyan las correas a las que se fija la cubierta.
2. La estructura del techo está formado por Cabios, don-

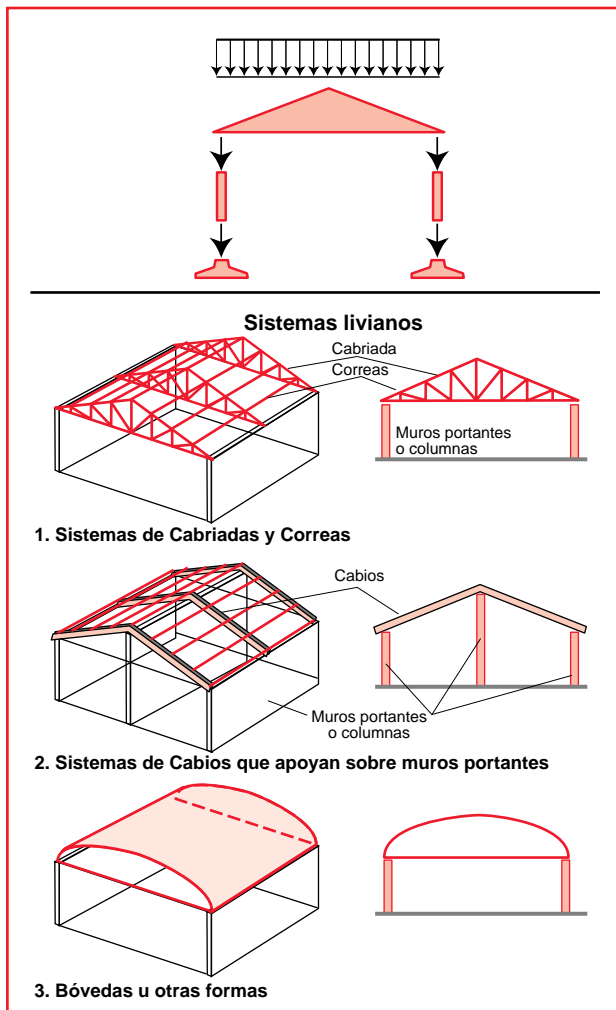
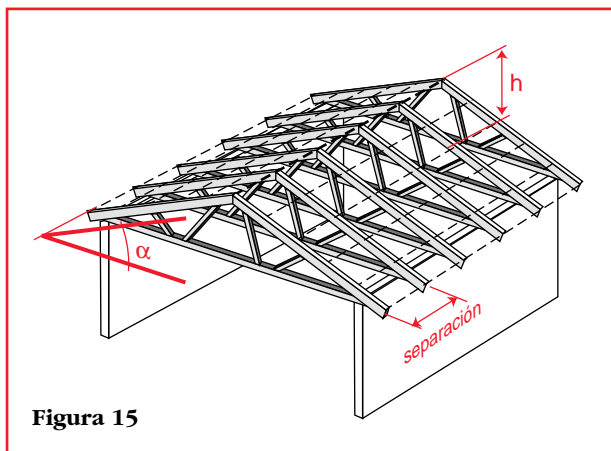


Fig. 14: Distintos esquemas estructurales



de se fija la cubierta, que apoyan directamente sobre los **Muros Portantes**.

3. Bóvedas u otras formas.

La primera solución es sin duda la más utilizada por los

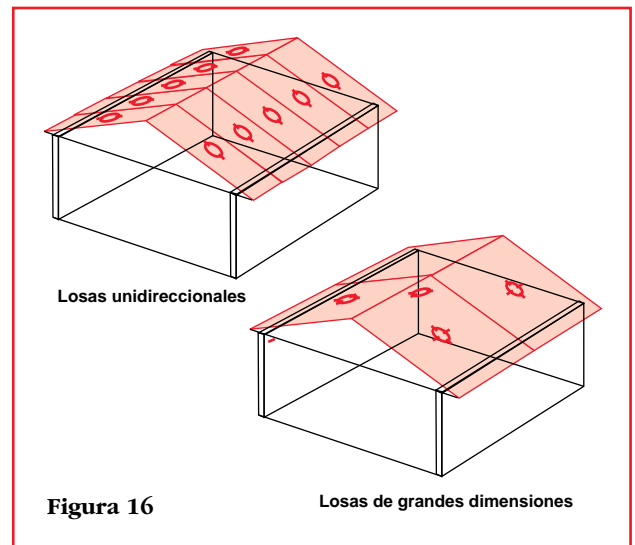


Fig. 17: Muros portantes en grandes paneles (Supercemento Arg.)

sistemas livianos en nuestro país, hay una gran variedad de configuraciones de cabriadas.

Las variables para el diseño serán (ver **figura 15**):

***Pendiente y altura de las Cabriadas:** ésta a su vez depende de las posibles cargas de Nieve o Viento, y de la luz a cubrir; las pendientes clásicas para viviendas económicas están entre los 15° y 30°.

***Separación entre Cabriadas:** estará dada por la posibilidad de apoyos: columnas o muros portantes por razones de Coordinación Modular; la magnitud de las cargas y el tipo de correas a utilizar. Poner las cabriadas muy separadas puede significar una cabriada muy pesada, o correas muy importantes.

Geometría interna de la cabriada: depende del tipo de cubierta, que es la que define la cantidad de correas necesarias, y siempre es mejor ubicar el apoyo de las correas en los nudos para evitar la flexión en las barras superiores, también hay que considerar que el cielorraso

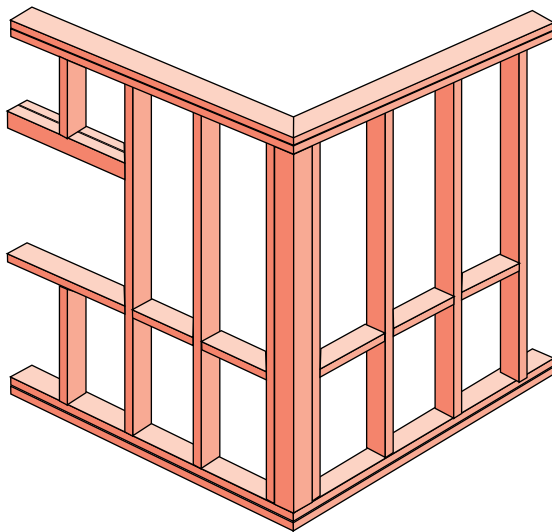


Fig. 18 a: Columnas de madera

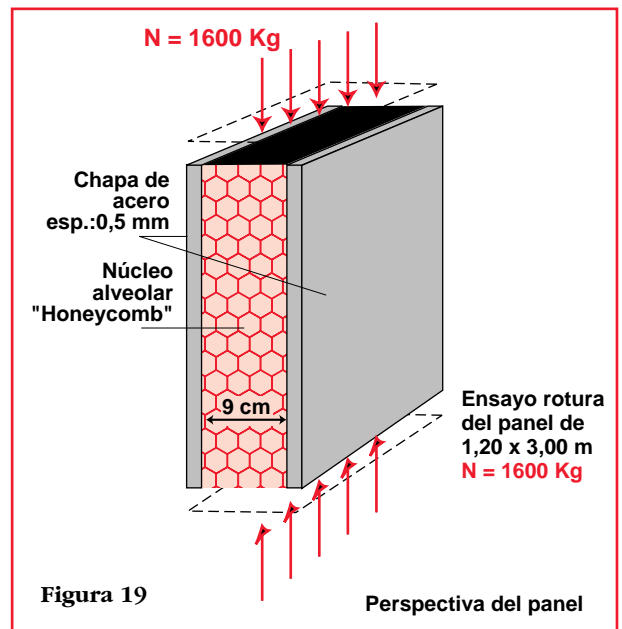


Fig. 18 b: Columnas de chapa de acero

se sujeta al cordón inferior de la cabriada.

La segunda solución es muy utilizada en los sistemas livianos de América del Norte, se basa en armar el techo en base a Cabios cada 40 cm que a su vez apoyan en el entramado de parantes de las paredes, permite manejar pendientes menores, pero implica tener paredes portantes internas y de altura variable. Existen también sistemas que utilizan un panel de techo, de similares características a los paneles usados en las paredes.

La tercera posibilidad agrupa a las excluidas de las dos primeras que son las más usadas, colocamos el ejemplo de la bóveda de cañón corrido empleado en nuestro País por un sistema liviano, la precaución a remarcar en



estos casos es el análisis de las condiciones de apoyo y su comportamiento ante la succión del viento.

Estructuras de techos de los Sistemas Pesados

Losas: Las variantes en cuanto a los techos en sistemas pesados es la forma de trabajo de las losas: unidireccional o cruzada (ver **figura 16**), que se relaciona con las dimensiones, de la losa.

La losa completa sobre uno o varios ambientes, cuando es posible, permite evitar juntas (excepto si hay cumbre-ra). Sin duda el factor que decide el tamaño de las losas será la disponibilidad de equipo de izaje y de moldes.

Techos Livianos: se aplica lo visto para sistemas Livianos.

Columnas o muros portantes

Los sistemas pesados, en general no tienen inconvenientes en soportar las cargas verticales, al usar materiales cerámicos u hormigones en espesores importantes con armaduras y con encadenados perimetrales, se comportan sin exigencias frente a las compresiones. Su funcionamiento será el de columnas y vigas, o el de muros portantes, según presenten o no vanos. (Ver **figura 17**)

Los sistemas livianos, en cambio deben ser analizados con mucho cuidado pues por la naturaleza de sus materiales no hay reservas para tomar compresión en los que sirven de cerramiento. Por ejemplo: las placas de Yeso de 1.25 cm de espesor, o una placa de fibrocemento, no pueden tomar cargas en su plano, por lo tanto se deben

prever las columnas, o parantes, capaces de resistir las cargas provenientes del techo (ver **figura 18**). Estas columnas de ser metálicas se podrán calcular con los reglamentos CIRSOC o si son de madera con los valores del Reglamento de la Secretaría de Vivienda.

Sin embargo podemos tener el caso, frecuente, de que la pared sea de hecho resistente a la compresión aunque no exista reglamento que avale su funcionamiento, se recurre a los ensayos de compresión del panel de pared portante, según normas, y con esos resultados, adoptando un coeficiente de seguridad, se procede a verificar la resistencia del muro. Existen distintos sistemas con elementos que tomados aisladamente no tendrían posibilidad de resistir a la compresión, sin embargo ensamblados en el panel que constituye la pared desarrollan resistencias a la compresión necesarias. Una buena demostración de esto es un sistema (ver **figura 19**) del tipo Honey-Comb (Panal), que consiste en chapas lisas de acero y de un espesor de 0.5 mm en sus caras y un núcleo alveolar de papel kraft con tratamiento y encolados, panel de uso en la industria aeronáutica. Este tipo de panel ha sido usado en nuestro país y de sus ensayos la carga mínima de rotura de la serie de ensayos, ha sido de 1600 kg para un panel de 1.20 m de ancho y 3 metros de alto, estos valores, si bien no son elevados, lo habilitan perfectamente para servir de apoyo al techo de una vivienda de planta baja.

Cargas Horizontales

En la **figura 21** se ve el recorrido de las cargas horizontales.

Paredes con cargas perpendiculares a su plano

En los Sistemas Pesados, como ocurre en los tradicionales, las paredes tienen aptitud para resistir cargas perpendiculares a su plano. Los paneles de hormigón que se usan de cerramiento poseen armaduras resistentes en sus caras que toman la tracción. Los espesores de las paredes aportan rigidez evitando deformaciones excesivas. (Ver **figura 20**)

En los Sistemas Livianos la forma de darle resistencia y rigidez a las paredes es con el uso de los parantes o columnas, pues las placas de revestimiento tanto exteriores como interiores en general tienen poco espesor y poca resistencia a la flexión. (Ver **figura 22**)

La comprobación de estos parantes si son de madera o metal se hará según la reglamentación. Se debe verificar que las placas de cerramiento, sean del material que fuesen, verifiquen los ensayos de choque duro y blando según normas IRAM.

Como se vió en el caso de las cargas verticales, hay sis-



Figura 20: Grandes paneles (Supercemento Arg.)

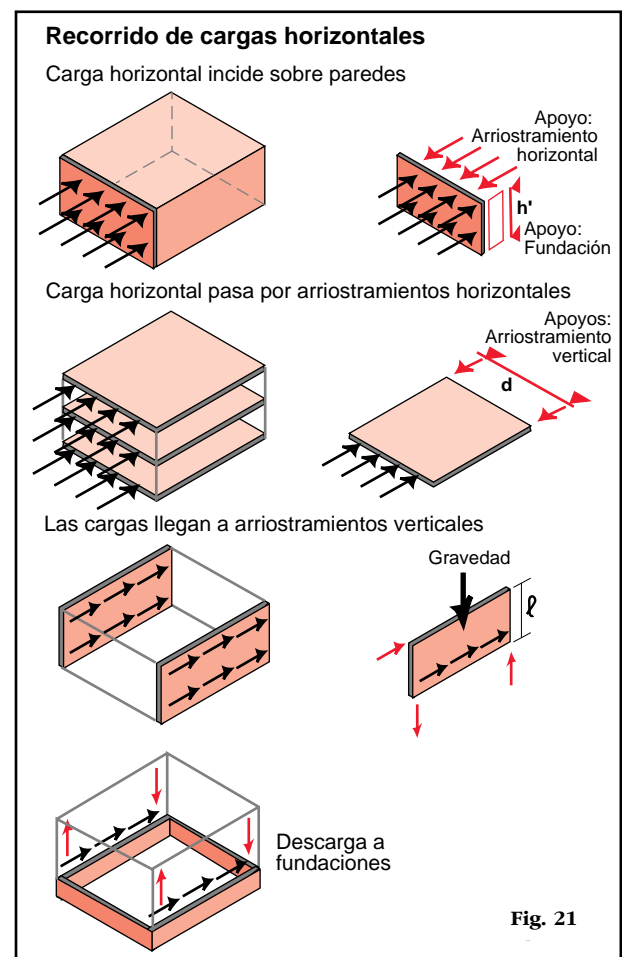
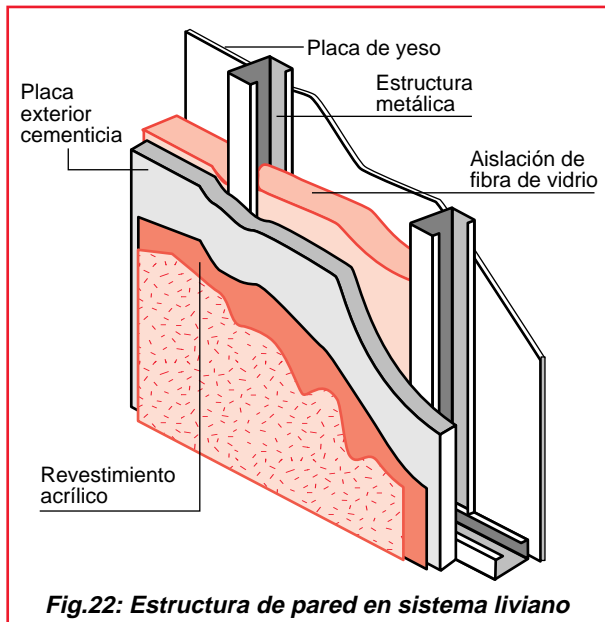


Fig. 21

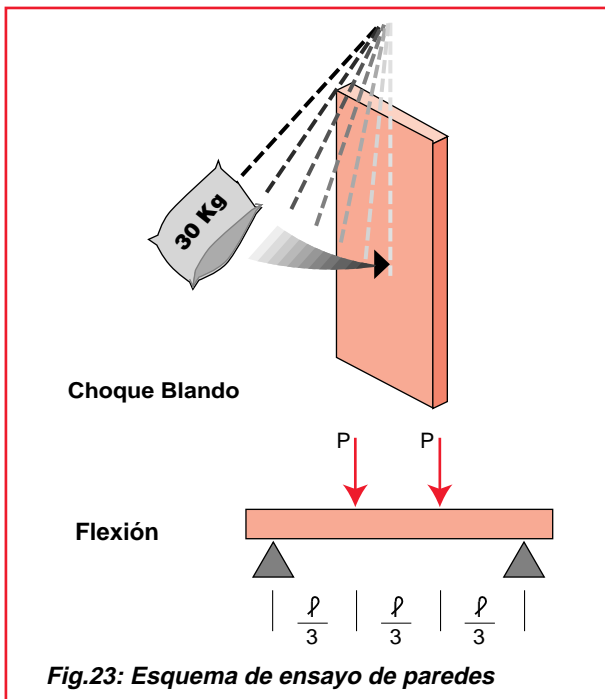
temas livianos que su panel de pared, por su conformación, resiste cargas perpendiculares a su plano. En el ejemplo de los paneles de Honey-Comb no hay reglamento que avale su resistencia a la flexión, pero los resultados de los ensayos normalizados fueron satisfactorios. (Ver **figura 23**)



Arriostramientos horizontales

Se llama arriostramiento horizontal a todo elemento que, a nivel de cielorraso o cubierta, tome las cargas horizontales, que transmitidas por las paredes, inciden en la parte superior de la vivienda y las transmitan a los arriostramientos verticales.

Como se había visto en el punto sobre techos, los sistemas pesados al emplear losas ofrecen la posibilidad de



contar con elementos planos de gran rigidez para trabajar como arriostramientos horizontales.

Las alternativas aparecen en los Sistemas livianos, en los esquemas de la figura vemos los más comunes. Ver **figura 24**:

1. Viga superior.
2. Viga reticulada a nivel de cielorraso o de cubierta.
3. Cubierta o cielorraso rígidos en su plano.

En el **caso 1** se deberá tratar de que la viga tenga la menor luz de flexión posible, lo cual obliga a buscar apoyos en las paredes interiores, por lo tanto las paredes interiores deberán ser capaces de soportar estas fuerzas horizontales.

El **caso 2** es la clásica solución de las vigas contraviento de la construcción de naves industriales metálicas, es una solución que se puede ejecutar con sistemas de madera ademas de los de acero, su ventaja es que permite una gran rigidez con luces grandes entre sus apoyos, su desventaja es que requiere mayor cantidad de piezas y el empleo de más mano de obra.

El **caso 3** es una solución muy empleada en los sistemas norteamericanos y consiste en darle rigidez al techo a través de las placas de terciado que utilizan sobre los cabios o tirantería del techo.

En los códigos de construcción de EEUU y Canadá estan tabulados los espesores que deben tener estas placas de madera, el entramado al cual estan fijados, la cantidad y el tipo de clavos, y los detalles de uniones para transferir esfuerzos.

En esos países la fabricación de esos tableros de terciado o contrachapado (plywood) se hacen bajo normas y están preparados para uso estructural (en capítulos sucesivos se desarrollará el tema).

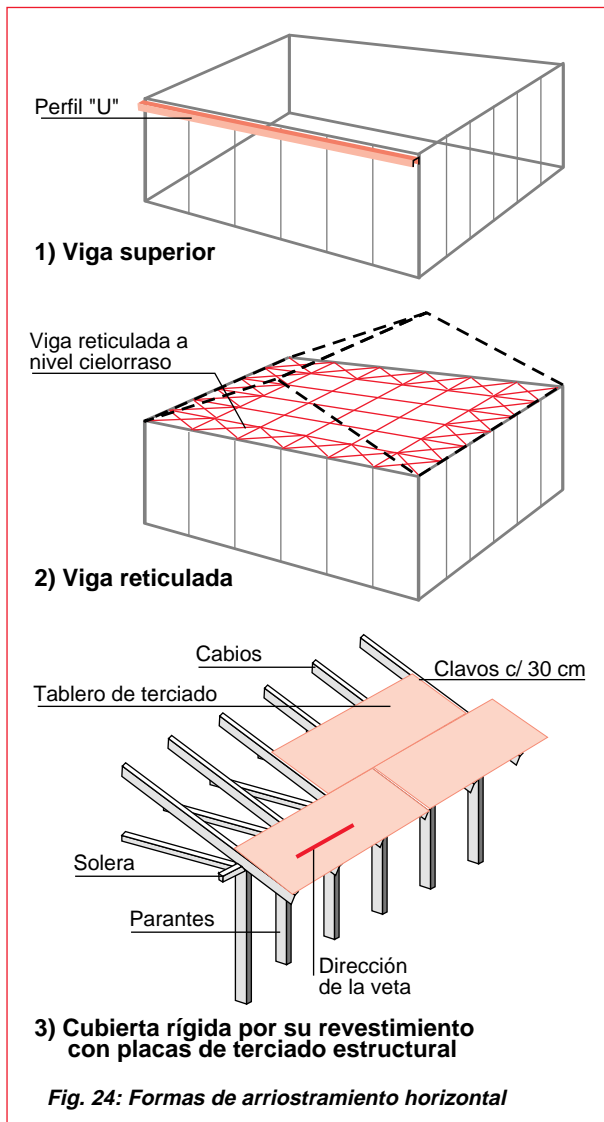
Este caso es un ejemplo de como trabajando y fabricando bajo norma se logran economías; en efecto en nuestro país al no contar con producción normalizada para uso estructural de estos tableros, ni tener normas que regulen su uso, se han construido viviendas donde a pesar de tener este elemento rígido en el techo ha sido necesario colocar una viga de arriostramiento horizontal pues no se podía justificar la resistencia de las placas de contrachapado en el techo.

Arriostramientos verticales

Nuevamente en los sistemas Pesados es muy sencillo tomar las fuerzas horizontales, en general las paredes pesadas ofrecen gran capacidad de tomar corte.

Los sistemas livianos tienen diversas alternativas:

1. Aporticamientos. Ver **Figura 25**.
2. Columnas rígidas empotradas a la fundación.



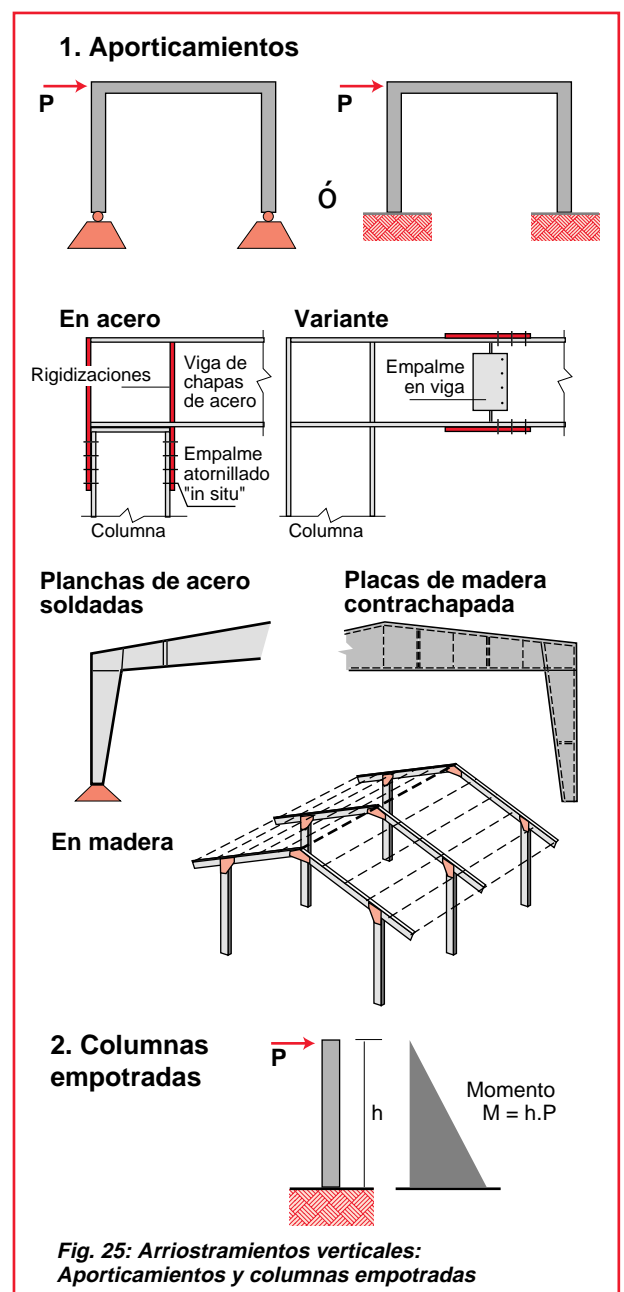
3. Cruces de San Andrés (contraventeos). Ver **Figura 26**

4. Paneles sucesivos unidos al corte. Ver **Figura 27**.

5. Rigidización con revestimientos estructurales. Ver **Figura 28**.

1. Aporticamientos

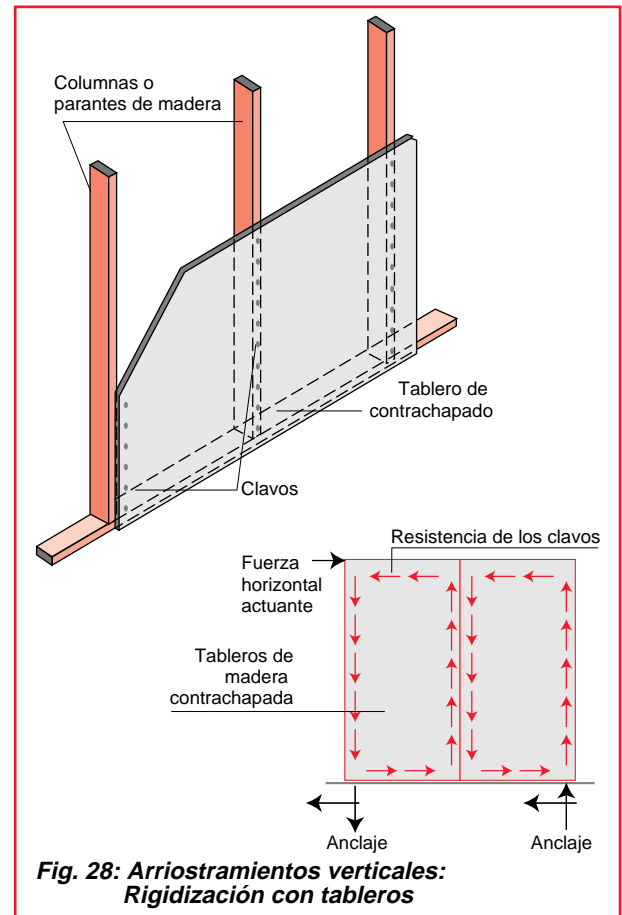
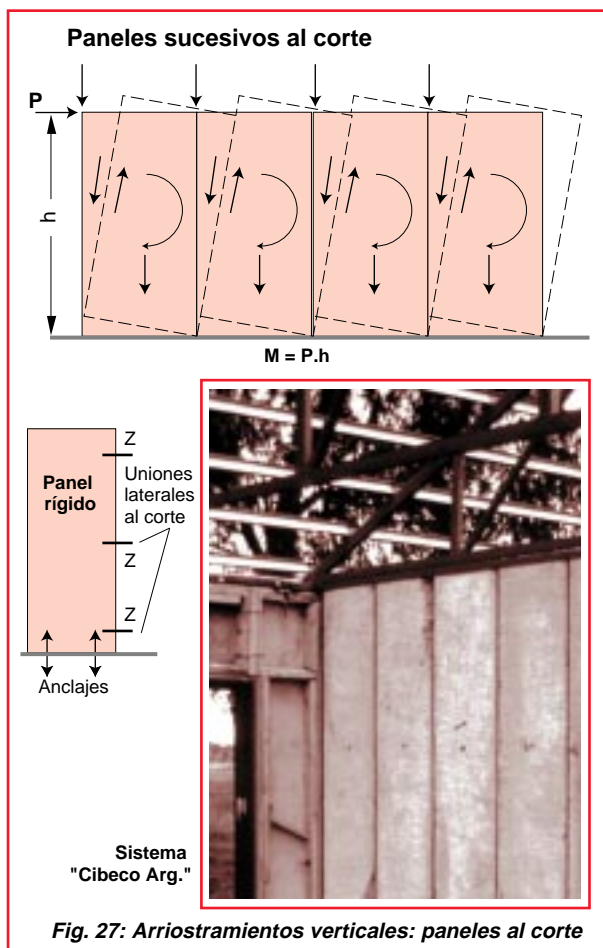
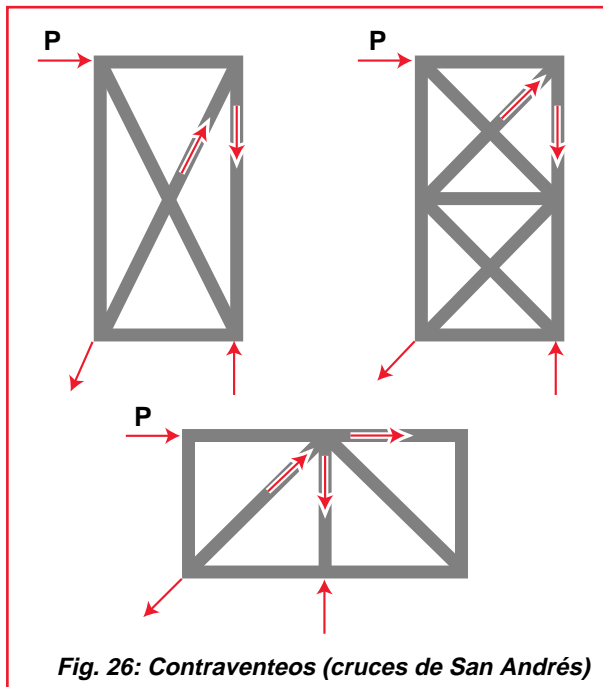
Este tipo de solución requiere secciones importantes de vigas y columnas, pero sobre todo que la unión viga columna sea rígida, es decir que pueda transmitir momento. Esta necesidad es la más difícil de superar, pues materializar esa unión es en la generalidad de los casos, costosa. En los sistemas livianos de estructura de madera requeriría una cartela de placa importante por lo menos con tres puntos de clavado en cada pieza, o algún tipo de encastre especial. En los sistemas de estructura



de acero se puede soldar la unión pero eso requiere un soldador y ejecutar un trabajo mas complicado que pasar tornillos, es decir mano de obra más cara y un control más especializado.

2. Columnas rígidas empotradas

Esta solución nos evita rigidizar el nudo pero requiere elementos más rígidos en las columnas y un anclaje a las fundaciones importante; es más adecuada para los sistemas pesados.



3. Cruces de San Andrés (contraventeos)

Es la solución mas económica desde el punto de vista de la estructura, pero tiene como puntos en su contra el hecho de que interrumpe vanos donde no es posible colocar aberturas importantes, además el hecho de tener que colocar las diagonales puede entorpecer el armado normal de la pared y obligar a piezas o cortes especiales. En las fundaciones se deben tener muy en cuenta los tiros de estas diagonales. (Fig. 26)

4. Paneles sucesivos al corte.

Esta solución es usada cuando el sistema no tiene una estructura independiente sino que los paneles de cierre son portantes y tiene resistencia al corte. Es este un caso donde las uniones entre paneles están solicitadas al corte. (Fig. 27)

5. Rigidización con revestimientos estructurales

Al igual que habíamos visto en los arriostramientos horizontales existe una rigidización que se puede conseguir a través del revestimiento empleado. Como en el

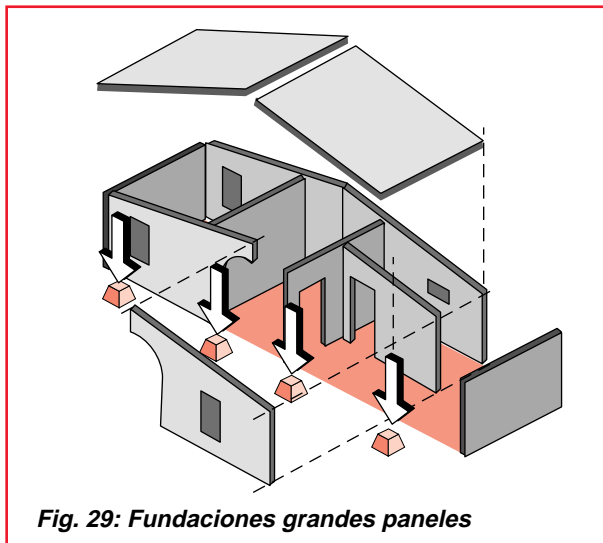


Fig. 29: Fundaciones grandes paneles



Fig. 30: Viga de fundación en sistema liviano

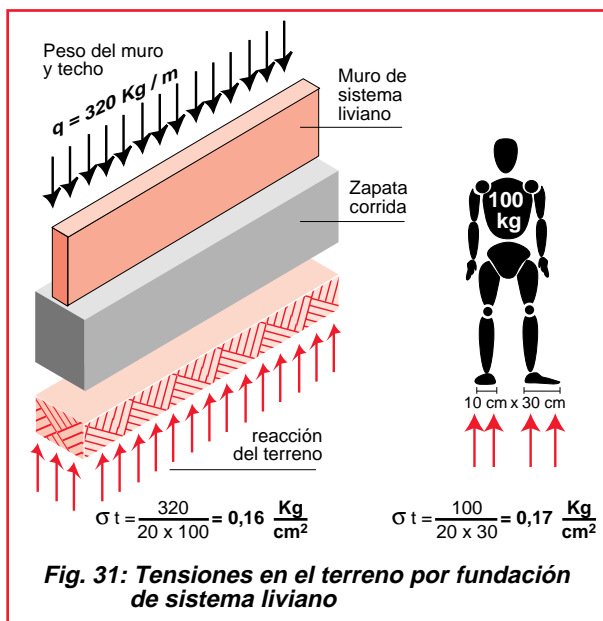


Fig. 31: Tensiones en el terreno por fundación de sistema liviano

Sistema liviano sobre zapata corrida

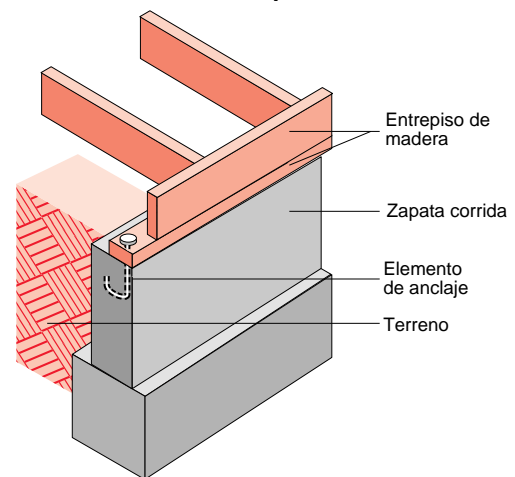


Fig. 30: Fundaciones comunes en sistemas livianos

caso anterior tanto el revestimiento como el entramado sobre el que se lo aplique deben estar sujetos a Normas y Códigos, como sucede en los EEUU y Canadá, donde después de ensayos y acuerdos entre fabricantes, se confeccionaron tablas para usar las paredes con revestimientos como elementos que sin duda contribuyen a tomar las fuerzas horizontales. Esto es una simplificación muy importante pues determinadas las cargas horizontales, ya sean de viento o sismo, se verificará si con los metros de paredes revestidas según tablas se tiene la resistencia necesaria para tomar la fuerza lateral. (Fig. 28)

Fundaciones

En los **sistemas pesados** las posibilidades de fundación no difieren de la forma de cimentar las construcciones tradicionales, pero existen además algunas posibilidades muy interesantes en cuanto al aprovechamiento de la rigidez que presentan los grandes paneles o células de hormigón (Fig. 29).

En suelos firmes se pueden utilizar bases aisladas, construidas en el lugar o bien premoldeadas. En suelos menos firmes la fundación deberá repartir la carga transversalmente al plano del panel, en el sentido del largo del panel su rigidez distribuirá parejamente las cargas.

El poco peso de los **sistemas livianos** se manifiesta claramente cuando se comparan sus fundaciones con la

de los sistemas pesados o tradicionales. Como se vió al comienzo del capítulo los sistemas livianos pesan hasta 4 veces menos que los pesados, y lo corriente es el uso de zapatas corridas o plateas delgadas con nervios bajo las paredes portantes. (Ver **Figura 30**)

Veamos con números de que magnitud de cargas se trata cuando analizamos las fundaciones de sistemas livianos; tomemos el peso aproximado de una casa de 50 m²: 9100 kg, suponiendo que se apoya en zapatas corridas coincidentes con las paredes perimetrales cuya

longitud es:

$$4\text{m} \times 7.10\text{m} = 28.4 \text{ m},$$

es decir que tendremos

$$9100 \text{ kg} / 28.4 \text{ m} = 320 \text{ kg/m}$$

si suponemos un ancho de la zapata de 20 cm, la presión sobre el terreno será:

$$320 \text{ kg} / (20 \text{ cm} \times 100 \text{ cm}) = \mathbf{0.16 \text{ kg} / \text{cm}^2}.$$

Es una tensión sumamente baja. (Ver **Figura 31**) ✖

CAPÍTULO 4

Requisitos de habitabilidad

Introducción

El estudio sistemático de la construcción, iniciado en Europa, hace más de treinta años, trajo como resultado más importante, ante los problemas constructivos, la adopción en su planteamiento y solución, de criterios basados en la ciencia. Es decir: partir de unos requisitos, proponer objetivos y adecuar los medios para la solución.

Entramos en el desarrollo de una materia que por especiales situaciones mundiales: escasez de los combustibles, aumento del precio del petróleo por sus productos más importantes, mayores exigencias de los usuarios y otras, creó la necesidad de estudiar científicamente el tema del acondicionamiento del ambiente interior de nuestras viviendas.

Efectivamente, el aislamiento térmico, nunca considerado importante en el diseño, pasó a ser una auténtica preocupación para arquitectos e ingenieros de los países más desarrollados, que más energía consumen y menos petróleo tienen.

Y es realmente curioso que el tema del aislamiento en edificios haya sido tan descuidado, cuando es una exigencia primaria de los seres humanos mantener sus viviendas calientes en invierno y frescas en verano. **Las necesidades del aislamiento térmico, aun hoy en la Argentina, son subestimadas. Hasta aquel que puede hacerse su propia casa, actúa como ignorando que es un derroche de dinero personal y nacional no aislar por lo menos los muros y techos.**

En personas mayores se producen muchos casos de hipotermia por su permanencia en casas muy frías y no es aventurado suponer que hay enfermedades infantiles

graves por la misma causa. El caso de las gripes y alergias con origen en hongos y humedades que son incrementados por esta “enfermedad” de las paredes y techos. Estas enfermedades humanas y constructivas y su relación, están reflejadas en muchas investigaciones principalmente suecas, danesas e inglesas que tuvimos oportunidad de conocer.

Se trata entonces en este Capítulo de las aislaciones térmicas y el control de la humedad. Y por fin de la aislación contra el ruido causante también de enfermedades leves y graves y de molestias contra nuestra tranquilidad y sueño.

Tomaremos como referencia para el cumplimiento de las reglas de calidad en la habitabilidad, las normas nacionales IRAM y el agregado en algunos casos de normas extranjeras para complementar las nuestras.

A. Nociones térmicas

Previo al estudio del confort interior de nuestras viviendas, recordemos los conceptos físicos elementales referidos al calor y su intercambio entre distintos cuerpos.

Ordenamos su estudio de la siguiente manera:

Nociones térmicas y conducción

- | | |
|-------------------------|---------------------------------------|
| 1) Transmisión de calor | convección
radiación
conducción |
| 2) Agua | evaporación
condensación |
| 3) Inercia térmica | |

En principio recordemos que la temperatura es la manifestación de la velocidad de agitación de las moléculas en los fluidos y de las estructuras cristalinas en los sólidos que conforman la materia, y **que no podemos impedir el paso del calor de un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura**. Lo que hacemos al aislar es retardar el paso. Siempre se producirá un flujo calorífico entre el cuerpo de mayor temperatura al de menor, hasta llegar a la igualdad de las mismas.

1) Transmisión de calor.

Este intercambio térmico puede ser:

Convección: entre un cuerpo, (pared, cuerpo humano, etc.) y el aire u otros fluidos.

Radiación: entre dos cuerpos próximos.

Conducción: entre dos cuerpos en contacto o dos partes de un mismo cuerpo.

Este movimiento de calor es el que genera las pérdidas de un elemento y las ganancias del adyacente. Veamos un análisis de cada uno de ellos que nos ayudará a comprender las causas de los movimientos térmicos y su uso adecuado en el diseño.

Convección

Supongamos el caso de la **Fig.1**.

Temperatura aire: t_a °C

Temperatura superficie: t_s °C

$$t_a > t_s$$

entonces la dirección del flujo es desde **t_a** a **t_s** .

El flujo calorífico " **q** " recibido por la superficie es proporcional a: la diferencia de temperatura (**$t_a - t_s$**) en °C y a un coeficiente de convección α_c expresado en W/m²°C

(1) : **$q = \alpha_c (t_a - t_s)$** expresado en W/m².

El valor de α_c es función de la velocidad del aire.

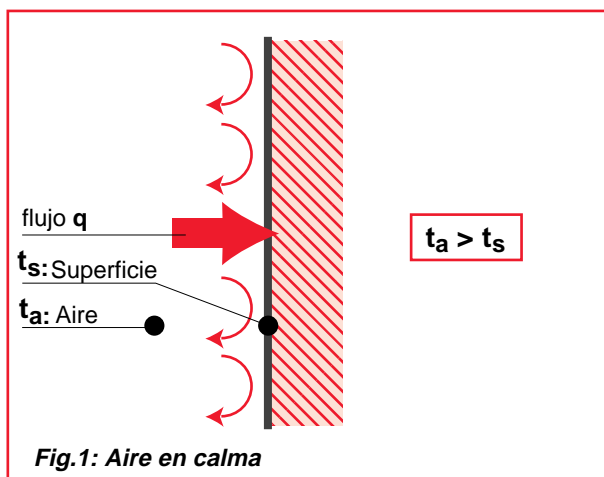


Fig.1: Aire en calma

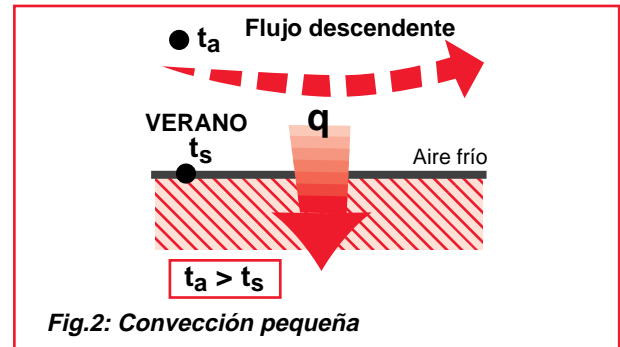


Fig.2: Convección pequeña

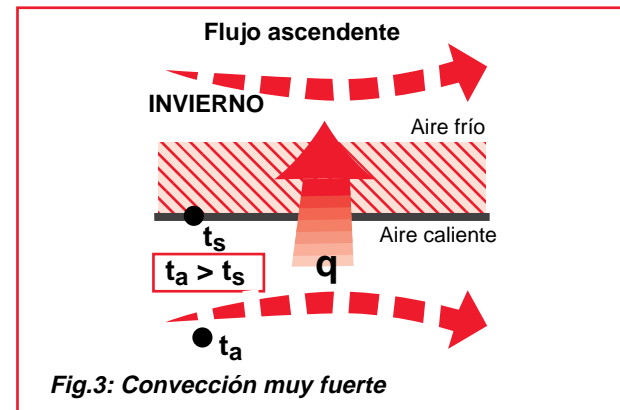


Fig.3: Convección muy fuerte

El aire en contacto con la superficie se enfría, al ser más pesado que el aire caliente cae, iniciando un movimiento descendente, que se denomina convección natural. Cuanto más rápido sea el cambio de aire frío por caliente, mayor es la velocidad y más importantes los cambios.

Si el movimiento se origina por ejemplo en la ventilación del local, infiltraciones, aperturas de puertas, desplazamiento de objetos, personas o encima de los radiadores se llama convección forzada.

La inversa del coeficiente de convección es:

$$1/\alpha_c = R_s \text{ resistencia térmica superficial.}$$

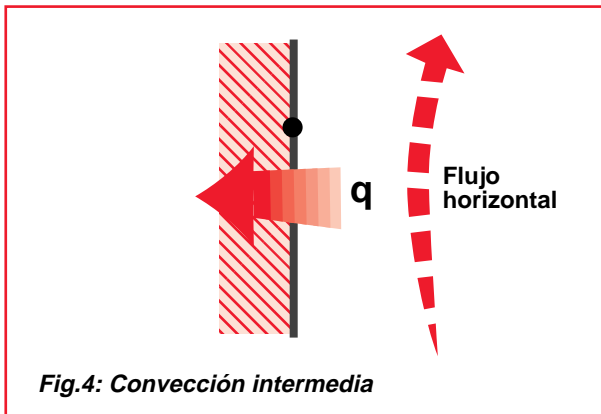
quedando la ecuación

$$(1) \quad q = (t_a - t_s) / R_s$$

α_c también es función de la orientación de la superficie y el sentido del flujo.

Es decir, **si la superficie es horizontal el flujo puede ser descendente o ascendente**. Recordemos que el aire caliente se eleva y el frío "cae". Entonces el movimiento que se genera entre el aire caliente y el frío por las distintas densidades, hace que el frío permanezca abajo y el caliente suba hasta encontrar la superficie horizontal que lo detenga.

En la **Fig. 2** se ilustra el sentido contrario del aire que se eleva con el del flujo de calor que hace que **la convección sea reducida y los valores del coeficiente α_c son menores**.

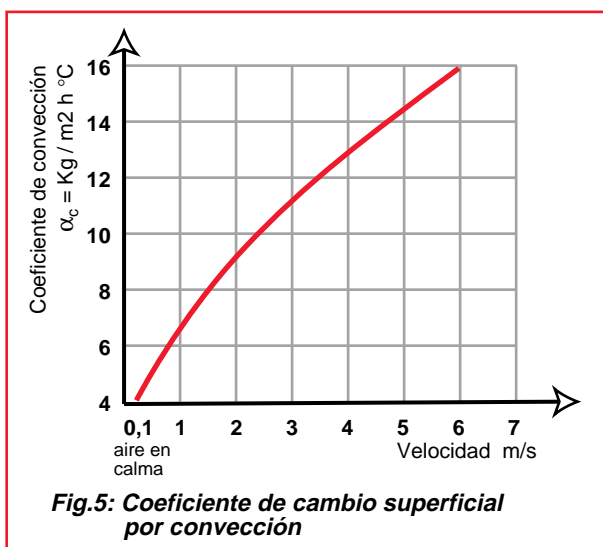


Valores del coeficiente de convección α_c para aire en calma	
Convección pequeña	$\alpha_c = 1,16 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
Convección muy fuerte	$\alpha_c = 6,96 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
Convección intermedia	$\alpha_c = 4,64 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

Cuando el flujo es **ascendente la convección es fuerte**, el aire bloqueado en el techo, por ejemplo, refuerza el movimiento hacia las zonas de menor temperatura. Ver **Fig.3**.

Si la superficie es vertical el sentido del flujo no interviene y la convección es intermedia entre los dos valores anteriores. Ver **Fig.4**.

Para el aire en calma (se acepta que lo está cuando la velocidad del aire es inferior $v < 0.20$ m/seg). Como ocurre generalmente en locales cerrados los valores del



coeficiente son:

- Superficie horizontal, flujo descendente:

$$\alpha_c = 1.16 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

- Superficie horizontal, flujo ascendente:

$$\alpha_c = 6.96 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

-Superficie vertical:

$$\alpha_c = 4.64 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

Para la pared vertical en la **Fig.5** se muestra una curva de variación del coeficiente de convección para distintas velocidades del aire en m/s.

Recordando este análisis del coeficiente de convección, se explica la diferencia de las resistencias superficiales interior y exterior que vemos en las tablas, de las normas, cuando se calculan los valores de transmisión térmica. La dirección del flujo adquiere mayor importancia cuando se trata de techos.

Finalmente decimos que la resistencia térmica superficial no puede independizarse de la radiación, que vemos a continuación.

Radiación

Todo cuerpo con temperatura por encima de cero grados Kelvin ($0^\circ K = -273^\circ C$) emite radiación en forma de ondas electromagnéticas. **La cantidad de energía irradiada** por ese cuerpo es proporcional a su temperatura a la cuarta (Ley de Stefan Boltzman

$$E = 4.965 \cdot 10^{-8} \cdot Kcal / m^2 h^\circ K \cdot T^4$$

Esta radiación puede producirse a través del vacío o, como sucede en los casos que estudiaremos, a través del aire.

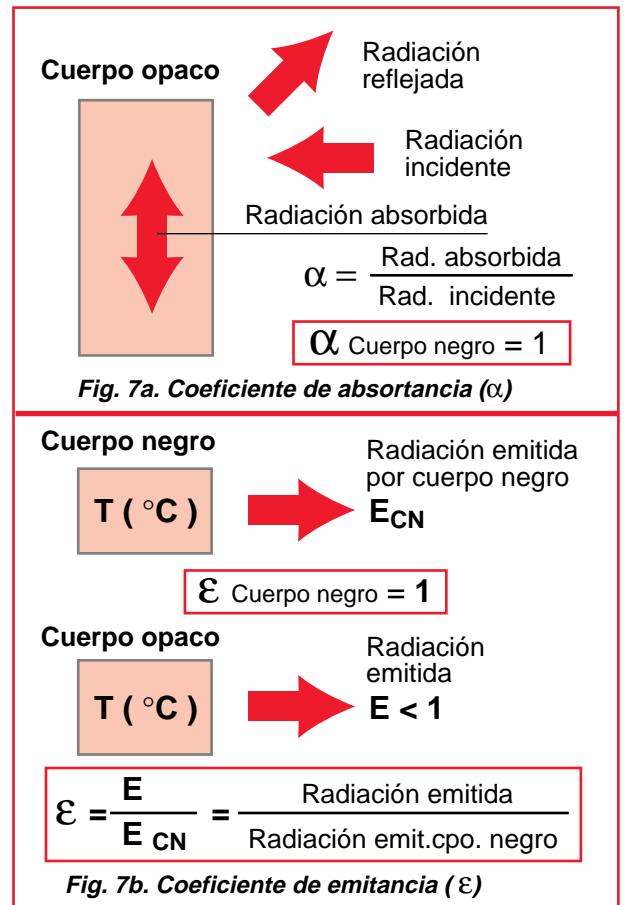
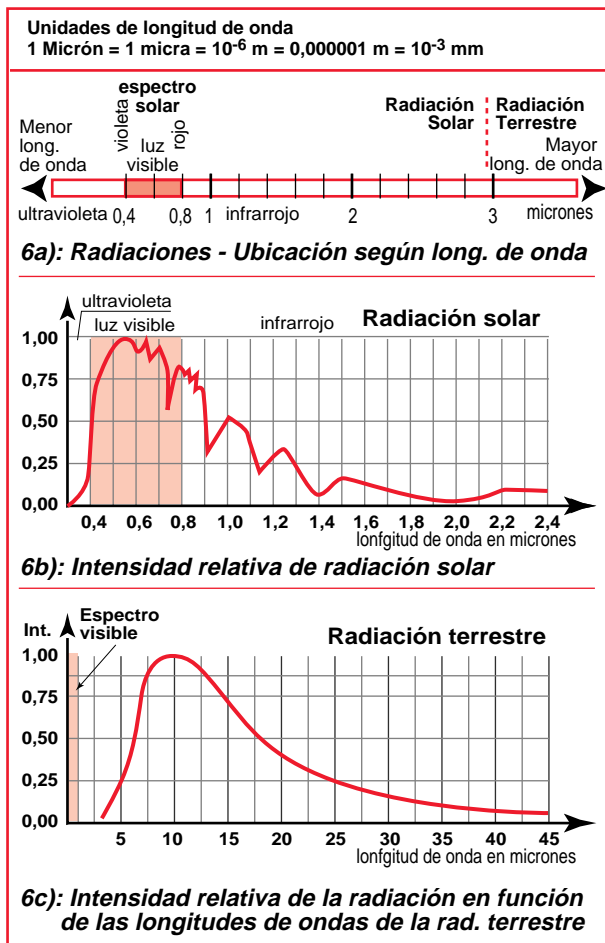
La radiación de los cuerpos (ondas electromagnéticas) tienen distintos tipos de longitudes de onda. Las radiaciones que tienen relevancia en la práctica constructiva son:

a. La radiación solar

Desde luego la radiación que proviene del sol es la más importante. El sol se encuentra a una temperatura de casi $6000^\circ K$. El conocido espectro solar nos muestra la longitud de onda de las ondas radiadas por el sol. Se observa en la **Fig. 6** como desde la radiación de ondas ultravioletas, pasando por las ondas de luz visible y llegando hasta las infrarrojas son las formas principales de radiación solar. Ver **Fig. 6 b**.

b. La radiación terrestre

Es la que producen los cuerpos que se encuentran a temperaturas comunes sobre la superficie terrestre, fijemos hasta los $200^\circ C$. Será una radiación de onda larga, por supuesto alejadas de las visibles, bien adentradas en las infrarrojas; es por ejemplo la que sentimos al acercarnos



nuestras manos a un radiador o estufa. Ver **Fig. 6c**.

Se deben considerar los tipos de superficies que actúan en los fenómenos de radiación que determinan las cantidades de energía (calor) absorbidas, reflejadas o emitidas de un cuerpo hacia otro. Las propiedades de estas superficies se evalúan con:

Coeficiente de Absortancia (α) y Coeficiente Emitancia (ϵ).

En la **Fig. 7a** se ve como al incidir sobre un cuerpo una determinada radiación este cuerpo opaco (no transparente) absorbe cierta parte de esa radiación y otra parte directamente la refleja. El coeficiente de absorción de una determinada superficie frente a una radiación es el cociente entre la radiación absorbida por la superficie y la que incidió sobre el cuerpo. El valor de este coeficiente de absorción α es en la mayoría de los materiales igual al coeficiente de emitancia ϵ , **para radiaciones de similares longitud de onda**. El coeficiente de emisión ϵ se define como la relación entre la radiación que emite un cuerpo de una determinada superficie sobre la que podría emitir un cuerpo negro **a su misma temperatura**, ver **Fig. 7b**.

Tabla 1
Valores de Absortancias para la radiación solar y Emitancias de radiación terrestre

Materiales de sup. distintas	α	ϵ
Película de aluminio brillante	0.05	0.05
Película de aluminio no brillante	0.10	0.12
Pintura de aluminio	0.40	0.50
Pintura blanca	0.20	0.90
Chapa galvanizada	0.89	0.80
Hormigón	0.70	0.94
Ladrillo o tejas	0.70	0.90
Terminación asfáltica	0.92	0.90

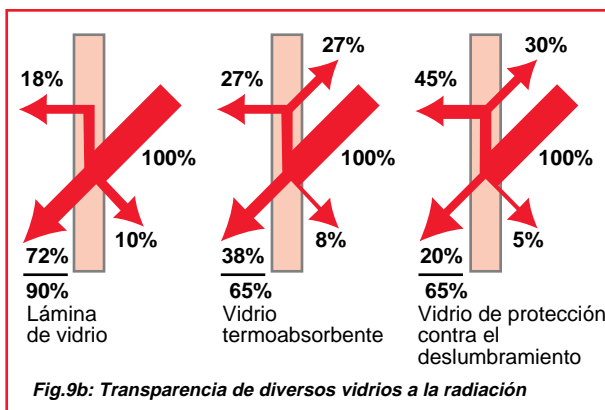
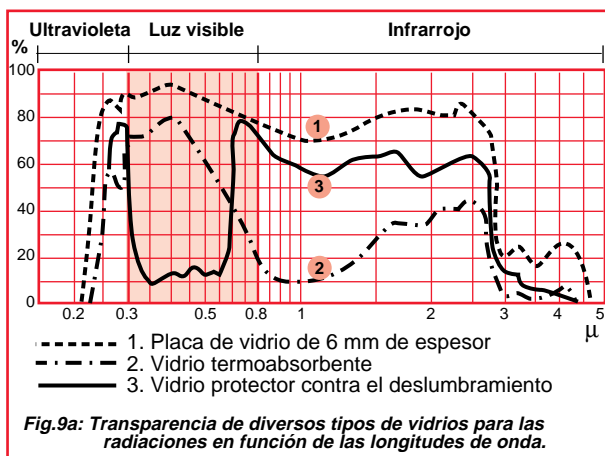
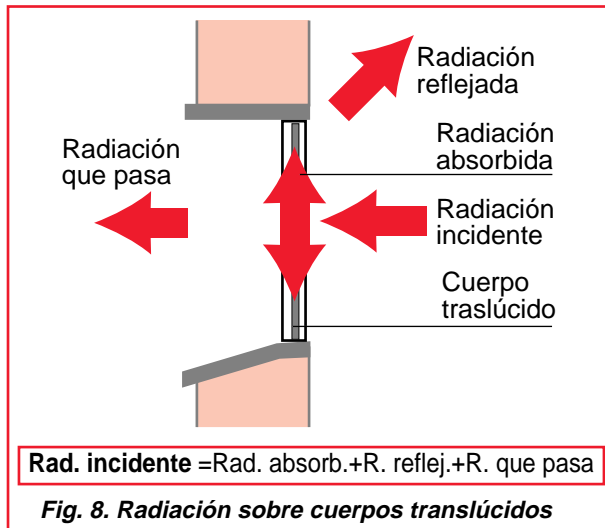
α : Absortancia (Radiación solar)
 ϵ : Emitancia (Radiación terrestre)

Recordemos que se entiende por cuerpo negro aquel que absorbe toda la radiación que le llega, y que puede emitir toda la radiación que su temperatura le permita.

Para el cuerpo negro $\alpha=1$ y $\epsilon=1$. Pondremos un ejemplo que aclarará el concepto:

En trabajos realizados por la Cátedra de Acondiciona-

miento Ambiental de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Tucumán, en rehabilitación de viviendas marginales, se estudió cómo disminuye sensiblemente la temperatura en el interior de viviendas primarias, si a la cara inferior de las chapas de asfalto que conforman el techo se le adhiere una lámina de aluminio brillante. Al



disminuir la radiación del techo el aporte de calor al interior de la vivienda también lo hace, mientras se mantenga limpia y brillante la superficie del aluminio.

Esto se manifiesta observando los coeficientes de emittancia de la **Tabla 1**.

La diferencia de emisión por radiación entre la película de aluminio brillante ($\epsilon=0.05$) y una terminación asfáltica ($\epsilon=0.92$) es la causa de la diferencia de temperatura en el interior.

Hasta ahora nos hemos referido a los cuerpos opacos, es decir los que absorben y reflejan la radiación. En los cuerpos llamados "transparentes o translúcidos" parte de la radiación pasa a través de ellos según vemos en la **Fig. 8**.

En el caso de los vidrios, según el tipo de materiales que se empleen en su composición, pasará radiación en cierto intervalo de longitud de onda. Un buen ejemplo para ilustrar el tipo de radiación que pasa según el tipo de vidrio es el de la **Fig. 9**. Allí se observa como el vidrio común es el que deja pasar radiación de un amplio intervalo. Si se usan vidrios especiales, se puede conseguir que la radiación infrarroja que atraviesa el vidrio disminuya y a la vez mantener el pasaje de la luz visible. Obviamente no existe el vidrio que detenga la radiación, lo que se busca es una solución intermedia entre la función de dejar pasar la luz a los ambientes y evitar que la radiación caliente excesivamente el local.

El efecto "invernadero", es justamente, el calentamiento de un local con aberturas vidriadas debido a que recibe radiación solar a través de la ventana, pero no permite a la radiación terrestre de paredes, piso y demás elementos salir del ambiente. Simplificando el recinto vidriado se convierte en una "trampa solar" donde el calor del sol es acumulado en su interior sin impedimentos y es retenido al ser emitido como radiación terrestre (**Fig.10**).

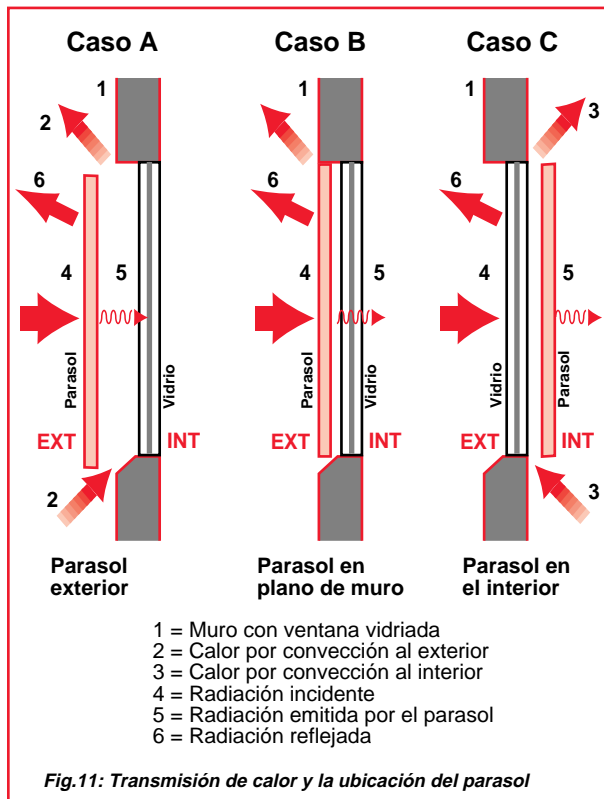
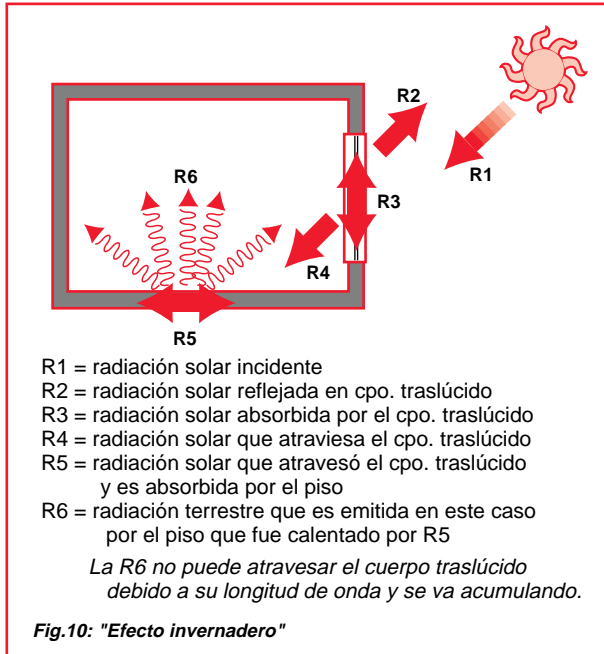
Una forma de atenuar el calentamiento por radiación de los locales vidriados es la colocación de los "parasoles", estos elementos opacos se colocan para evitar que la radiación solar directa caliente paredes, pisos y elementos de un local. Según ilustra la **Fig. 11** se pueden colocar en distintas posiciones:

a. Separado del acristalamiento:

La radiación solar es en parte absorbida por el parasol y en parte reflejada. La radiación absorbida por el parasol será luego en parte emitida hacia el acristalamiento pero como radiación terrestre y su influencia en el calentamiento del local será mínima. Habrá también pasaje de calor por convección del aire próximo al parasol, minimizada por la ventilación del espacio entre el parasol y el vidrio.

b. Próximo al acristalamiento:

Al igual que en el caso anterior la radiación solar es reflejada en parte y absorbida el resto. De la parte absorbida se emitirá cierta cantidad sobre el vidrio interior y el resto es transmitida por convección. Se debe tener presente la posibilidad de ventilar esa cámara de aire



para evitar que por convección el vidrio alcance temperaturas próximas a la del parasol. Otra precaución, en este caso, será la de usar parasoles que no acumulen el calor absorbido.

c. El parasol en el interior:

Al incidir la radiación solar, una parte atravesará el vidrio, otra será absorbida y la restante reflejada. La radiación solar que atravesó el vidrio incide sobre el parasol, una vez más, parte será reflejada nuevamente sobre el vidrio, la restante será absorbida por el parasol. Casi por completo la radiación absorbida por el parasol pasará al local ya sea emitida como radiación terrestre o por convección. La radiación reflejada por el parasol parte saldrá a través del vidrio y pared quedará en el local. Para un mejor funcionamiento el parasol deberá tener una superficie que refleje la mayor cantidad de radiación y que su absorción sea mínima.

Estas reflexiones sobre la radiación se completan con el análisis de lo que ocurre en los techos o paredes (cuerpos opacos) que según sea su terminación superficial absorberán más o menos radiación y que a través de la conducción entregarán calor al interior de la construcción.

Conducción

Considerando un cuerpo de gran superficie respecto a su espesor, en el que dos planos paralelos 1 y 2 están a temperaturas diferentes, siendo $t_1 > t_2$, se origina un flujo de calor desde el plano 1 al 2 (**Fig.12**). **El flujo generado es proporcional a la diferencia de temperatura, ($t_1 - t_2$), a la conductividad del material (λ), e inversamente al espesor del material atravesado por el flujo.**

Aclaremos que el estudio se realiza en **régimen estacionario**, es decir el flujo que pasa en cualquier momento a través de una sección es invariable o constante y su temperatura también lo es. Si la temperatura varía de un instante a otro **el régimen es variable**. Aun cuando lo normal es el segundo caso, en la práctica para la mayoría de los problemas se admite estudiarlos en "régimen estacionario".

O sea:

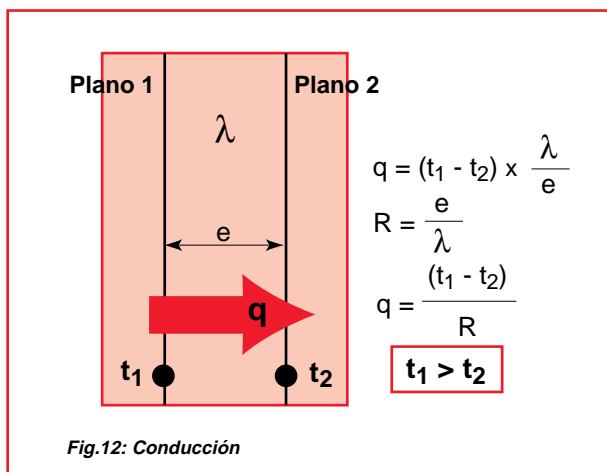
$$q = (t_i - t_e) \lambda / e$$

"q" expresado en W/m^2

" λ " en $W/m^\circ C$

"e" espesor en m.

La conductividad en los materiales de construcción va de 0.03 en los materiales aislantes hasta 4.0 en los más conductores, siendo superior a 30 en los metales. **El coeficiente λ de conductividad nunca es nulo** y sus valores están dados para un metro de espesor y un metro cuadrado del material considerado. "q" también pue-



de escribirse:

$$q = (t_1 - t_2) / (e / \lambda)$$

La relación (e / λ) se llama resistencia térmica "R" del material y se expresa en: $m^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$.

2. Cambios térmicos debidos al cambio de estado del agua.

El cambio del estado del agua provoca dos importantes fenómenos: la evaporación, de líquido a gas, y la condensación, de gas a líquido. Por su importancia en los cambios de temperaturas de la vivienda y sus acciones sobre los materiales los analizaremos en particular.

Evaporación.

Para que se produzca la evaporación del agua se necesita un aporte de calor. Para evaporar un litro de agua se necesitan 600 kcal aproximadamente.

La tasa de evaporación es difícil de calcular por la gran cantidad de variables que la afectan tales como: humedad disponible, humedad del aire, temperaturas de la humedad y del aire y velocidad del movimiento de éste.

Para cada temperatura el aire no puede contener más de una determinada cantidad de vapor, este máximo se denomina **"peso del vapor saturante"** o peso saturante.

La relación entre el peso de vapor que contiene el aire y el máximo que podría contener, peso saturante, se llama **"grado higrométrico o humedad relativa" del aire.**

La capacidad de absorber humedad del aire es el **"poder desecante"** y está dado por la diferencia entre el peso del vapor saturante y el peso del vapor contenido en el aire.

Veamos un ejemplo usando el diagrama psicrométrico de la **Fig.13**. Este ábaco muestra la interdependencia de la humedad relativa, escala de la izquierda; la tempera-

tura del aire en la escala horizontal y la cantidad de vapor de agua por masa de aire seco en g/Kg aire seco y su correspondiente presión en kPa.

Tomando el punto A indicado en el diagrama, sus valores son:

Punto **"A"** lo suponemos ubicado en el exterior de una vivienda.

- Temperatura del aire 0°C . Escala horizontal.
- Contenido de humedad del aire: 3.42 g/Kgas. Escala vertical derecha.
- Peso vapor saturante: 3.8 g/Kgas. Escala vertical derecha.
- Humedad relativa o grado higrométrico: $3.42/3.8 = 0.9$ o 90% H.R.
- Poder desecante: $3.8 - 3.42 = 0.38$ g/Kgas.
- Presión de vapor: 0.54 kPa.

El aire del punto "A" está húmedo con 3.42 g/Kgas pero no saturado.

Este aire exterior a 0°C y con 3.42 g/Kgas es el que ventila la vivienda a través de las aberturas, cuando entra su temperatura se eleva a 20°C y es el punto B de la figura. Veamos qué sucede:

Punto **"B"**: interior de la vivienda.

- Contenido de humedad: 3.42 g/Kgas
- Peso vapor saturante: 14.5 g/Kgas
- Humedad relativa: $3.42/14.5 = 0.23$ o 23% H.R.
- Poder desecante: $14.5 - 3.42 = 11.08$ g/Kgas.

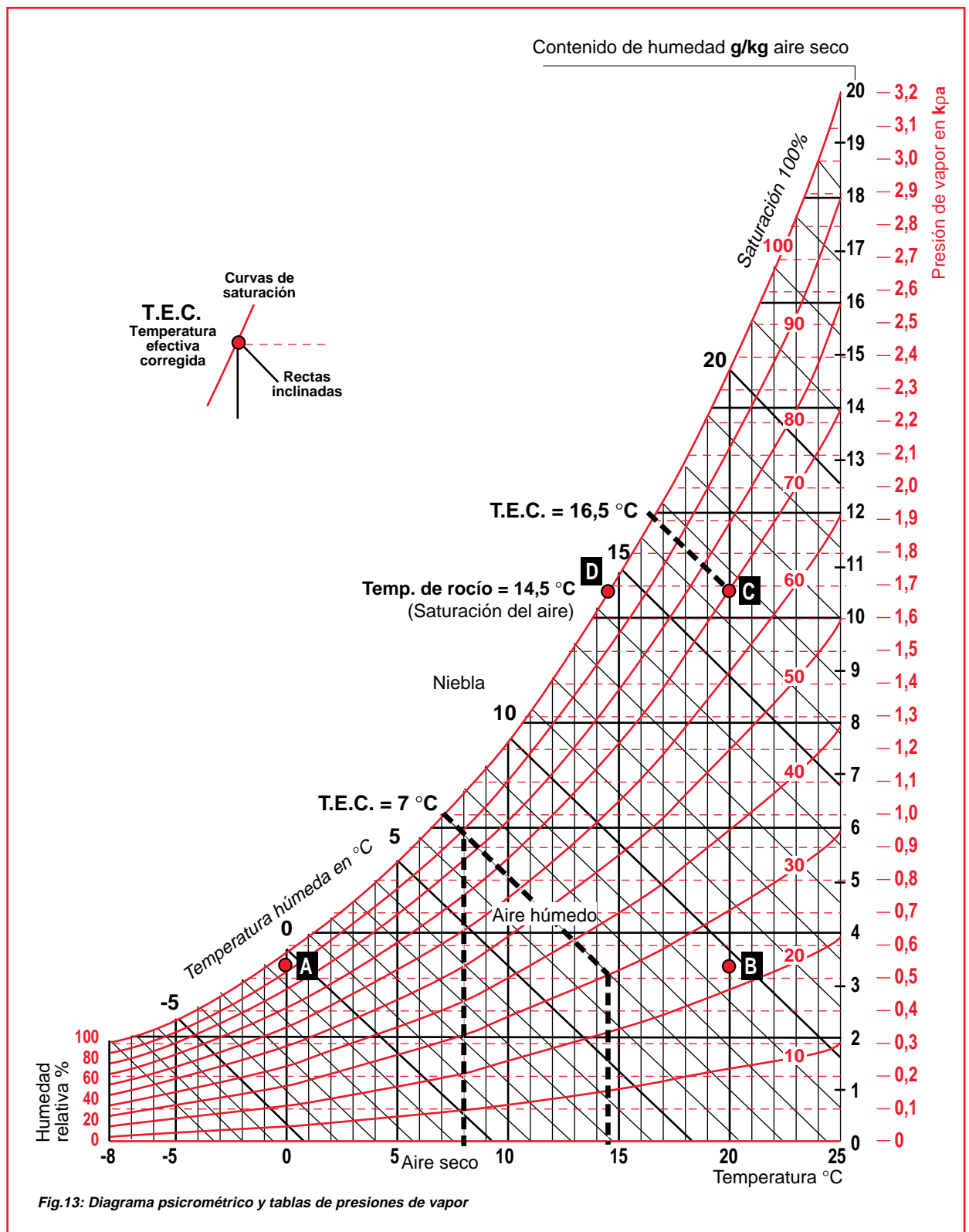
Se ha incrementado la capacidad de absorber humedad, puede evaporar más; el aire interior está más seco. Es decir: **el aire caliente y seco permite más y mayor evaporación**. La velocidad de evaporación es proporcional al poder desecante.

Veremos más adelante el diagrama psicrométrico y las temperaturas efectivas corregidas representadas por las líneas inclinadas.

Condensación.

Si en el estado indicado por el punto **"B"**, **Fig. 13**, al aire le aportamos 7 gr de agua/Kgas como resultado de actividades normales en un edificio manteniendo la temperatura en 20°C , su humedad relativa ascenderá al 70% con una presión de vapor de 1.65 kPa y un contenido de 10.4 gr de agua/Kgas. Es el punto **"C"** del diagrama.

Si la temperatura interior del recinto desciende sin que baje el contenido de humedad, es decir va desde **"C"** hasta **"D"** en la figura, cuando llegue a 14.5°C condensará el vapor de agua. Es que con ese peso de vapor saturante, se ha alcanzado la temperatura de rocío, se llegó a la temperatura de saturación, a la zona de niebla y aparición de gotas en el interior. El grado higrométrico



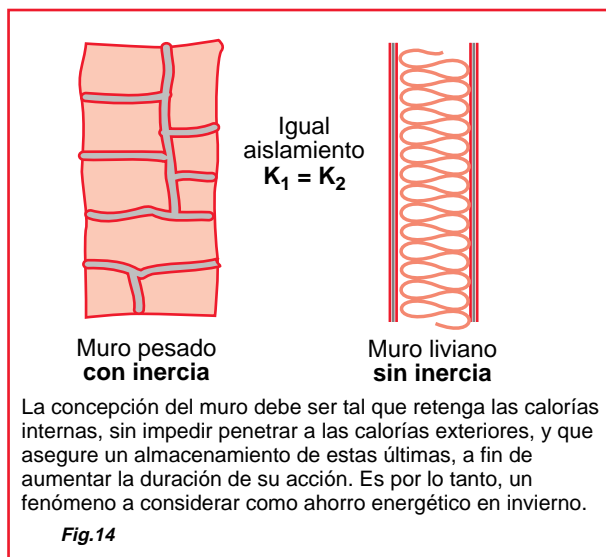
o humedad relativa del aire en el punto "D" es de 1 o del 100%.

La condensación produce un desprendimiento de calor y si en el caso indicado se condensó un litro de agua se habrán desprendido las 600 kcal de las que hablamos más arriba.

3. Inercia térmica.

La inercia térmica no es una forma de transmisión de calor, pero es una propiedad de ciertas construcciones, que usada criteriosamente puede mejorar el comportamiento térmico de un edificio. Se da en ciertas localidades del País que la temperatura media diaria está en las zonas del confort, (más adelante veremos este concepto) pero que durante el día se elevan tanto que escapan al mismo. Con inercia térmica de la forma constructiva esto puede atenuarse.

La inercia o también "volante térmico" consiste en la capacidad de acumulación de calor por muros y techos principalmente, que se desprende posteriormente en el ambiente interior, con un "retraso" que puede ser favorable o no para las condiciones ambientales reinantes (Fig.14).



La capacidad de almacenar calor tiene importancia para las cargas del verano pero **solamente cuando el porcentaje de ventanas no es mayor en superficie del 50% de las fachadas.**

El cálculo de la inercia térmica en general no es exigido en nuestras normas, pero se ha considerado su validez, en los valores de las resistencias térmicas superficiales y en las transmitancias admisibles. Su influencia en zonas cálidas y en construcciones tradicionales pesadas, amor-

tigua los picos de temperatura en cielorrasos y muros exteriores, es decir es favorable pero si el retraso de la onda se produce en las horas de sueño es perjudicial. Entonces, en ciertas obras, por los picos altos de discomfort, la orientación de las fachadas o cualquier otro factor desfavorable debe hacerse el estudio de la inercia térmica.

El cálculo se debe hacer en las habitaciones más expuestas al exterior como las de esquina y las de última planta.

Lo que se busca mayormente al aprovechar la inercia, sobre todo en zonas de alta radiación, es lograr:

- Confort en verano

- Óptimos consumos de calefacción en invierno

y es lógico que la inercia de los componentes por el calor acumulado que restituyen al ambiente interior, contribuye con esos objetivos propuestos.

La hipótesis aceptada del estudio térmico en régimen estacionario está justificado cuando las variaciones de temperatura son de pequeña amplitud como puede suceder en invierno. Pero en verano las variaciones de temperatura y el asoleamiento son muy importantes y deben tenerse en cuenta.

Lo que la experiencia ha demostrado es que **los materiales macizos y pesados presentan una gran inercia, hay un relación entre la masa y su capacidad de absorber calor.** Las normas IRAM de acondicionamiento como ya se dijo, contemplaban en la determinación de los valores de aislación la masa de los materiales. En las construcciones antiguas los muros se calentaban lentamente, se tardaba mucho en llegar a una temperatura adecuada. Inversamente al detener el calefaccionamiento los muros devolvían lentamente el calor acumulado. En la construcción actual se alcanza rápidamente la temperatura deseada pues se trabaja con materiales más livianos con poca inercia.

Hay una tabla muy conocida que compara a muros con fuerte y débil "volante térmico", que es bastante ilustrativa. Ver **Tabla 1.**

Como puede apreciarse las ventajas e inconvenientes se equilibran en el verano. Durante el invierno los muros livianos no son un inconveniente grave si están bien aislados. Son más aptos para los locales que se calientan temporalmente como salas de reuniones, casas de fin de semana, etc.

En el diseño hay que analizar en detalle: **la composición del muro y la posición del aislante para el mejor aprovechamiento de las radiaciones solares y de las radiaciones de los cuerpos del interior. Desde este punto de vista es preferible la colocación del aislante en el exterior ya que mantienen los**

TABLA 1

Estación	Muros con fuerte inercia	Muros con débil inercia
Invierno	Locales lentos en calentar Locales lentos en enfriar	Locales rápidos en calentar Locales rápidos en enfriar
Verano	Fachadas lentas de calentar en el día (Temperatura fresca en el interior)	Calor que entra rápidamente en la vivienda
	Fachadas que se enfrían mal durante la noche y siguen radiando calor	Noches más frescas según la zona climática

aportes solares a través de los huecos acristalados, demorando su salida al exterior.

El conocimiento de la inercia térmica se concreta en la **obtención de los valores de temperatura** que se obtienen en el ambiente interior pared o techo y la marcha de la onda de calor con sus **valores de amplitud y retraso**. En la **Fig.15**, se observa en un ejemplo teórico la marcha de la temperatura **te** exterior y la de **ti** interior de la superficie con el retraso y la amortiguación entre ambas.

Para obtener estos resultados se utiliza el concepto de **temperatura sol-aire**, que se define como: **la temperatura exterior que produce una carga térmica equivalente a la suma de la radiación solar y la temperatura del aire exterior**. Resumiendo es una temperatura ficticia que debería tener el aire exterior si se anulara la radiación solar y produjera el mismo flujo de calor que atraviesa el muro o techo.

Se expresa así:

$$t_{sa} = t_{ex} + I \cdot \alpha \cdot R_{se}$$

t_{sa}: Temperatura sol - aire

t_{ex}: Temperatura exterior

I: Radiación solar incidente que depende de la latitud, fecha, hora y orientación del plano y están en las tablas de radiación solar.

"α": Coeficiente de absorción de la radiación solar. N.IRAM 11601.

R_{se}: Resistencia superficial externa de la construcción. N.IRAM 11601.

Los valores de temperatura, amplitud y retraso de la onda de calor se calculan usando los datos de: temperatura sol-aire, temperatura radiante y temperatura efectiva, valores adimensionales y tablas que vinculan las amplitudes y los tiempos de retardo.

Observemos en la **Fig. 16** el comportamiento de una pared opaca en verano, y en la que ya no consideramos al

régimen como estacionario. Si se eleva la temperatura exterior según una curva periódica diurna se genera un flujo de calor que penetra en la pared y después en el local con un retraso, que es función del peso y de la capacidad calorífica de la pared. En la **Fig. 16a** vemos la curva de la temperatura supuesta constante del local **ti** y la curva de la temperatura exterior periódica.

Si se supone que la pared es de peso nulo el flujo que entra en cada instante es:

$$q_1 = K(t_e - t_i)$$

La curva de variación es la representada en la **Fig. 16b** y es una curva **no** amortiguada a causa de la inercia y **no** retrasada, el máximo de flujo **q₁** se produce al mismo tiempo que el máximo de temperatura exterior.

Si la pared fuese infinitamente pesada, **Fig. 16c**, la amortiguación será total y el flujo constante e igual a:

$$q_2 = K(t_{em} - t_i)$$

t_{em}: valor medio de **t_e**

q₂: es igual al valor medio de **q₁**

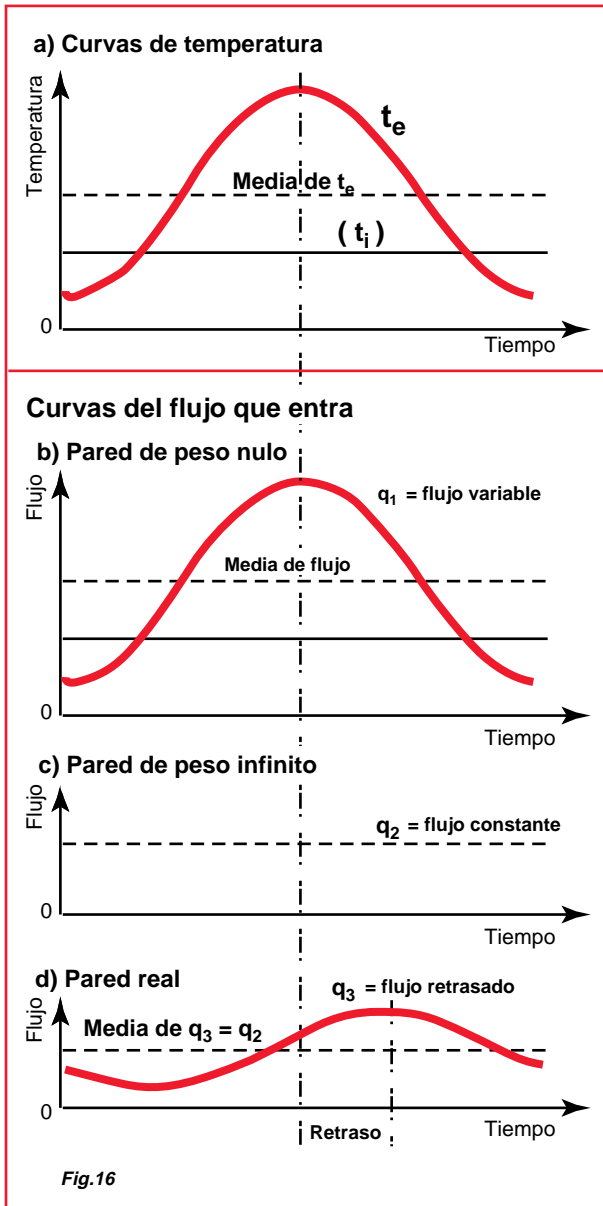
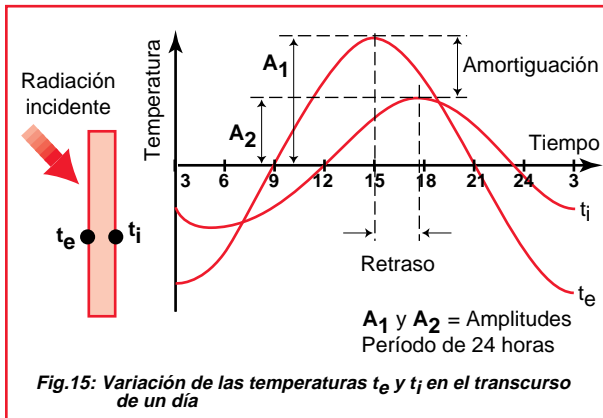
Si la pared no es de peso nulo ni de peso infinito, **Fig. 16d**, sino una pared real, la variación del flujo oscila alrededor de **q₂** con una amplitud inferior a **q₁** y un retraso, siendo el flujo entonces:

$$q_3 = K(t_{em} - t_i) + mK(t_e - t_{em})$$

m: coef. de amortiguación

Para un **"K"** igual, la amortización y el retraso de las paredes homogéneas son función de la "admisividad" de los materiales, producto de la conductividad por el calor específico y la masa específica. El calor específico es casi igual para todos los materiales y la conductividad y la masa varían en el mismo sentido. Si los materiales son diferentes también lo son las "admisividades" y las amortiguaciones y retrasos.

En paredes vítreas la radiación solar penetra sin amortiguación ni retraso. En los huecos acristalados la inercia



siempre es pequeña.

Lamentablemente y por razones de espacio y objetivos de este Manual no desarrollamos, por ahora, el cálculo de la inercia térmica, pero hemos alertado la significación que puede tener en un estudio completo cuando la obra lo requiera.

B. Concepto de confort

Los ocupantes de un edificio juzgan la calidad del diseño, desde un punto de vista tanto físico como emocional, las sensaciones de bienestar o incomodidad serán las determinantes de un dictamen favorable o no al lugar donde vivimos o trabajamos.

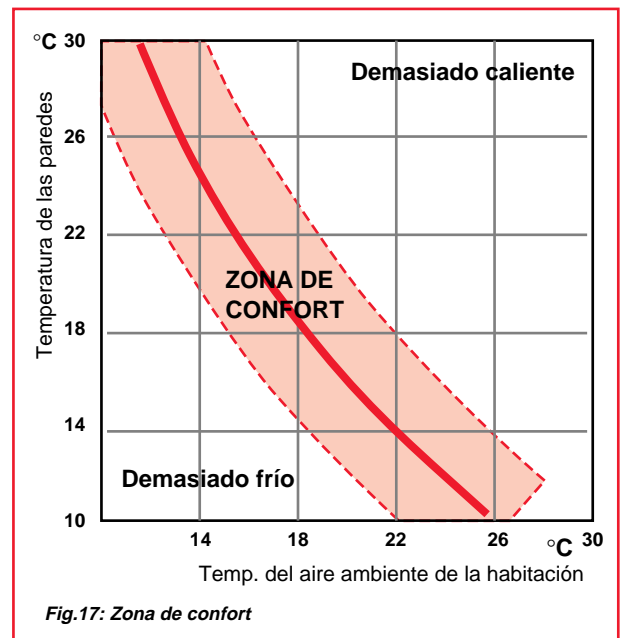
El confort óptimo se puede definir como la sensación de bienestar completo físico y mental. Para nuestro caso denominamos "confort térmico" al estado mental que encuentra satisfacción con el ambiente térmico que nos rodea.

Desde el siglo XIX, los accidentes y enfermedades originadas por la influencia del calor y la humedad en las industrias mineras, metálicas y textiles, despertaron el interés por establecer criterios para el confort térmico.

Muchos estudios se efectuaron para definir cuáles eran las causas, que además de las climáticas, podían considerarse constantes y permanentes para alcanzar el confort en las viviendas.

De los varios factores que influyen en el confort podemos citar:

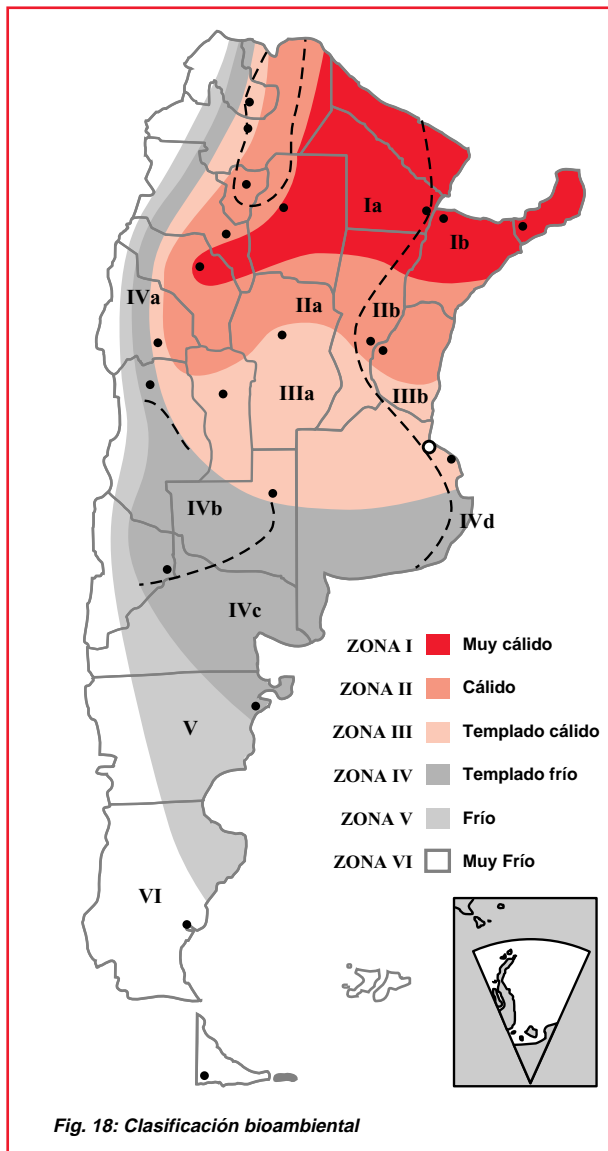
- Temperatura del aire interior.
- Temperaturas de las superficies del recinto y radiación.



- Humedad del aire.
- Movimiento del aire. (Velocidad del aire)

Una temperatura interior de 25°C, con paredes muy frías en una habitación nos parece baja. Si tiene 18°C pero las paredes y piso están calientes la encontramos confortable. La sensación de confort en invierno la percibimos cuando la suma de la temperatura ambiental de la habitación más la de la superficie interior alcanza la del cuerpo humano es decir 37°C.

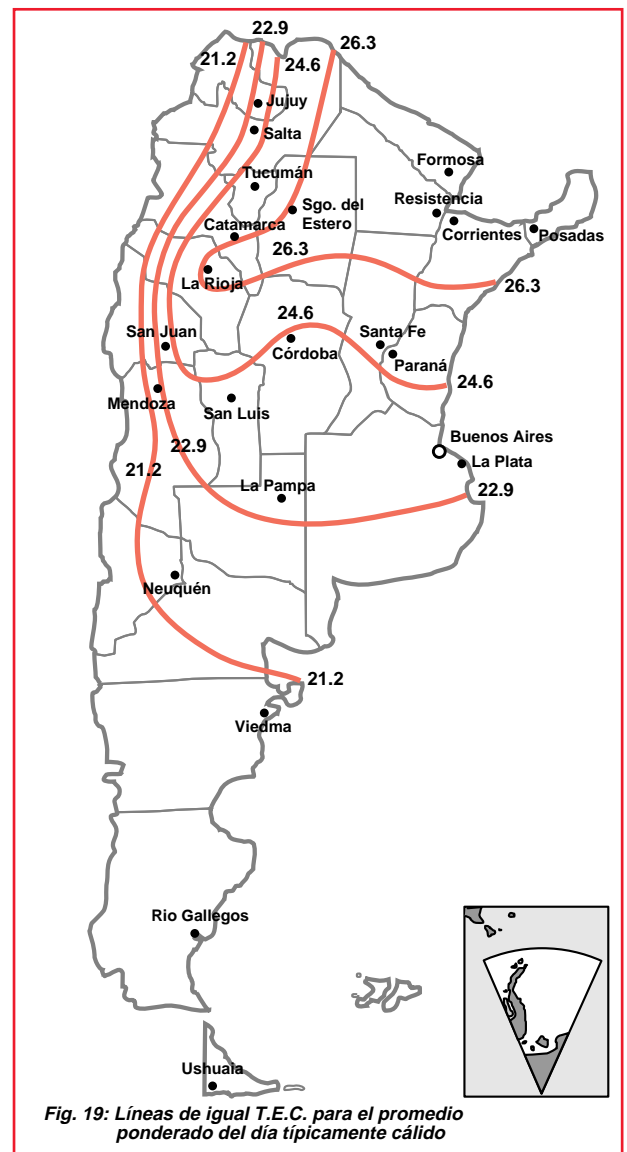
Por ejemplo si la temperatura interior es de 18°C y la de las paredes, piso y cielorraso es de 14°C, el confort se califica como demasiado frío ya que: $18 + 14 = 32^\circ\text{C} < 37^\circ\text{C}$. En la **Fig. 17** vemos un gráfico que en base a lo dicho indica en color la zona de confort, relacionando temperatura de la superficie de las paredes con la del aire interior.



Escalas de confort

A comienzos de la década de los años veinte comenzó la búsqueda de una escala simple, que combine los cuatro factores indicados arriba y sus efectos en la disipación de calor del cuerpo humano. Se crearon varias de difusión diversa y se las denominó "índices térmicos" o "escalas de confort".

La primera de ellas, creada por la "American Society of Heating and Ventilating Engineers" en 1923, se denominó escala de "temperatura eficaz" y fue definida como la temperatura de un ambiente en calma, saturado, y que sin considerar la radiación producía el mismo efecto que la atmósfera real en cuestión. Esta escala fue posteriormente corregida con los efectos de la radiación y otras modificaciones, y es conocida como la escala TEC o sea de temperatura efectiva corregida.



De los índices y escalas existentes: temperatura operativa, índice de confort ecuatorial, temperatura resultante, tasa de sudor, índice de fatiga calorífica y otras más que no mencionamos, todas tienen limitaciones en su aplicación. La razón es que la experimentación se realizó en condiciones climáticas muy variables y los métodos fueron también distintos. La única excepción es la escala TEC, en la que en distintos países se trabajó experimentalmente y las conclusiones fueron coincidentes.

Es la de mayor uso y de fácil aplicación, es la adoptada por IRAM en nuestras normas.

Las zonas bioambientales de la República Argentina, Norma IRAM 11603, se definen de acuerdo con el mapa de la **Fig. 18** (Ver Norma) y se ha desarrollado teniendo en cuenta:

a) Para las zonas cálidas, los índices de confort de la temperatura efectiva corregida (TEC) según mapa de **Fig. 19** y otros parámetros. El nomograma de la **Fig. 20** permite calcular las temperaturas efectivas corregidas. En este gráfico se ha marcado en color una zona de confort para zonas cálidas, aceptable en general para más del 80% de la gente, según mediciones hechas en otros países.

El nomograma de la **Fig. 20** realizado para personas que visten ropa de trabajo normal, se desarrolla entre dos escalas verticales: la de **temperatura de bulbo seco, TBS, y la de temperatura de bulbo húmedo, TBH**. Estas temperaturas resultan de un medición hecha a la sombra, de dos termómetros de mercurio, colocados uno junto a otro dentro de una caja con persianas de madera. Uno mide la temperatura del aire, TBS y en el otro el bulbo se encuentra envuelto en una gasa que se mantiene húmeda, y la medida es la TBH. Cuando se evapora el agua de la gasa se produce un enfriamiento, como ya vimos, por eso la TBH será menor que la TBS. Si la humedad relativa, HR es del 100% las dos lecturas son iguales, ya que no hay evaporación.

La temperatura radiante media, TRM, es la que se produciría si todas las superficies de un entorno estuvieran a la misma temperatura y produjeran el mismo equilibrio de calor radiante neto, que el del ambiente en consideración con diversas temperaturas superficiales.

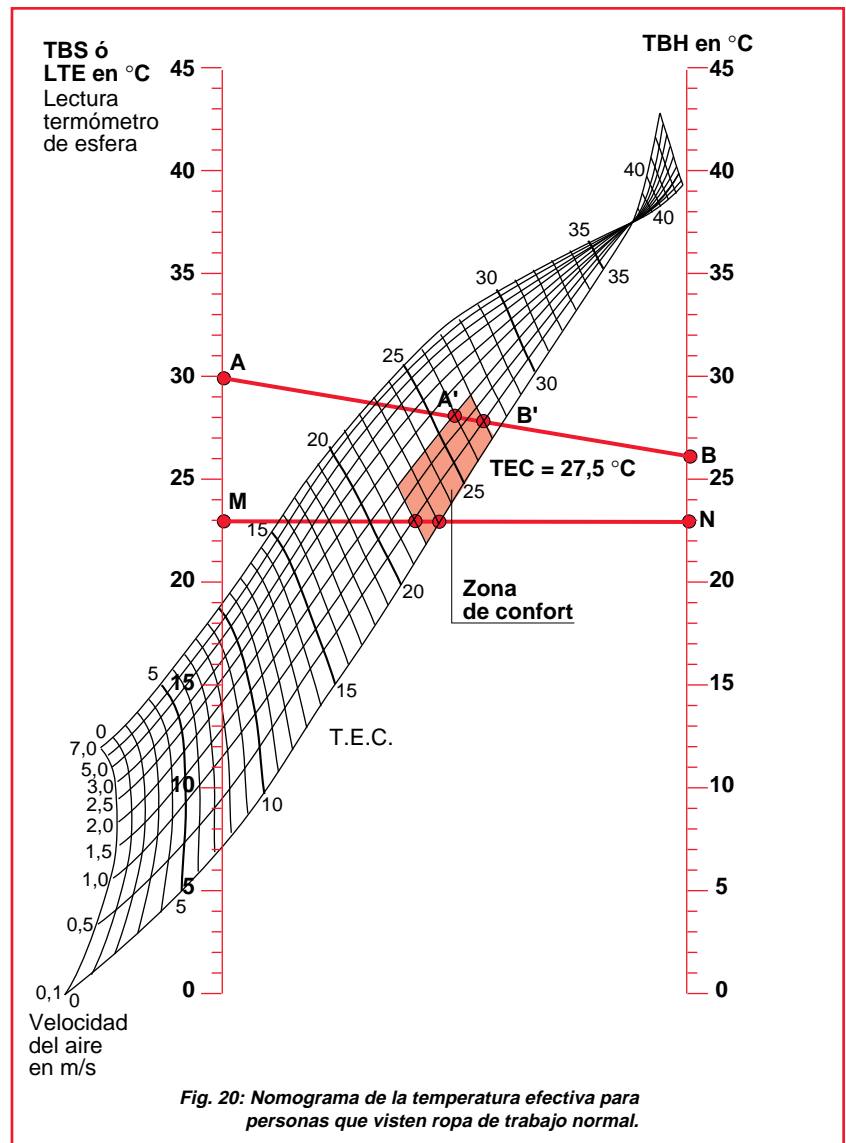


Fig. 20: Nomograma de la temperatura efectiva para personas que visten ropa de trabajo normal.

La **TRM** se puede leer directamente con el llamado termómetro de esfera, un termómetro de mercurio común, encerrado en una esfera de cobre pintada de negro mate, de 15 cm de diámetro. Este termómetro se usa en la determinación de la temperatura de bulbo seco considerando también la radiación. Veamos un ejemplo de uso del nomograma. Si el termómetro de esfera marca 30°C, punto A y la temperatura de bulbo húmedo es de 26°C, punto B, en el nomograma de **Fig. 20**, se unen con una recta ambos puntos. La recta va cortando las líneas inclinadas que en sus extremos marcan las TEC y las de velocidades del aire. El punto A' tiene una TEC = 26°C y el punto B' tiene TEC = 27°C. Todos los puntos entre A' y B' están dentro de la zona de confort.

Se observa que para una velocidad del aire de 0.1 m/s tendríamos una TEC de 27.5°C fuera de la zona de confort.

fort y en la intersección de AB con la velocidad de 7 m/s tenemos $TEC = 23^{\circ}C$ en zona de confort.

Si las temperaturas TBS y TBH fueran iguales a $23^{\circ}C$, recta MN, (lo que indica 100% de humedad relativa) y el movimiento del aire tuviera una velocidad entre 0.1 y 0.5 m/s la mayor parte de la gente se sentiría a gusto.

Si no se conociera la TBH pero sí la TBS y la humedad relativa **podemos conocer la TEC con la ayuda del diagrama psicrométrico y sus líneas inclinadas**. En la **Fig. 13**, el punto C $20^{\circ}C$ y con humedad relativa del 70%, tendría una TEC de $16.5^{\circ}C$.

Finalizando el concepto de las TEC, se ve que una temperatura del aire de $8^{\circ}C$ y humedad relativa del 85%, es equivalente a otro de $14.5^{\circ}C$ y humedad relativa del 30%. Es así porque como se ve en el diagrama tienen la misma TEC, la línea en trazos lo indica. En conclusión, con la T.E.C. y la velocidad del aire se verifica si se está o no en la zona de Confort ya definida.

b) Para las zonas frías la evaluación se hizo con los grados días para las necesidades de calefacción como veremos más adelante.

Todos los factores del ambiente están vinculados y las exigencias deben relacionarlos y no considerarlos aisladamente.

Las exigencias del confort se dividen lógicamente en:

-Exigencias de invierno

En época invernal, el cierre de ventanas y aberturas hace que el aire se mantenga en calma y no tenga velocidad, salvo cerca de las entradas de aire de las aberturas y ventilaciones. **Ver Fig. 21**.

Aparecen como factores de mayor importancia en invierno, la temperatura del aire y la temperatura radiante. La exigencia se dirige a determinar la temperatura mínima interior y la temperatura de ambiente orientada hacia las diferentes paredes de la que depende el confort del cuerpo.

La temperatura de ambiente orientada al cuerpo humano puede generar confort en las proximidades de paredes sin aislación, paredes frías, o por falta de estanquidad en las ventanas.

Nuestras normas fijan la temperatura interior en $18^{\circ}C$ en el centro del local a 1.50 m de altura; tal vez para zonas frías resulte insuficiente. Para el cálculo de la instalación de calefacción se toma como mínimo $20^{\circ}C$. La temperatura mínima no es constante en el local, varía con la altura del punto, en los rincones, cerca de carpinterías, etc.

Creemos, en base a la experiencia de países desarrollados, que no es conveniente una temperatura interior de diseño muy baja ya que una corriente de aire pequeña,

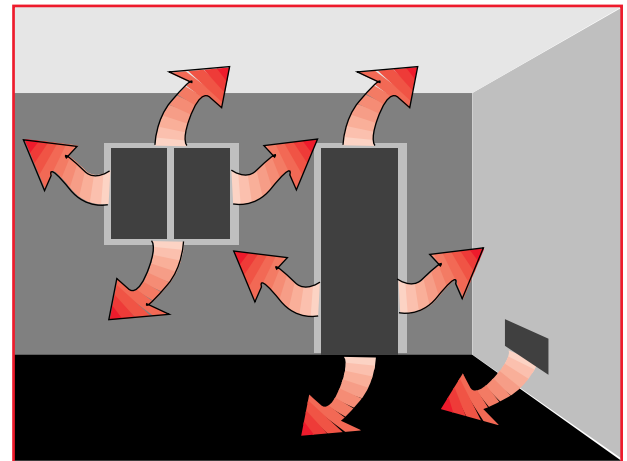


Fig. 21: Las flechas indican la entrada de aire al interior.

como puede ser la generada por la apertura de una puerta originará una sensación pasajera de confort. Existe un índice de molestia que relaciona la temperatura del aire, la del filete de aire y la caída de la temperatura resultante. Se admite que este índice no debe superar $2^{\circ}C$. En la **Fig. 22** se muestran valores del índice de molestia a diferentes distancias de un hueco acristalado.

Cuando el caudal que entra en el local es importante, la **$t_e = 0^{\circ}C$ y la $t_i = 20^{\circ}C$** . La línea llena indica los puntos en los que el índice de molestia es mayor o igual a $2^{\circ}C$. También se indica la zona de ocupación a 0.20 m de distancia de las paredes y 2.0 m de altura dentro de la cual, según la exigencia, el índice no puede ser inferior a $2^{\circ}C$.

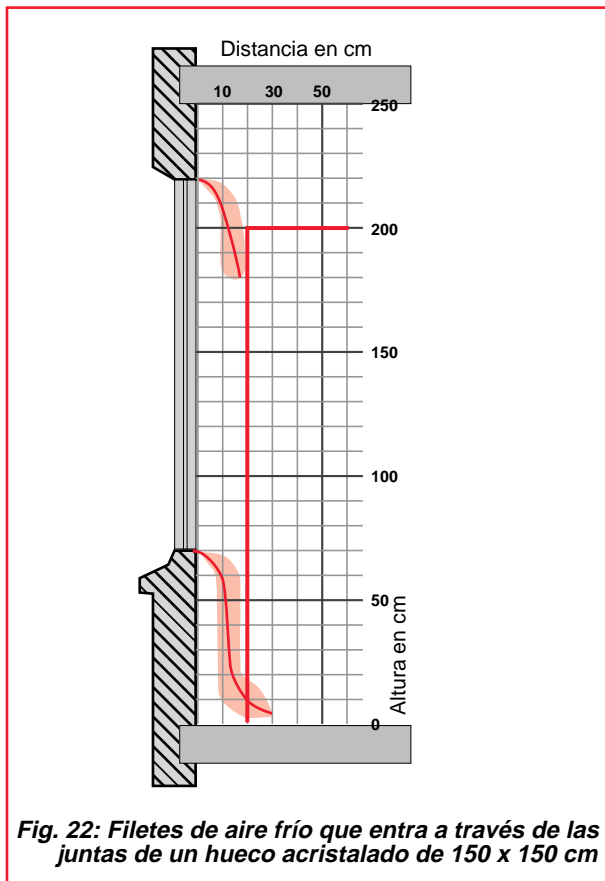
Respecto a la humedad del aire, al no ser alta la temperatura de este, tampoco la humedad puede ser tan alta como para ocasionar molestias. Debe sí evitarse la baja humedad, por ejemplo inferior al 30%, ya que a muchas personas les ocasiona irritaciones en las vías respiratorias y alergias. Además se produce un polvo seco que se quema sobre los radiadores manchando las paredes y generando amoníaco que es irritante. Si la humedad es superior al 75% se favorece la formación de moho y las manchas por condensación aparecen.

El confort respecto a la humedad puede lograrse dentro de estos límites:

-Humedad relativa $> 30\%$ para evitar problemas respiratorios.

-Humedad relativa $< 75\%$ peligro de deterioros en madera, cuero, papel, corrosiones, equipos electrónicos, etc.

Una exigencia muy importante es la del control de la condensación. Esta sólo es admisible en cocinas, baños y lavaderos pues sus paredes están diseñadas para que



no sean afectadas. En otras habitaciones no son admitidas salvo en las partes acristaladas. En las paredes y techos debe verificarse la condensación en su interior (intersticial) por el riesgo que este fenómeno producido en lugares no visibles, puede ocasionar a los cerramientos, más aun en sistemas constructivos no tradicionales.

La conclusión para el invierno sería: cumplimiento de las normas para el aislamiento térmico, la humedad del aire, estanquidad de las aberturas y pérdidas de calor. Resumiendo: cumplimiento de las Normas IRAM de acondicionamiento higrotérmico.

-Exigencias de verano

Se distinguen para el verano dos casos según el comportamiento de la humedad:

1º) Climas en que la humedad no genera problemas.

Son generalmente climas templados o cálidos secos. La temperatura interior media no debe exceder los 28°C, parece alta pero la elección se relaciona con la economía buscada. En climas más calientes puede ser hasta 30°C. Siempre hablamos sin emplear el acondicionamiento artificial. También se evitarán las paredes calientes que irradian calor al interior. Debe apelarse en el di-

seño al recurso de las ventilaciones cruzadas.

2º) Climas en que la humedad genera problemas.

Son climas calientes y húmedos. La aproximación al confort es a través de la velocidad del aire para aumentar los cambios por evaporación, se debe recurrir al uso de ventiladores u otros equipos. La temperatura del aire es muy superior a las de las paredes, se abandona el criterio de temperatura ambiente y se usan las temperaturas efectivas (TEC), no excediendo los 30°C ni la humedad del 75%. Este es el clima reinante en los veranos de Chaco, Corrientes, Formosa, Misiones, zonas de Salta, Santiago del Estero y norte de Santa Fe.

C. Aplicación práctica

Después de haber dado una breve referencia de los principios teóricos sobre los intercambios de calor, estados del agua, inercia térmica y confort; corresponde explicar su aplicación en la práctica constructiva.

Para cumplir las reglas de Calidad de la habitabilidad como mínimo se pide:

1. Aislación Térmica: Que las superficies que envuelven a la vivienda presenten una barrera que retarde los intercambios de calor. Y además que esta aislación no presente heterogeneidades peligrosas: control de los puentes térmicos.

2. Que no produzcan condensaciones tanto en la superficie o en el interior de paredes y techos (Verificación de condensaciones).

3. Que las pérdidas de calor de toda la casa estén acotadas a un máximo según la zona (Cálculo del Coeficientes Volumétricos G de pérdida de Calor). Para épocas invernales en zonas frías.

Habitabilidad mínima de una vivienda

- 1) Aislación → (verifica K máximo
Puentes térmicos acotados)
- 2) No presenta condensaciones
- 3) Cumple G de pérdidas de calor

Estas verificaciones son las mínimas que el Usuario de la vivienda debe exigir. Son las mínimas que un constructor debe ofrecer. Se observa en algunas especificaciones técnicas de viviendas exigir dosificaciones para el mortero hidrófugo y no exigir las condiciones anteriores desconociendo que gran parte de los problemas que se atribuyen a revoques mal hechos se deben a condensaciones en los muros. **Un caso de incongruencia resulta especificar las calorías que aportan las estufas sin exigir que se cumpla el K mínimo o se verifiquen las pérdidas de calor.** No estamos refiriéndonos

a los sistemas constructivos en especial sino a todas las formas de construir, pero muy especialmente esto ocurre en la construcción tradicional. En nuestros días, en especial en la construcción de propiedad horizontal de baja y media altura, en las casa tipo “Dúplex” donde la venta se hace directamente del constructor al usuario se ignoran totalmente estos Mínimos. Paredes exteriores de ladrillo común de espesor $e=0,15$ m, revocada del interior y a la vista al exterior son usadas en las caras que dan al Sur. Estos excesos podrían ser evitados si las Municipalidades adoptaran la obligatoriedad de aplicar las Normas IRAM de Acondicionamiento Higrotérmico como lo adoptan algunos entes oficiales. Por otra parte consideramos que los buenos y responsables constructores, deberían difundir que sus obras cumplen las Normas, de tal manera que el usuario las conozca y las exija masivamente.

1. Aislación térmica (Coeficiente K)

La forma de ponderar la aislación que provee una pared, un techo, un piso u otro cerramiento es mediante un coeficiente de transmitancia térmica K en la República Argentina y en Europa y U en los Estados Unidos.

Este coeficiente, particular de cada tipo de cerramiento, permite comparar el poder aislante (o de resistencia al paso del calor) de distintas soluciones constructivas. Por otra parte las normas fijan un máximo valor que los cerramientos deben respetar.

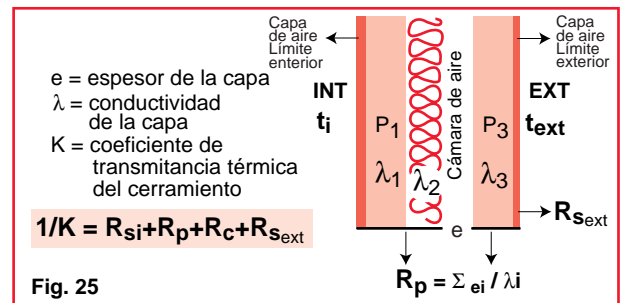
Coeficiente K :

(NORMA IRAM 11601, de diciembre de 1996)

La transmitancia térmica del cerramiento de un local (pi-

Material	Densidad kg/m ³	Conductividad W/m ² °K
Plancha de poliestireno expandido	15	0.037
Lana de vidrio	10	0.045
Plancha de poliuretano sin protección	32	0.027
Madera de pino perpendicular a las fibras	600	0.19
Madera dura	1200	0.34
Terciado	600	0.11
Tablero aglomerado	400	0.078
Hormigón estructural	2400	1.63
Hormigón de arcilla expandida	1000	0.42
Hormigón gaseoso	600	0.16
Mortero arena-cemento, humedad 5%	2000	1.13
Revoque cal y cemento	1900	0.93
Yeso enlucido	1000	0.49
Placas de yeso	1000	0.44
Placas de fibrocemento	1200	0.39
Mamp. de ladrillos cerámicos comunes	1600	0.81
Cubierta de chapa metálica	7800	58
Cubierta tejas planas	-	0.7
Baldosas cerámicas	1600	0.7

Fig. 23 Tabla 6 de conductividades



Resistencias térmicas que intervienen en el valor K



so, pared o techo) está dada por la facilidad con que el calor lo atraviesa, es decir a mayor “ K ” tendremos peor aislación.

Como es lógico el valor del K depende de las propiedades térmicas de los materiales del cerramiento y de la función del cerramiento: pared o techo. La Norma IRAM 11601 en 5.1, para una sección como la de la **figura 23** el valor de la transmitancia térmica lo expresa como:

$$1/K = R_{si} + R_p + R_c + R_{se} \quad [1]$$

$$R_p = R_{p1} + R_{p2} + R_{p3}$$

Se analizarán cada uno de los términos:

R_{si} y R_{se} = Resist. Térmicas Superficiales

Esta resistencia es la que ofrece la capa de aire que se encuentra sobre la superficie interior o exterior. Esta resistencia dependerá de la posición de la superficie (horizontal, a 45° o vertical), de la dirección del flujo (si es ascendente o descendente) y sobre todo del coeficiente de emisión o Emitancia (e).

Ver los valores de las **R_s** en la **Tabla 2** y de “ e ” en la **Tabla 12** de la N. IRAM 11601, de la **fig.24**:

TABLA 2. Resistencias Superficiales

Interior Rsi			Exterior Rse		
Dirección del flujo de calor			Dirección del flujo de calor		
Horizontal	Ascend.	Descend.	Horizontal	Ascend.	Descend.
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fig.24
Norma IRAM 11601:1996

Como se vio cuando se analizaron los principios de convección, la mayor resistencia al paso del calor será para el aire quieto (interior) o para el flujo descendente, contrario al mecanismo de la convección. Las variaciones por el tipo de la superficie son muy grandes como se analizó en Radiación, lo mas prudente es tomar la máxima emitancia cuando se desconoce si la superficie quedará siempre brillante o si como es común con la suciedad y desgaste se va perdiendo su baja emitancia.

Valor frecuente para las paredes:

$$R_{si} = 0.13 [m^2 \text{ } ^\circ K / W]$$

Mientras que para los cielorrasos es $R_{si} = 0.10$ cuando el flujo de calor es ascendente, lo usual en invierno, o de $R_{si} = 0.17$ cuando el flujo del calor es descendente.

R_p = Resist. térmica de los distintos materiales.

Es la resistencia de las distintas capas que componen el cerramiento. Esta resistencia de las materiales será proporcional a su espesor (e) e inversamente proporcional a su conductividad térmica (λ).

$$R_n = \sum e_i / \lambda_i$$

TABLA 12. Clasificación de materiales de construcción según su emitancia (e)

Superficie de mediana o alta emitancia (no reflectivas)	Superficie de baja emitancia (reflectiva)
Aluminio anodizado u oxidado Cobre oxidado Hierro galvanizado Fieltro bituminoso Fieltro con superficie mate Pintura blanca "a la cal" Pintura de aluminio Pinturas rojas (tipo óxido de hierro III) Pinturas amarillas Negro mate Pintura verde militar Hormigón Asbesto cemento Poliestireno expandido Vidrio Transparente Mampostería de ladrillos comunes y cerámicos (rojos) Tejas cerámicas Tejas de pizarra Tejas asfálticas Mármol blanco Revestimiento de yeso Granítico (rojizo) Tierra Arena Madera Pasto	Película de aluminio (muy brillante) Lámina de aluminio Cinc pulido Cobre pulido

Es natural que la resistencia al paso del calor aumente con el espesor. En la construcción tradicional lo eran por el mayor espesor de paredes. Buen ejemplo de ello lo constituyen las Iglesias del período Colonial en nuestro país, sumamente frescas en el verano debido a la gran aislación que le proporcionan sus gruesas paredes. Obviamente el proyectista actualmente no puede recurrir a esa solución. Queda por lo tanto la posibilidad de elegir adecuadamente el tipo de materiales para alcanzar la aislación deseada.

Algunos de los materiales que se emplean en la cons-

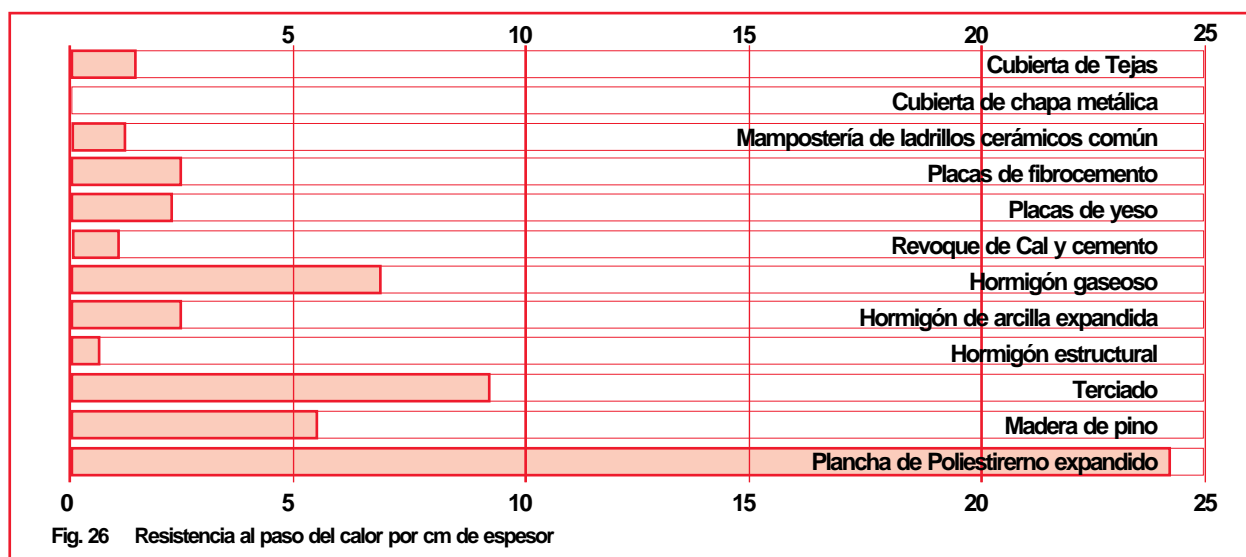


Fig. 26 Resistencia al paso del calor por cm de espesor

trucción reciben el adjetivo de aislantes, una clasificación global sería:

***Aislantes Vegetales:** por ejemplo el corcho

***Aislantes Minerales:** Perlita, Vermiculita, Granulado Volcánico, etc.

***Aislantes Sintéticos:** Poliestireno Expandido, Lana de Vidrio, Poliuretano, etc.

La propiedad de la conductividad de los materiales está relacionada con:

1. Su peso específico, por regla general a mayor peso específico mejor se transmite el calor por lo tanto peor es la aislación. Una excepción aparece comparando el hierro y el aluminio.

2. El contenido de humedad de material: cuanto menos agua contenga un material, mas aislante será. En efecto los materiales de poca densidad tienen incorporado en su interior aire o algún otro gas (coef. de conductividad $\lambda_{ai} = 0.023 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$) y si el aire es desplazado por el agua ($\lambda_{ag} = 0.58 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$) la pérdida de aislación es muy grande.

3. La temperatura de uso: La conductividad va cambiando al variar la temperatura, en general aumenta al elevarse la temperatura; por lo tanto al definir sus valores es importante la temperatura a que fueron ensayados cuando se trata con materiales poco conocidos.

4. Su estado de conservación: aunque esta sería una característica para analizar los materiales en general, siempre suponemos que se colocan en buen estado; ocurre que materiales sintéticos como el poliestireno expandido, la lana de vidrio, el poliuretano etc., si son expuestos indebidamente a los agentes atmosféricos se deterioran. No se puede esperar la misma aislación de un

material que ha sido expuesto excesivamente al Sol, o temperaturas muy elevadas o algún otro proceso de envejecimiento.

La Norma IRAM 11601 (1996) en el Anexo A, Tabla 6, ofrece una variedad de materiales con sus correspondientes conductividades. Transcribimos los de uso mas frecuentes en la **figura 25** de la página 62.

Para fijar ideas del peso relativo de cada uno de los materiales en la aislación observemos el gráfico de la **figura 26** de la página 63. Allí se ve la resistencia al paso del calor por metro cuadrado [$\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}$] que ofrece cada material en el espesor de un centímetro. Hay claramente una gran diferencia a favor de los aislantes sintéticos. Usando estos valores se puede establecer que un cm de poliestireno expandido equivale a la misma aislación que 22 cm de mampostería de ladrillo común. Los valores serían similares para la lana de vidrio o el poliuretano.

En este punto hay una ventaja comparativa muy importante para los sistemas constructivos industrializados, ya que están diseñados para incorporar estos aislantes en contraposición de los sistemas tradicionales de mampostería.

Heterogeneidades en los Cerramientos: Puentes Térmicos

Cuando alguna de las distintas capas que constituyen un cerramiento presenta alguna heterogeneidad, esta altera el flujo de calor que atraviesa dicho cerramiento. Ver **Figs. 27 y 28**.

Como es lógico estas heterogeneidades tendrán su influencia en la resistencia del cerramiento, la Norma IRAM 11601 da la siguiente fórmula para

$$R_{pr} = [R_{p1} \cdot R_{p2} \cdot (l_1 + l_2)] / [R_{p1} \cdot l_2 + R_{p2} \cdot l_1]$$

En el Anexo B, informativo, hay guías para la aplicación de la norma. Más adelante cuando establezcamos los valores de K máximos o aislación mínima que se le exige a un cerramiento de una vivienda se desarrollará la fórmula de cálculo y cuales puentes térmicos no son aceptables.

Resistencia de las Cámaras de Aire (Rc)

Al estudiar las posibilidades que se presentan en muros y techos necesariamente surgen los espacios que quedan entre las capas de los cerramientos. Estos son las cámaras de aire que pueden ser: **Ventiladas o No ventiladas**.

Cámaras de Aire No-Ventiladas

El valor de la resistencia térmica (poder aislante) de las cámaras de aire **NO Ventiladas** se encuentra tabulada en la Tabla 3 de la IRAM 11601 que transcribimos. (Ver **Fig. 29**).

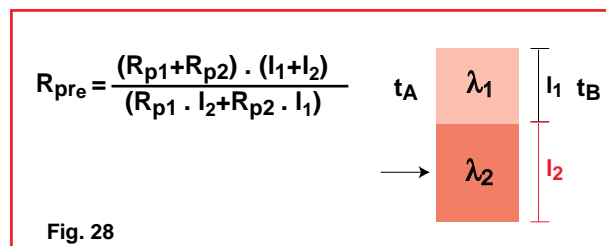
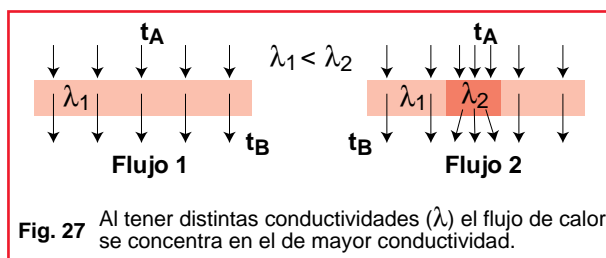


FIG. 29. TABLA 3. Resistencia térmica de cámara de aire “no ventiladas” en las que las medidas superficiales son mucho mayores que el espesor (1)

Estado de las superficies de la cámara de aire (2)	Espesor de la capa de aire (mm)	Resistencia Térmica en m ² °C/W Dirección del flujo de calor		
		Horizontal	Ascend.	Descend.
Superficies de mediana o alta emitancia (caso general)	5	0,11	0,11	0,11
	10	0,14	0,13	0,15
	20	0,16	0,14	0,18
	50 a 100	0,17	0,14	0,21
Una o ambas superficies de baja emitancia	5	0,17	0,17	0,17
	10	0,29	0,23	0,29
	20	0,37	0,25	0,43
	50 a 100	0,34	0,27	0,61

(1) Cámaras de aire cerradas, entre 0° y 20 °C. Diferencia entre sup. <15°C.
(2) Estos valores pueden usarse si la emitancia de la superficie es controlada manteniendo limpia y exenta de grasa, polvo o condensación de agua.

En la tabla se observa la variación de la resistencia de las cámaras de aire al variar su espesor. Efectivamente con espesores inferiores a 1 cm es despreciable la resistencia ya que el aire no puede circular (no hay convección) y al permanecer quieto la transmisión el calor se realiza únicamente por conducción y radiación a través del aire. Al superar el espesor los 2.5 cm el valor de la resistencia térmica de la cámara permanece constante y empieza a declinar levemente. Esto se debe a que el intercambio de calor se realiza también por convección y ya el espesor no contribuye a aumentar la resistencia.

La otra variable de la Tabla 3 es la emisividad o emitancia de la cámara de aire, esto tiene que ver con el intercambio de calor por radiación.

La emisividad de la cámara de aire se calcula con la siguiente expresión:

$$1/E = 1/e1 + 1/e2 - 1$$

donde:

E= es la emitancia de la cámara

e1= es la emitancia del material de una de las superficies

e2= es la emitancia del material de la otra superficie.

Si ambas caras de la cámara son de aluminio brillante:

$$1/E = 1/0.06 + 1/0.06 - 1 = 1/0.03$$

es decir **E= 0.03** con lo cual los valores de resistencia térmica son muy elevados. Esta aislación prácticamente elimina el pasaje de calor por radiación. Este es el principio de los conocidos “**termos**” de vidrio espejado. Reiterando lo expresado cuando se trataron las resistencias superficiales: es muy difícil mantener sellada una cámara de aire en un muro o techo y evitar que sus superficies se ensucien u opaquen. La prudencia aconseja tomar la emisividad mas alta para las cámaras de aire comunes en la construcción, a menos que se tomen especiales precauciones.

Cámaras de Aire Ventiladas

Todas las cámaras de aire para el cálculo de la aislación térmica, durante el verano se consideran como **No Ven-**

tiladas. Durante el Invierno las cámaras que presenten ventilaciones pueden ser:

1. Débilmente Ventiladas
2. Muy Ventiladas
3. Medianamente Ventiladas

1. Débilmente Ventiladas:

Las cámaras de aire son débilmente ventiladas cuando cumplen las siguientes relaciones:

Cámara de Aire Verticales:

$$S [cm^2] / L[m] < 20$$

Cámara de Aire Horizontales:

$$S [cm^2] / A [m^2] < 3$$

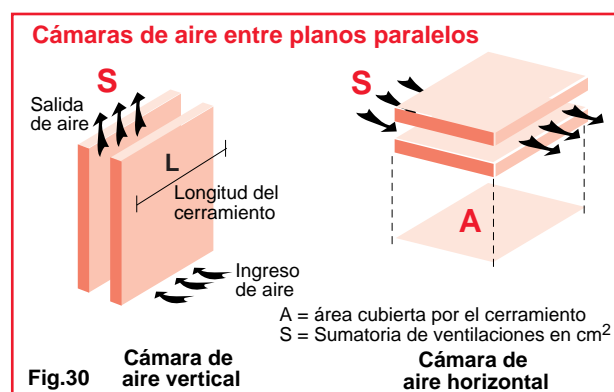
siendo:

S = la superficie de los orificios de ventilación.

L = el largo del cerramiento.

A = la superficie que cubre el cerramiento.

(Ver Fig. 30)



2. Muy Ventiladas:

Las cámaras de aire son muy ventiladas cuando cumplen las siguientes relaciones:

Cámara de Aire Verticales:

$$S [cm^2] / L[m] > 500$$

Cámara de Aire Horizontales:

$$S [cm^2] / A [m^2] > 30$$

siendo:

S = la superficie de los orificios de ventilación.

L = el largo del cerramiento.

A = la superficie que cubre el cerramiento.

Cuando la cámara está muy ventilada las capas de cerramientos entre la cámara y el exterior no se consideran en el cálculo de la aislación, y la resistencia de la cámara se considera tomando DOS veces la resistencia superficial interior, quedando la expresión:

$$1/k = R_{si} + R_i + R_{se} ; \text{ queda: } 1/K = 2 R_{si} + R_i$$

donde R_i es la resistencia térmica de las capas entre la cámara de aire y el interior.

R_{si} = resistencia superficial interior

3. Medianamente Ventiladas:

Como intermedio entre los casos anteriores se presenta el de las cámaras de aire medianamente ventiladas que cumplen las siguientes relaciones:

Cámara de Aire Verticales:

$$20 < S \text{ [cm}^2\text{]} / L \text{ [m]} < 500$$

Cámara de Aire Horizontales:

$$3 < S \text{ [cm}^2\text{]} / A \text{ [m}^2\text{]} < 30$$

siendo:

S = la superficie de los orificios de ventilación.

L = el largo del cerramiento

S = la superficie que cubre el cerramiento.

Para calcular el K de un cerramiento que tenga cámara de aire medianamente ventilada hay que calcular el K de ese cerramiento considerando a cámara como No Ventilada (K_1), también calcular el K de ese cerramiento suponiendo que la cámara está Muy Ventilada (K_2).

El K del cerramiento con cámara de aire Medianamente Ventilada se calcula con la expresión:

$$K = K_1 + \alpha (K_2 - K_1)$$

donde el coeficiente α será $\alpha = 0.4$ para cámaras horizontales.

Para las cámaras verticales el coeficiente se obtiene de la Tabla siguiente:

Donde:

R_e = resistencia térmica de las capas del cerramiento que se encuentran entre la cámara de aire y el exterior.

R_i = resistencia térmica de las capas del cerramiento que se encuentran entre la cámara de aire y el interior.

Aticos

Son cámaras de aire con espacio de aire de espesor variable. **Fig. 32.**

Son las que se forman al tener una cubierta con pendiente y un cielorraso plano.

Como las cámaras de aire de espesor constante o de planos paralelos según sus ventilaciones se clasifican en:

1. Cámara Débilmente Ventiladas:

$$S \text{ [cm}^2\text{]} / A_f \text{ [m}^2\text{]} < 3$$

siendo:

S = la superficie de los orificios de ventilación.

A_f = la superficie que separa la cámara del local habitable.

Coeficiente de ventilación de cámara de aire vertical (α)

Relación de resistencias térmicas de las hojas (r)	S / L (cm ² / m)	
	20 a 200	200 a 500
$r < 0,1$	0.10	0.25
$0,1 \leq r \leq 0,6$	0.20	0.45
$0,6 \leq r \leq 1,2$	0.30	0.60

Fig. 31

Cámaras de aire de espesor variable

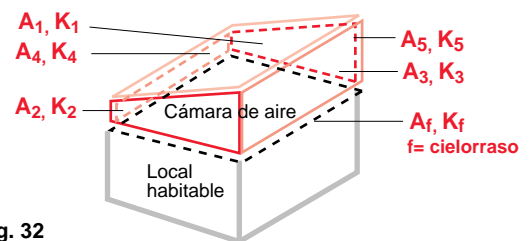


Fig. 32

En este caso el K del cerramiento con cámara de aire de espesor variable se expresa con:

$$1/K = 1/K_f + (A_f / \Sigma (K_i \cdot A_i))$$

donde:

K_f = es el de los elementos que separan al local de la cámara de aire.

A_f = la superficie que separa la cámara del local habitable.

$\Sigma (K_i \cdot A_i)$ = es la sumatoria del producto de los K de los "i" componentes que separan la cámara del exterior, por la superficie de cada uno de ellos.

2. Cámara Medianamente Ventiladas:

$$3 < S \text{ [cm}^2\text{]} / A_f \text{ [m}^2\text{]} < 30$$

siendo:

S = la superficie de los orificios de ventilación.

A_f = la superficie que separa la cámara del local habitable.

En este caso la resistencia total del cerramiento con cámara de aire de espesor variable se expresa según IRAM 11601 con:

$$1/K = 1 / K_f + 1 / [a + (S (K_i \cdot A_i) / A_f)]$$

para mejor asociación de los conceptos preferimos expresarlo :

$$1/K = 1 / K_f + [A_f / (S (K_i \cdot A_i) + a \cdot A_f)]$$

donde:

K_f = es el del o los elementos que separan al local de la cámara de aire.

A_f = la superficie que separa la cámara del local habitable.

$\Sigma (K_i A_i)$ = es la sumatoria del producto de los K de los “i” componentes que separan la cámara del exterior, por la superficie de cada uno de ellos.

a = coeficiente igual a 5 W/m². K

La variación de la fórmula para las medianamente ventiladas con el agregado del coeficiente “a” en el denominador es para disminuir la resistencia térmica total del cerramiento con respecto a las débilmente ventiladas. Recordemos que para el estudio de la aislación en verano siempre se deben considerar las cámaras de aire como **No Ventiladas** (ó débilmente ventiladas que para el caso es lo mismo).

3. Cámara Muy Ventilada:

$$S [cm^2] / Af [m^2] > 30$$

siendo:

S = la superficie de los orificios de ventilación.

Af = la superficie que separa la cámara del local habitable.

Para esta situación no hay diferencia entre las cámaras de aire de espesor constante y las de espesor variable. En ambas se no se considera la resistencia del elemento que separa la cámara del exterior.

$$1/K : 2 R_{si} + R_i$$

Aislación de muros		Cálculo de coeficiente de transmitancia térmica:					INV	VER
Sistema liviano		Capas	dens.	esp. m	cond. W/m C	resist. m ² °C/W		
		Resistencia interior					R _{si}	0,13
		Placa de yeso	1000	0,013	0,44	0,03	0,03	0,03
		Lana de vidrio		0,025	0,04	0,63	0,63	0,63
		Cámara de aire cerrada		0,025			0,17	0,17
		Hormigón liviano	1600	0,025	1,04	0,02	0,02	0,02
		Resistencia exterior					R _{se}	0,04
		Resist. térmica total del muro					Sum. R total (m ² °C/W)	1,02
		Coeficiente de transmitancia térmica del muro					K = 1/Rt = 0,99 W / m ² °C - Invierno K = 1/Rt = 0,99 W / m ² °C - Verano	

Aislación de muros		Cálculo de coeficiente de transmitancia térmica:					INV	VER
Sistema liviano		Capas	dens.	esp. m	cond. W/m C	resist. m ² °C/W		
		Resistencia interior					R _{si}	0,13
		Placa de yeso	1000	0,013	0,44	0,03	0,03	0,03
		Lana de vidrio		0,025	0,04	0,63	0,63	0,63
		Cámara de aire cerrada		0,025			0,17	0,17
		Hormigón liviano	1600	0,025	1,04	0,02	0,02	0,02
		Resistencia exterior					R _{se}	0,04
		Resist. térmica total del muro					Sum. R total (m ² °C/W)	1,02
		Coeficiente de transmitancia térmica del muro					K = 1/Rt = 0,99 W / m ² °C - Invierno K = 1/Rt = 0,99 W / m ² °C - Verano	

Aislación de muros		Cálculo de coeficiente de transmitancia térmica:					INV	VER
Sistema tradicional		Capas	dens.	esp. m	cond. W/m C	resist. m ² °C/W		
		Resistencia interior					R _{si}	0,13
		Revoque	1800	0,002	1,16	0,02	0,02	0,02
		Ladrillo común	1600	0,130	0,81	0,16	0,16	0,16
		Cámara de aire cerrada		0,025			0,17	0,17
		Ladrillo común	1600	0,130	0,81	0,16	0,16	0,16
		Resistencia exterior					R _{se}	0,04
		Resist. térmica total del muro					Sum. R total (m ² °C/W)	0,68
		Coeficiente de transmitancia térmica del muro					K = 1/Rt = 1,49 W / m ² °C - Invierno K = 1/Rt = 1,49 W / m ² °C - Verano	

EJEMPLOS DE APLICACION (cont.)

Aislación de muros Sistema tradicional Muro de ladrillo común revocado		Cálculo de coeficiente de transmitancia térmica:					INV	VER
	Capas	dens.	esp. m	cond. W/m C	resist. m ² °C/W			
	Resistencia interior				Rsi	0,13	0,13	
	Revoque	1800	0,02	1,16	0,017	0,017	0,017	
	Ladrillo común	1600	0,130	0,81	0,16	0,16	0,16	
	Revoque	1800	0,02	1,16	0,017	0,017	0,017	
	Resistencia exterior				Rse	0,04	0,04	
Resist. térmica total del muro		Sum. R total (m ² °C/W)					0,37	0,37
Coeficiente de transmitancia térmica del muro		K = 1/Rt = 2,82 W / m² °C - Invierno K = 1/Rt = 2,82 W / m² °C - Verano						

ejemplo 4

Aislación de muros Techo de tejas sin ático		Cálculo de coeficiente de transmitancia térmica:					INV	VER
	Capas	dens.	esp. m	cond. W/m C	resist. m ² °C/W			
	Resistencia interior				Rsi	0,10	0,17	
	Entablado de pino	600	0,025	0,19	0,13	0,13	0,13	
	Cámara de aire muy ventilada					0,11	0,16	
	Tejas	1600	0,030	0,70	0,04	0,04	0,04	
	Resistencia exterior				Rse	0,04	0,04	
Resist. térmica total del muro		Sum. R total (m ² °C/W)					0,42	0,54
Coeficiente de transmitancia térmica del techo		K = 1/Rt = 2,44 W / m² °C - Invierno K = 1/Rt = 1,85 W / m² °C - Verano						

ejemplo 5

Aislación de muros Techo de chapas sin ático		Cálculo de coeficiente de transmitancia térmica:					INV	VER
	Capas	dens.	esp. m	cond. W/m C	resist. m ² °C/W			
	Resistencia interior				Rsi	0,10	0,17	
	Placa de yeso	900	0,013	0,44	0,03	0,03	0,03	
	Lana de vidrio	10	0,025	0,04	0,63	0,63	0,63	
	Chapas de acero		0,001	58,00	0,00	0,00	0,00	
	Resistencia exterior				Rse	0,04	0,04	
Resist. térmica total del muro		Sum. R total (m ² °C/W)					0,80	0,87
Coeficiente de transmitancia térmica del techo		K = 1/Rt = 1,26 W / m² °C - Invierno K = 1/Rt = 1,15 W / m² °C - Verano						

ejemplo 6

donde:

Ri = es la resistencia térmica de las capas entre la cámara de aire y el interior.

Rsi = resistencia superficial interior.

Ejemplos de aplicación:

1. Muro de un Sistema pesado.
2. Muro de un Sistema liviano.
3. Muro Sistema tradicional (0,30 m).
4. Muro de ladrillo común (0,15 m).
5. Techo de tejas.
6. Techo de chapa.
7. Techo de chapa de fibro con ático.

Comentarios de los resultados:

Se ve que la aislación de un muro tradicional

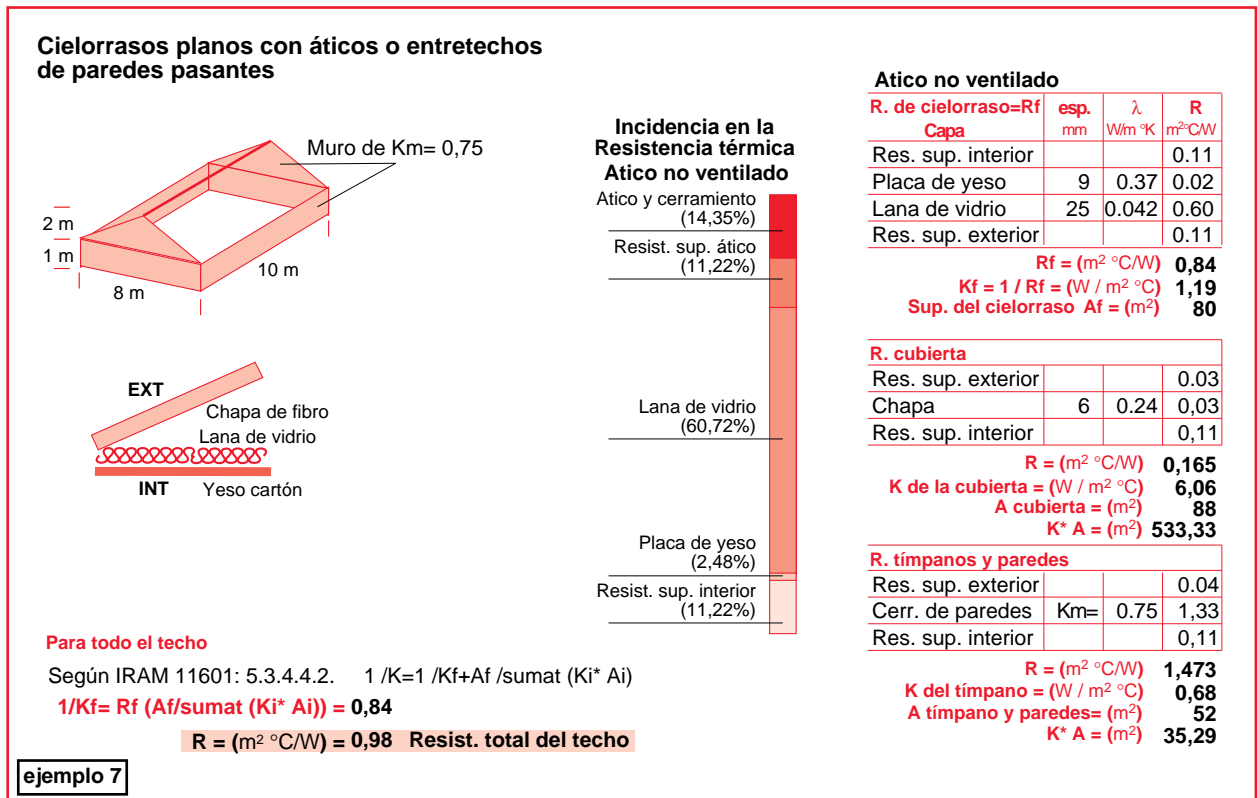
$$K=1.52 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

es inferior a la mínima de cualquier sistema constructivo industrializado como los descriptos. Con la salvedad de que sin ninguna complicación las sistemas industrializados pueden aumentar el espesor de sus aislaciones.

La resistencia térmica de las cámaras de aire con emisividades altas (**0.17 m² K/W**), que son las usuales en la construcción, es de un orden menor que la que provee el material aislante (poliestireno, lana de Vidrio) donde:

$$R \text{ para } 2.5 \text{ cm: } 0.63 \text{ m}^2 \text{ K/W}.$$

EJEMPLOS DE APLICACION (cont.)



El ejemplo del ático nos muestra que no existe mucha diferencia en las aislaciones según se usen cámaras ventiladas o no ventiladas, teniendo como ventaja las ventiladas ofrecer posibilidades de ventilar el vapor que atravesase las capas interiores.

(N. IRAM 11605. Diciembre de 1996)
Valores máximos admisibles de transmitancia térmica (K)

NOTA:

La Norma IRAM 11605 se modificó en Diciembre de 1996 en el Anexo 1. Se agrega una reseña de las modificaciones establecidas que son muy importantes.

El objeto de esta Norma es establecer los máximos valores de transmitancia térmica (K) aplicables a muros y techos de edificios destinados a vivienda. También se establecen criterios de evaluación de puentes térmicos. En su última versión esta Norma introduce la posibilidad de elegir distintos niveles de confort, correspondientes a las temperaturas interiores de diseño de 18,20 y 22 grados. La temperatura de confort mínimo es la de 18 grados en el interior, corresponde al Nivel C y es la que deben verificar todas las viviendas. Ver Tabla 1, Tabla 2 y

Tabla 3. (Fig. 32).

La Norma se aplica de la siguiente manera:

Se elige el Nivel de exigencia de los cerramientos de la vivienda. Se determina la temperatura exterior de diseño de invierno correspondiente a la localidad donde se sitúa la vivienda (estos valores surgen de la N. IRAM 11603) y la Zona Bioambiental a la que pertenece.

Con estos datos de la Tabla 1, para invierno, y tablas 2 y 3, para verano, se obtienen ciertos valores de K para muros y para techos. Los mínimos valores de K así obtenidos, serán los máximos admisibles para los muros y techos de la vivienda en esa determinada ubicación.

Esta nueva Norma simplifica mucho la determinación de los $K_{máx}$ admisibles.

Por ejemplo para la Ciudad de Bs. As., Temperatura mínima de diseño: 3.1°, le corresponde de Tabla 1, para el Nivel C, mínimo, un $K_{máx}$ de invierno de 1.85 W/m 2 K para muros y de 1.00 W/m 2 K para techos. Al ver las condiciones de verano para las Zonas III y IV (Tablas 2 y 3) se obtiene un $K_{máx}$ de verano de 2.00 W/m 2 K para muros y de 0.76 W/m 2 K para techos. Con lo cual el resultado es que el $K_{máx}$ de muros para la Ciudad de Buenos Aires es de 1.85 W/m 2 K, y el de techos es de 0.76 W/m 2 K.

Como parte del comité que estudió esta nueva Norma,

Fig. 32: NORMA IRAM 11605: 1996

Tabla 1: Valores de K_{MAX} ADM para condición de invierno en W/m^2K

Temperatura exterior de diseño (t_{ed}) - ($^{\circ}C$)	Nivel A		Nivel B		Nivel C	
	Muros	Techos	Muros	Techos	Muros	Techos
-15	0,23	0,20	0,60	0,52	1,01	1,00
-14	0,23	0,20	0,61	0,53	1,04	1,00
-13	0,24	0,21	0,63	0,55	1,08	1,00
-12	0,25	0,21	0,65	0,56	1,11	1,00
-11	0,25	0,22	0,67	0,58	1,15	1,00
-10	0,26	0,23	0,69	0,60	1,19	1,00
-9	0,27	0,23	0,72	0,61	1,23	1,00
-8	0,28	0,24	0,74	0,63	1,28	1,00
-7	0,29	0,25	0,77	0,65	1,33	1,00
-6	0,30	0,26	0,80	0,67	1,39	1,00
-5	0,31	0,27	0,83	0,69	1,45	1,00
-4	0,32	0,28	0,87	0,72	1,52	1,00
-3	0,33	0,29	0,91	0,74	1,59	1,00
-2	0,35	0,30	0,95	0,77	1,67	1,00
-1	0,36	0,31	0,99	0,80	1,75	1,00
≥ 0	0,38	0,32	1,00	0,83	1,85	1,00

Tabla 2: Valores máximos de transmitancia térmica para condiciones de verano para muros en W/m^2K

Zona Bioambiental	Nivel A	Nivel B	Nivel C
I y II	0,45	1,10	1,80
III y IV	0,50	1,25	2,00

Tabla 3: Valores máximos de transmitancia térmica para condiciones de verano en techos en W/m^2K

Zona Bioambiental	Nivel A	Nivel B	Nivel C
I y II	0,18	0,45	0,72
III y IV	0,19	0,48	0,76

estamos satisfechos por lo simple de su aplicación. Sin embargo siempre al simplificar se pierden de vista algunos aspectos de la cuestión.

Por ejemplo, en la versión anterior de la Norma, julio de 1980, para la determinación del K máximo admisible se tenían en cuenta la masa de los cerramientos y orientación de los muros. Esto permitía al proyectista tomar conciencia de la importancia de la inercia térmica y del asoleamiento de cada región Bioambiental.

Efectivamente, en los mapas se muestran las zonas donde la Norma anterior favorecía determinadas orientaciones y la masa térmica de los cerramientos. (Ver **figuras 33 y 34**).

De la aplicación de esta Norma surgen claramente los muros y techos que no aseguran la Habitabilidad de la Vivienda.

Tomemos por ejemplo muros de mampostería tradicional con distintas variantes de mampuestos.

Para uniformar el ejercicio se ha supuesto un revoque en ambas caras con un valor intermedio de conductividad térmica para el revoque de $\lambda=0.93 W/m^2 K$. Los pesos y valores son de la mampostería en su conjunto, es decir considerando también las juntas de asiento. **Ver fig. 35**.

Del análisis de la tabla surge que muros utilizados como cerramiento exterior no verifican IRAM 11605 (diciembre de 1996), es decir que tienen K mayores a los admisibles para cada lugar.

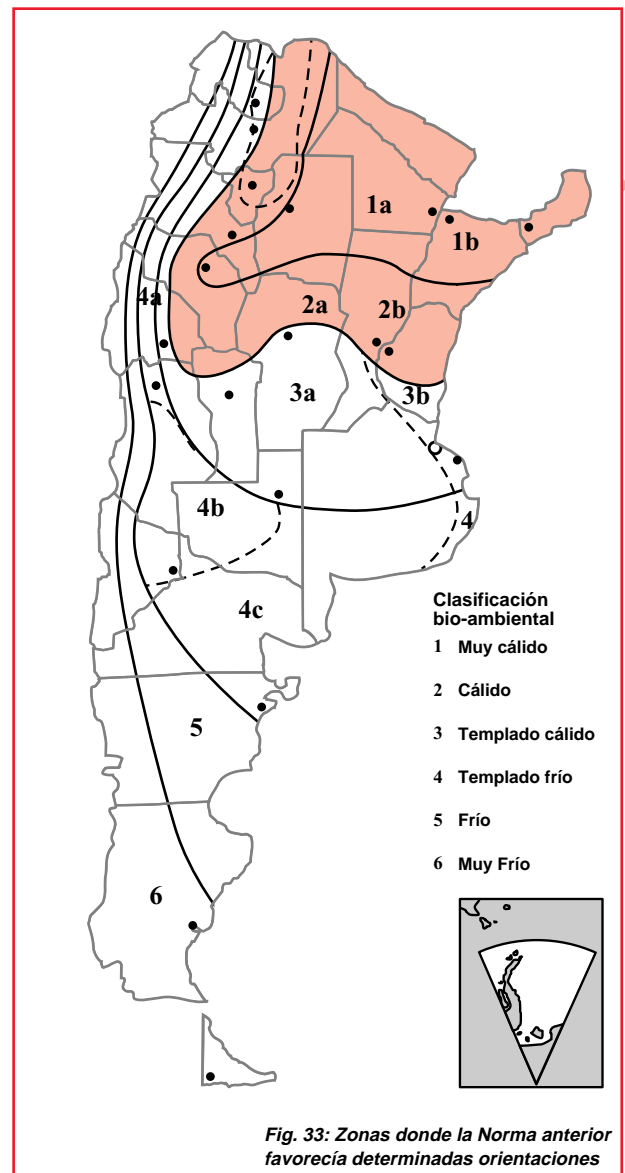
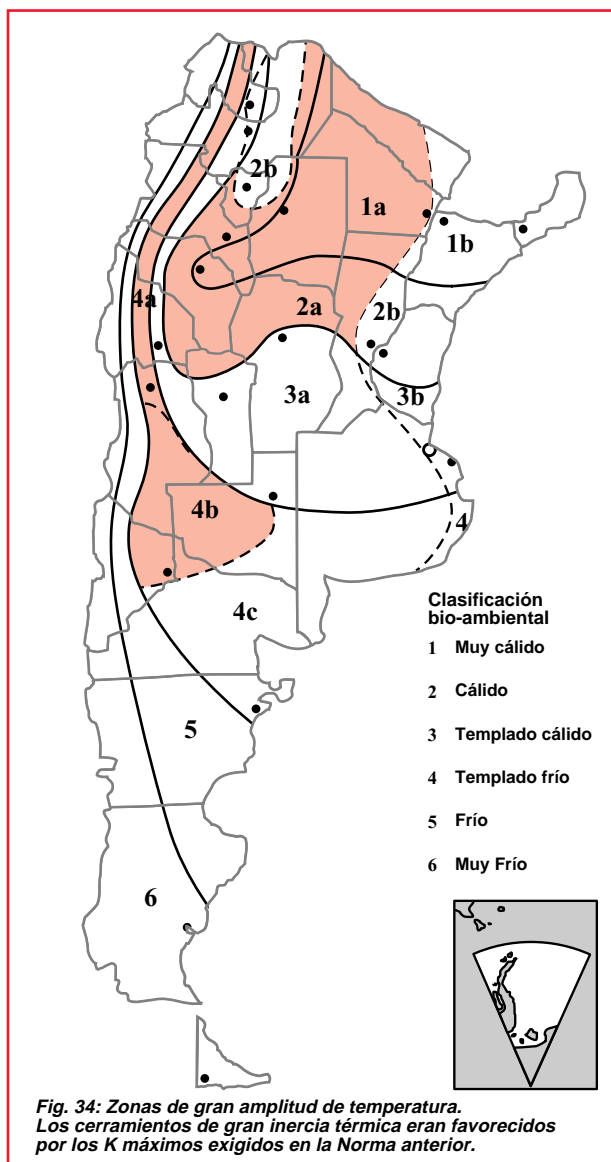


Fig. 33: Zonas donde la Norma anterior favorecía determinadas orientaciones

Existen formas de usar esos materiales, que complementados con otros mejoran la aislación y pueden llegar a cumplir. Este es el caso de los revoques con vermiculita o perlita que según sus espesores aportan la aislación faltante. Otra posibilidad, en los cerámicos, es el uso de bloques de menor densidad, que tienen mejor aislación.

Es en este punto donde vuelve a aparecer el tema de la calidad y la normalización de los productos. ¿Cómo puede el encargado que recibe los materiales en una obra saber la densidad del bloque cerámico?. Simplemente pidiendo el remito donde el corralón o el fabricante definen el producto con todas sus características y según que normas ha sido fabricado. Las obras donde esto ocurre son la minoría. Esto que hoy es moneda corriente poco a poco deberá ser superado. Hace ya varios



años que se disponen de aparatos de bajo costo que permiten medir temperaturas superficiales y flujos de calor a través de las paredes; solo hay que medir y calcular si cumple o no.

Todo buen fabricante estará dispuesto a dar garantías sobre la nobleza de su producto. Todo buen comerciante garantizará el origen de su mercadería.

El tema de la disgresión anterior es un punto favorable de los sistemas constructivos industrializados.

En los sistemas pesados las paredes se fabrican en una planta donde se elabora el hormigón, allí el control será directo, y se podrá asegurar la calidad del material; el aislante de poliestireno expandido se compra a una industria donde la calidad del producto se garantiza.

En los sistemas livianos ocurre algo similar, los productos empleados, ya sean placas de cierre exterior o interior provienen de procesos altamente industrializados donde el control es mayor.

En síntesis asegurar el K de una pared es mucho más sencillo en los sistemas industrializados.

Además las posibilidades de mejorar la aislación de la vivienda están abiertas. A costos muy bajos, se puede duplicar el espesor del aislante con una incidencia reducida en el costo total de la pared.

En el sistema liviano de la **fig. 35**, si se duplica el espesor de la lana de vidrio ocupando el lugar de la cámara de aire, el K del muro pasa de $K=0,99$ a $K=0,69$ es decir una mejora del 30%.

Los bloques de hormigón de dos agujeros pueden elevar su aislación con revoques aislantes, o con el relleno de sus cavidades con aislantes (arcilla expandida, poliestireno expandido, vermiculita, perlita u otros) o planchas de aislante que calzan en los agujeros.

Por el lado de la densidad del hormigón, según cual se emplee, se pueden lograr mejoras. Bajándola con el uso de agregados livianos en el hormigón, mejora el poder aislante del bloque.

Si el agregado liviano es por ejemplo arcilla expandida, producto industrial, las calidades obtenidas serán uniformes si la elaboración del bloque es correcta; especial atención merece el uso de materiales como granulados volcánicos o similares, donde los correctos análisis y controles serán decisivos.

Cumpliendo el requisito de que el K de un cerramiento no supere el K máximo admisible de su zona, se cumple solo con la primera parte de las exigencias Mínimas, el paso siguiente es la verificación de las condensaciones.

Esto deber quedar bien en claro: **el cumplir el K no es suficiente**, veremos como aún cumpliéndolo, el cerramiento puede tener condensaciones en su interior, y como ya vimos un aislante mojado cambia sus propiedades y su conductividad aumenta. **El K del muro húmedo será mayor que el calculado.**

2. Evitar condensaciones

2.a. Condensaciones superficiales:

En la introducción teórica que se hizo al tema de condensación y evaporación, se describió la capacidad del aire de incorporar vapor de agua y superada esta capacidad el desprendimiento de agua a través de la condensación.

En la aplicación práctica de estos conceptos hay que ordenar primero las magnitudes de los factores que intervienen.

La generación de vapor de agua en una vivienda normal

Tipo de Mampostería	Mampuesto					Pared revocada			K máximos admisibles (w/m²K)					
	Dimensiones			K c/juntas	Peso c/juntas kg/m²	Esp. cm	Peso kg/m²	K	Resist. Chaco	Tucu- mán	Bs. As.	Córdo- ba	Barilo- che	Río Galleg.
	Esp. cm	Alto cm	Largo cm						1,80	1,80	1,85	1,85	1,45	1,39
1 Ladrillo común	12.5	5	24	3.22	200	14.5	236	3.03	No Verific.	No Verific.	No Verific.	No Verific.	No Verific.	No Verific.
2 Bloq. Cerám 3 Aguj.	18	18	40	2.12	155	20	191	2.03	No Verific.	No Verific.	No Verific.	No Verific.	No Verific.	No Verific.
3 Bloq. Cerm 4 Aguj.	18	18	33	1.59	136	20	172	1.54	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	No Verific.	No Verific.
4 Bloq. Ceram Portante	18	19	33	1.7	127	20	163	1.64	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	No Verific.	No Verific.
5 Bloq. Horm Común densidad 1750Kg/m³	19	19	39	2.61	159	20	177	2.54	No Verific.	No Verific.	No Verific.	No Verific.	No Verific.	No Verific.
6 Bloq. Horm Multicel. densidad 1400Kg/m³	19	20	40	1.86	274	20	292	1.83	No Verific.	No Verific.	Verifica	Verifica	No Verific.	No Verific.
7 Pared de 30 Ladr. Común con Cám de aire							436	1.48	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	No Verific.	No Verific.
8 Sist. Pesado de Horm. Ejemplo 1 s/revoque							276	1.19	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
9 Sistema Liviano Ejemplo 2 s/revoque							60	0.99	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica

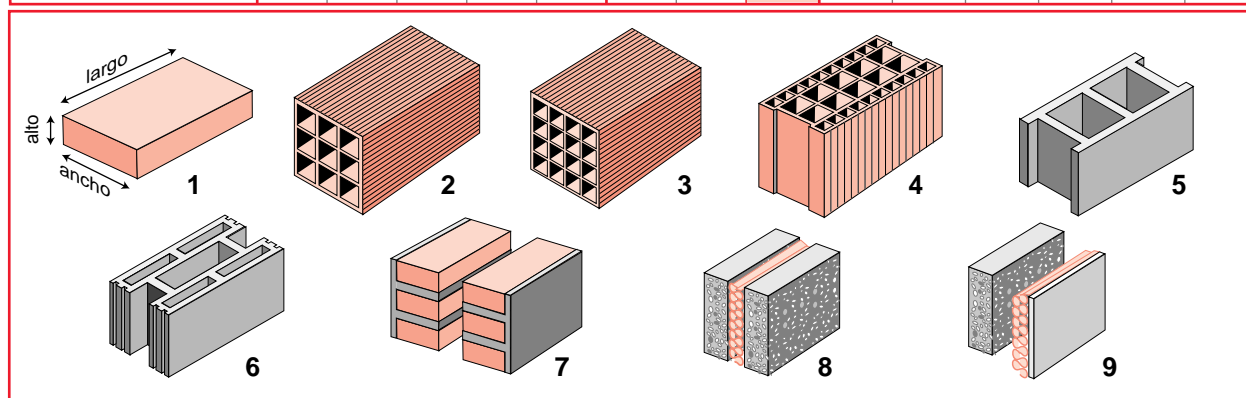


Fig. 35: Cuadro de distintos tipos de muros con sus K y los Kadm según las zonas bioclimáticas

se debe básicamente a:

- actividades en la cocina
- uso de baños
- actividades de las personas que la ocupan

En los dos primeros casos son grandes cantidades de vapor que se generan en muy poco tiempo.

Para este vapor hay que prever su evacuación rápida a través de la ventilación: las campanas sobre las cocinas, y las ventilaciones de baños.

Este tipo de ventilación suele ser insuficiente y no hay muchas posibilidades de aumentarla.

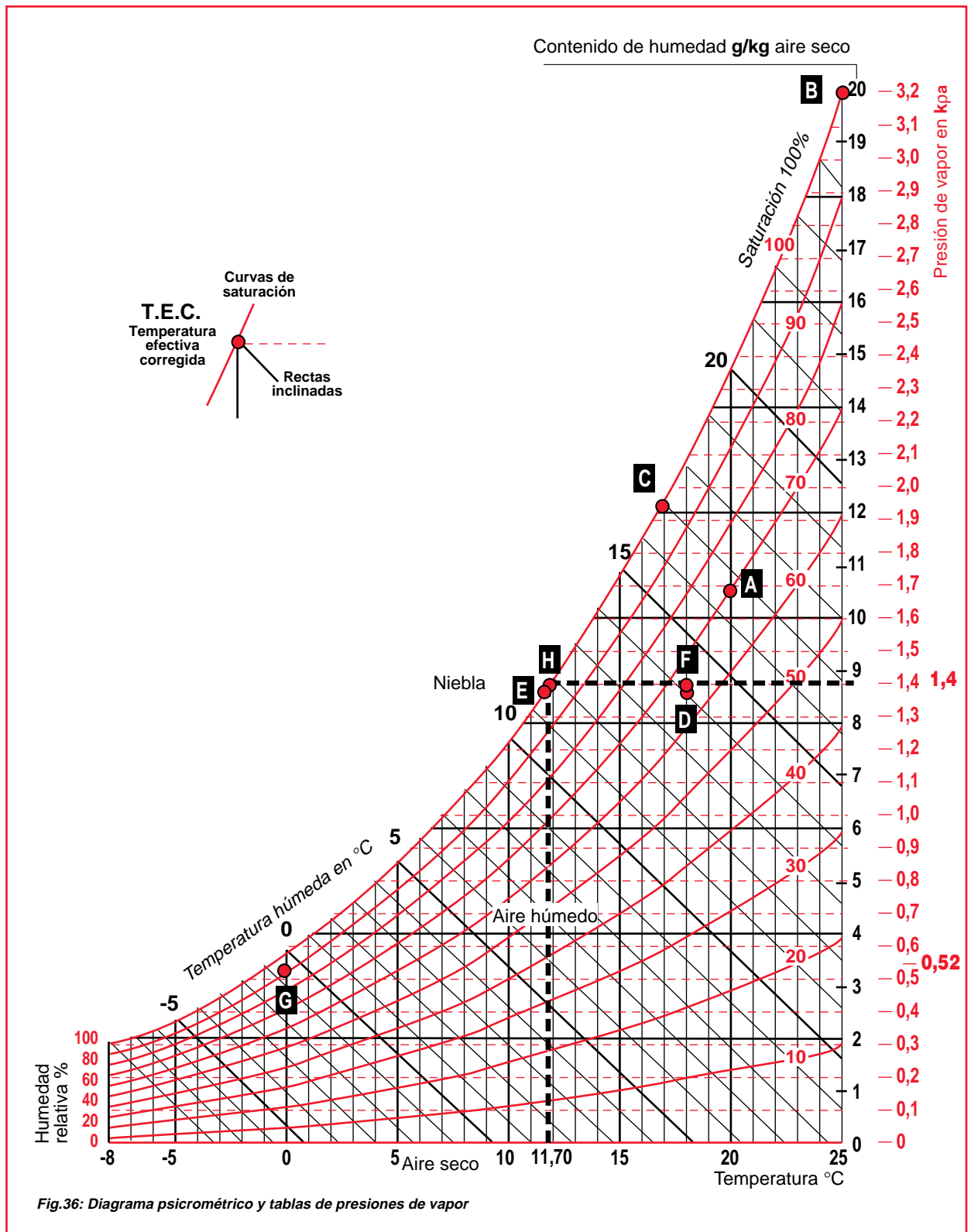
La ventilación trae como consecuencia el ingreso del aire exterior y la consiguiente caída de la temperatura

que no es aceptable en esos recintos.

Por lo tanto necesariamente habrá condensaciones sobre las superficies con menor temperatura, es por eso que en baños y cocinas, los revestimientos de esas paredes deben ser tales que no se deterioren con el agua: azulejos, cerámicas, pinturas sintéticas, etc.

Al condensarse el vapor en forma de gotas de agua, estas superficies actúan como un acumulador de humedad, cuando cesa la generación de vapor y el aire poco a poco baja su contenido de humedad por la ventilación, este mismo aire comenzará a secar las superficies mojadas. Con la renovación del aire por la ventilación esta humedad pasará al exterior.

El proceso descrito tiene que considerar que la venti-



lación de baños y cocinas no sólo se efectúa en forma directa hacia el exterior.

En efecto, las puertas que comunican estos recintos al resto de la vivienda muchas veces permanecen abiertas, dependerá entonces de las dimensiones de estos otros ambientes como influye esa masa de vapor de agua sobre el equilibrio higrotérmico.

Resulta claro que para viviendas de dimensiones reducidas el impacto de ese vapor rápidamente hace subir la humedad relativa a niveles insalubres.

La tercera fuente de generación de vapor de agua, la provocada por las actividades de la personas, es distribuida en el tiempo. Depende del número de ocupantes de la vivienda y su tiempo de permanencia en el hogar. Como en el caso anterior las viviendas donde hay mayor cantidad de personas por metro cuadrado serán las que tienen mas carga de humedad.

Veremos un ejemplo numérico de lo que hemos analizado.

Siguiendo el diagrama psicrométrico de la **fig. 36** vemos como en un baño podemos pasar del punto **A** inicial de una temperatura de 20 °C y Humedad Relativa de 70%, ducha caliente mediante, a un punto **B** de 25°C con 100% de Humedad Relativa.

Al enfriarse, cuando este aire toma contacto con la superficie de los cerramientos (supongamos a 17°C - Punto **C**) ese aire habrá entregado:

$$20\text{gr/kg}-12\text{gr/kg}=8\text{gr de agua por kg. de aire seco}$$

que queda en forma de gotas sobre ese cerramiento.

En días muy fríos es normal que los vidrios de una casa se empañen con la condensación que acabamos de describir, esa agua puede escapar al exterior por los conductos previstos para desagotar las ventanas.

Será esta una forma de evacuar agua de la vivienda.

La condensación descrita hasta aquí es la llamada superficial, y hemos enumerado los lugares donde es tolerada.

Provincia	Localidad	Temperat. mínima de diseño
Buenos Aires	Azul	-2.1
	Balcarce	-0.6
	Dolores	-0.3
	Fortín Mercedes	-2.8
	Junín	-0.2
	Las Flores	-0.7
	Mar del Plata	0.5
	Nueve de Julio	0.1
	Patagones	-2.0
	Pergamino	-0.4
	Trenque Lauquen	-0.8
	Tres Arroyos	-0.7
	Buenos Aires	3.1
Catamarca	S.F.del V.de Catamarca	1.3
Córdoba	Andalgalá	-2.3
	Bell Ville	-0.3
	Córdoba	1.3
	Pilar	0.5
	Río Cuarto	0.3
	Villa Dolores	1.1
Corrientes	Villa María	-0.3
	Mercedes	3.9
	Paso de los Libres	4.7
Chubut	Comodoro Rivadavia	-1.1
	Esquel	-7.0
Chaco	Sarmiento	-4.5
	Resistencia	5.9
	R. Sáenz Peña	5.2
	Villa Angela	4.7
	Colonia Benítez	5.8
	Colonia Castelli	5.8
Entre Ríos	Concordia	3.8
	La Paz	3.6
	Paraná	3.5
	Victoria	2.5
Formosa	Formosa	7.7
	Las Lomitas	6.6
	San Francisco	7.3
	Taca Agle	8.1

Provincia	Localidad	Temperat. mínima de diseño
Jujuy	La Quiaca	-11.1
La Pampa	Jujuy	0.2
	General Acha	-3.4
	Macachín	-2.7
	Santa Rosa	-2.7
La Rioja	Victorica	-3.0
	Chepes	0.7
	La Rioja	0.4
Mendoza	Cristo Redentor	-14.3
	Mendoza	-0.3
Misiones	Posadas	6.9
	Oberá	6.0
	Iguazú	4.9
Neuquén	Neuquén	-4.5
	Chos Malal	-3.6
	Las Lajas	-5.4
Río Negro	Cipolletti	-3.3
	Coronel J.J.Gomez	-5.7
	San Antonio Oeste	-0.7
	S.C.de Bariloche	-5.6
Salta	Coronel Moldes	-3.7
	Salta	-0.8
San Juan	San Juan	-1.5
San Luis	San Luis	-0.7
Santa Cruz	Pto Santa Cruz	-6.3
	Río Gallegos	-6.1
Santa Fe	Angel Gallardo	2.4
	Casilda	0.3
	Ceres	2.7
	Esperanza	2.5
	Rosario	0.4
	Vera	3.2
Sgo del Estero	Santiago del Estero	2.1
Tucumán	S.M.de Tucumán	2.2
Tierra del Fuego	Ushuaia	-5.5

Fig. 37 Temperaturas Mínimas de Diseño en Invierno.
IRAM11603: 1996. (Tabla 2)

table y natural que aparezca esta condensación.

Lo que no es tolerable, y es una falta de cumplimiento de los requisitos mínimos de habitabilidad de una vivienda, es que se produzca condensación superficial en las paredes de una vivienda que no pertenezcan a baños o cocinas.

Las superficies porosas no evidencian inmediatamente que el agua se condensa en su superficie. Es con el transcurrir del tiempo que dicha agua favorece la formación de hongos o algún tipo de microorganismos que se manifiestan como manchas en las paredes.

Básicamente las condensaciones superficiales se evitarán logrando que las superficies interiores de las paredes no estén frías y esto se consigue sencillamente con una pared de buen poder aislante. Controlando el valor del K se acotan las condensaciones superficiales.

Método para la Verificación del Riesgo de condensación Superficial

La Norma IRAM 11625 de Diciembre de 1991 prescribe el procedimiento para su verificación. Lo primero que establece son las condiciones o datos de temperatura y humedad relativa, del exterior y del interior de la vivienda.

Temperatura exterior: según la ciudad o localidad del país del Anexo 1 de IRAM 11603 para invierno se toma la temperatura de diseño mínima, ver en **fig. 37**. De no tener datos se toma la de características similares o la mas próxima.

Humedad relativa exterior: fija en 90%.

Temperatura interior: 18°C para edificios o locales para vivienda, enseñanza, comercio, trabajo sedentario y cultura. Tabla II de IRAM 11625. Ver **fig. 38**.

Edificio o local	Temp.(°C)
Destinado a vivienda, enseñanza, comercio, trabajo sedentario y cultura.	18
Salones de actos, gimnasios y locales para trabajo ligero.	15
Locales para trabajo pesado	12
Espacio para almacenamiento general	10

Fig. 38: Temperatura interior de diseño s/ IRAM 11625

Humedad relativa interior: el valor de la humedad relativa interior se obtiene de la curva de la Norma IRAM 11625. (Ver **Figura 39**).

La norma agrega, como una recomendación, que en viviendas de dimensiones reducidas, escasa ventilación y con grandes generaciones de vapor es conveniente para realizar las verificaciones aumentar la humedad relativa interior en el cálculo.

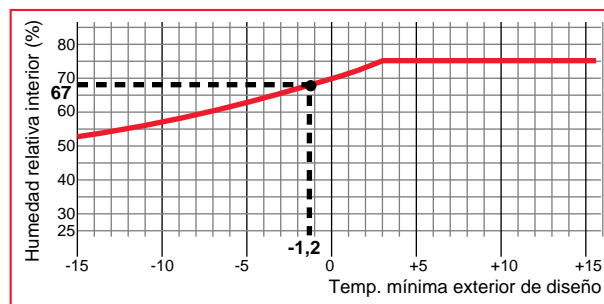


Fig. 39. Humedades relativas interiores (s/ IRAM 11.625)

La Norma fija el valor de la Resistencia superficial interior para calcular la Resistencia Térmica Total en $0.17 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{K/W}$.

El procedimiento, consiste en calcular la temperatura superficial del cerramiento con las siguientes expresiones:

$$\theta_i = t_i - \tau \quad [2]$$

siendo:

θ_i = la temperatura superficial interior del cerramiento en grados $^\circ\text{C}$.

t_i = temperatura interior del local en $^\circ\text{C}$.

τ = disminución de la temperatura en la capa superficial $^\circ\text{C}$.

Y se calcula de la siguiente manera:

$$t = R_{si} \times \Delta t / R_t \quad [3]$$

donde:

$R_{si} = 0.17 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{K/W}$.

Δt = es la diferencia entre la temperatura interior y la exterior en grados $^\circ\text{C}$.

R_t = es la resistencia térmica total del cerramiento ($R_t=1/K$) considerando las resistencias térmicas superficiales.

Una vez calculada la temperatura superficial interna q debemos verificar si a esa temperatura el aire del local (con su temperatura interior y su Humedad Relativa interior) condensa.

Dicho de otra manera se debe verificar que la temperatura superficial interna sea superior a la temperatura de rocío del aire del local o interior.

La temperatura de rocío se obtiene del diagrama psicrométrico. Ver **fig. 36**.

Ejemplo de aplicación:

Se verificará el riesgo de condensación superficial de un muro de cerramiento de una vivienda situada en Balcarce.

La temperatura Mínima Exterior de Diseño de la tabla de la **fig. 37** será para esa ciudad: **-1.2°C**.

La temperatura interior será **18 °C**. (Ver **fig. 38**)

La humedad relativa exterior como se vio anteriormente está fijada en 90%.

La humedad relativa interior se obtiene de la curva de la **fig. 39**, donde con la temperatura exterior obtenemos la **HR interior = 67%**.

La diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior será:

$$\Delta t = 18 - (-1.2) = 19.2^{\circ}\text{C}$$

Obtenidos así los datos del estado del aire interior y exterior, corresponde analizar el cerramiento, en este ejemplo el muro de un sistema pesado **fig.40**.

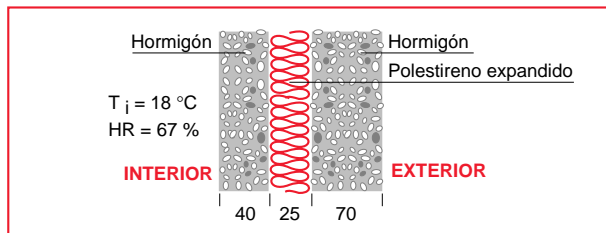


Fig. 40. Muro de sistema pesado de grandes paneles de hormigón

Se calcula su resistencia térmica:

(se usan los datos del ejemplo 1 de cálculo del K)

Resistencia superficial interior = $0.17 \text{ m}^2 \text{ K/W}$

(para ver esta verificación, $R_{si}=0.17$)

7.0 cm Hormigón (0.07/1.63) = $0.043 \text{ m}^2 \text{ K/W}$

2.5 cm Poliest. Exp. (0.025/0.04) = $0.63 \text{ m}^2 \text{ K/W}$

4.0 cm Hormigón (0.04/1.63) = $0.024 \text{ m}^2 \text{ K/W}$

Resistencia Superficial Exterior = $0.03 \text{ m}^2 \text{ K/W}$

Resistencia Total = $0.897 \text{ m}^2 \text{ K/W}$

Con este valor se reemplaza en fórmula [3] y se obtiene la caída de temperatura en la capa superficial :

$$\tau = 0.17 \times 19.2 / 0.897 = 3.64^{\circ}\text{C}$$

por lo tanto reemplazando en [2] :

$$\theta_i = 18^{\circ}\text{C} - 3.64^{\circ}\text{C} = 14.36^{\circ}\text{C}$$

Se deberá verificar que esta temperatura que tiene la superficie interna del muro sea mayor que temperatura de rocío del aire interior.

Del Diagrama Psicrométrico, fig.36, se fija el punto **D** que corresponde al estado del aire interior ($T_i=18^{\circ}\text{C}$, $H_{ri}=67\%$), con una recta horizontal que pase por **D** al cortar la curva de $HR=100\%$ definimos el punto **E**, la temperatura que se encuentre en la vertical de ese punto será la que corresponda a la temperatura de rocío del aire interior.

En este caso = **11.7°C** .

Se verifica entonces que no habrá condensación superficial pues la temperatura superficial interior es **14.5°C** >

11.7°C que es la de rocío.

Con la misma ubicación se verificará un muro de ladrillos comunes con revoque en ambas caras ver **fig.41**.

Se calculan las resistencias térmicas :

Resistencia Superficial Interior = $0.17 \text{ m}^2 \text{ K/W}$

2 cm de Revoque (0.02/0.93) = $0.02 \text{ m}^2 \text{ K/W}$

Muro lad. común (0.125/0.81) = $0.15 \text{ m}^2 \text{ K/W}$

2 cm de Revoque (0.02/0.93) = $0.02 \text{ m}^2 \text{ K/W}$

Resistencia Superior Exterior = $0.03 \text{ m}^2 \text{ K/W}$

Resistencia Total = $0.39 \text{ m}^2 \text{ K/W}$

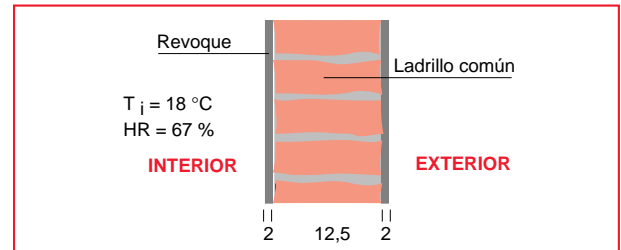


Fig. 41. Pared de ladrillo común

La caída en la capa superficial será:

$$\tau = 0.17 \times 19.2 / 0.39 = 8.37^{\circ}\text{C}$$

por lo tanto reemplazando en [2] :

$$\theta_i = 18^{\circ}\text{C} - 8.37^{\circ}\text{C} = 9.63^{\circ}\text{C}$$

y siendo la temperatura de rocío del aire

$11.7^{\circ}\text{C} > \text{que } 9.63^{\circ}\text{C}$ habrá riesgo de condensación superficial en el muro analizado en la ubicación de referencia.

Para finalizar el tema de la condensación superficial, en una casa correctamente ventilada, se evita con un cerramiento de buena aislación, es decir de bajo K.

2.b. Condensaciones intersticiales:

Si bien las condensaciones superficiales son las visibles, las condensaciones que se producen en el interior de las paredes pueden llegar a causar mayores problemas al edificio.

Supongamos que la temperatura de rocío, calculada como vimos mas arriba, en vez de ser alcanzada sobre la superficie del muro, se alcanza en un punto del interior del mismo.

En este caso puede que haya condensación en ese punto. ¿De qué depende? Depende de que el vapor de agua del aire llegue a ese punto donde se producirá la condensación.

El vapor de agua como se vio en la parte teórica, junto a otros gases forma lo que conocemos como "Aire" pero para cada estado de temperatura y humedad del aire corresponde una determinada presión del vapor de

Material	Permeab. δ gr/m.h.kPa	Permeancia Δ gr/m ² .h.kPa
Aire en Reposo		75
Aislantes		
Corcho	0.0825	
Lana de Vidrio	0.5	
Poliestireno Expand. Planchas	0.0075	
Hormigones:		
de 1800 kg/m ³	0.044	
de 2400 kg/m ³	0.02	
Hormigones Livianos		
de 700 kg/m ³	0.12	
de 1000 kg/m ³	0.07	
Morteros y Revoques		
de Cemento	0.022	
de Cal y Cemento	0.044	
de Yeso	0.07	
Placas		
de Yeso	0.11	
de Fibro Cemento	0.026	
Tipo "HardBoard"	0.007	
de Terciado	0.002	
Mampostería de Ladrillos	0.09	
Madera en General	0.045	
Vidrio	6.4E-05	
Metales	0	
Azulejos y Cerámicas	0.0032	
Pinturas		
A la cal		75
Látex		1.13
Epoxi		1.13
Barreras de Vapor		
Hoja de Aluminio 25 micrones		0
Hoja de Aluminio 8 micrones		0.0112
Film de Polietileno		
de 0.05mm (50 micrones)		0.033
de 0.1 mm (100 micrones)		0.016
de 0.2 mm (200 micrones)		0.008
Filtro Asfáltico		0.67
Papel Kraft c-lám. de asfalto		0.15
Pintura Asfáltica		0.1

Fig.42: Permeabilidades y permeancias al vapor de agua s/IRAM 11601 Tabla XI

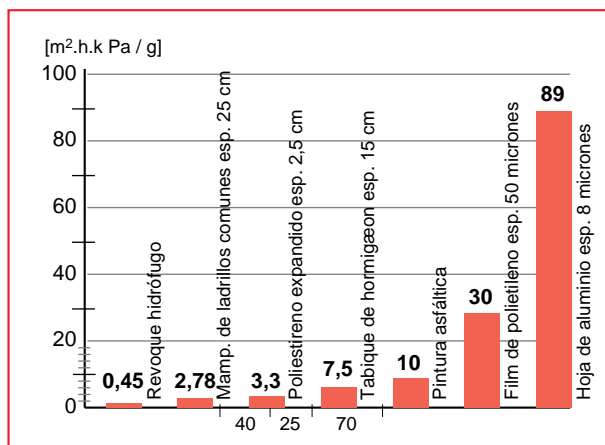


Fig. 43. Comparación de resistencias al paso de vapor de elementos comunes en los muros

agua; el estado del aire interior es muy distinto del exterior y se traduce en distintas presiones del vapor.

Esta diferencia de presiones constituye el "motor" de la difusión o pasaje del vapor a través de los cerramientos. Surge entonces el concepto de "Permeabilidad" (δ) al vapor de agua de un material y se define como la cantidad de vapor de agua que pasa por unidad de tiempo a través de la unidad de superficie de un material de cierto espesor, cuando la diferencia de presión de vapor entre sus caras es la unidad. Se mide en **g/m x h x kPa**.

Para los elementos constructivos de espesores pequeños, en forma de películas, láminas u hojas, se define la Permeancia, D, que se mide en **g/m².h.kPa**, y mide la cantidad de vapor que atraviesa el elemento por metro cuadrado en la unidad de tiempo y ante la unidad de presión. También se puede definir la Permeancia de un material homogéneo con espesor "e", como $\Delta = \delta/e$.

Para los materiales usuales como ladrillos, hormigones, etc. se usa la permeabilidad.

Si los materiales dificultan el pasaje del vapor se hablará de "frenos al vapor", cuando su permeancia Δ es mayor que **0.75 g/m².h.Kpa**.

Se define como "barrera de vapor" a todo elemento constructivo que tenga una permeancia Δ menor que **0.75 g/m².h.Kpa**.

La Norma IRAM 11601 en su Tabla XI enumera materiales y sus distintas permeabilidades o permeancias. En la **fig. 42** extractamos los de mas uso.

La resistencia a la difusión, o paso, del vapor de agua (R_v) se define como la inversa de la permeancia al vapor de agua.

Si se trata de un cerramiento de diversas capas con permeabilidades y espesores distintos será la sumatoria de se define:

$$R_v = 1/\Delta + \sum e_i/\delta_i$$

No se toman en consideración las resistencias que puedan generarse al paso del vapor en las capas de aire superficiales, externas e internas, como se hace con las resistencias térmicas.

En el gráfico de la fig.43 se ilustra la resistencia al paso del vapor de distintos elementos constructivos, sin duda los conocidos como barrera de vapor son los eficaces.

El mortero de cemento, aún con hidrófugo, es muy poco resistente a la difusión del vapor y de ninguna manera constituye una barrera de vapor.

La cantidad de vapor de agua que atraviesa el cerramiento será directamente proporcional a la diferencia de presiones del vapor entre el interior y el exterior e in-

versamente proporcional a la resistencia al paso del vapor del cerramiento.

Método de Verificación del Riesgo de Condensación Intersticial

Los datos de partida son las temperaturas y humedades relativas interiores y exteriores utilizados en la verificación del riesgo de condensación superficial. Temperaturas y Humedades relativas interior y exterior.

Usando los valores del análisis de resistencias térmicas del cerramiento se calculan las temperaturas que tienen las distintas capas o planos del cerramiento desde el interior hacia el exterior. Los planos se toman en los cambios de material, de tal manera que dentro de cada capa se mantiene la pendiente de la caída de temperatura por tener el material conductividad única.

Si llamamos “i” al plano interior y “n” al exterior, tendremos:

$$\begin{aligned} t_1 &= t_{\text{int}} \\ t_2 &= t_1 - (\Delta t \times R_{1-2}) / R_t \quad [4] \\ t_3 &= t_2 - (\Delta t \times R_{2-3}) / R_t \\ &\dots \\ t_n &= t_{\text{ext}} \end{aligned}$$

siendo:

$t_1; t_2; \dots; t_n$ temperat. de los planos considerados

t_{int} la temperatura interior de diseño;

t_{ext} la temperatura mínima exterior de diseño;

$\Delta t = t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}$

$R_{i-(i-1)}$ es la resistencia térmica en $\text{m}^2\text{K/W}$, de la parte del cerramiento ubicada hacia el interior respecto del plano “i” considerado;

R_t es la resistencia térmica total del cerramiento.

Con estos datos se obtienen las temperaturas en cada plano considerado.

Corresponde luego obtener las presiones que tiene el vapor de agua al atravesar los distintos planos, de manera análoga a la anterior se calculan las presiones:

$$\begin{aligned} p_1 &= p_{v_{\text{int}}} \\ p_2 &= p_1 - (\Delta p \times R_{v1}) / R_v \quad [5] \\ &\dots \\ p_n &= p_{v_{\text{ext}}} \end{aligned}$$

siendo:

p_1, p_2, \dots, p_n la presión del vapor de agua en los planos considerados, en kilopascal [kPa]

$p_{v_{\text{int}}}$ la presión de vapor de agua en el interior, en kPa.

$p_{v_{\text{ext}}}$ la presión de vapor de agua en el exterior, en kPa.

TEMPERAT. °C	PRESION kPa	TEMPERAT. °C	PRESION kPa	TEMPERAT. °C	PRESION kPa
-15.00	0.165	0,00	0,610	15,00	1,706
-14.50	0.173	0,50	0,635	15,50	1,762
-14.00	0.181	1,00	0,657	16,00	1,818
-13.50	0.190	1,50	0,682	16,50	1,878
-13.00	0.198	2,00	0,705	17,00	1,937
-12.50	0.208	2,50	0,732	17,50	2,001
-12.00	0.218	3,00	0,759	18,00	2,065
-11.50	0.228	3,50	0,787	18,50	2,132
-11.00	0.238	4,00	0,813	19,00	2,197
-10.50	0.249	4,50	0,843	19,50	2,268
-10.00	0.260	5,00	0,872	20,00	2,340
-9.50	0.272	5,50	0,902	20,50	2,413
-9.00	0.284	6,00	0,935	21,00	2,487
-8.50	0.296	6,50	0,968	21,50	2,566
-8.00	0.310	7,00	1,002	22,00	2,645
-7.50	0.324	7,50	1,038	22,50	2,727
-7.00	0.337	8,00	1,073	23,00	2,810
-6.50	0.352	8,50	1,110	23,50	2,897
-6.00	0.368	9,00	1,148	24,00	2,985
-5.50	0.384	9,50	1,187	24,50	3,077
-5.00	0.401	10,00	1,228	25,00	3,169
-4.50	0.419	10,50	1,270	25,50	3,266
-4.00	0.437	11,00	1,312	26,00	3,362
-3.50	0.456	11,50	1,358	26,50	3,463
-3.00	0.476	12,00	1,403	27,00	3,566
-2.50	0.496	12,50	1,451	27,50	3,674
-2.00	0.517	13,00	1,498	28,00	3,781
-1.50	0.538	13,50	1,548	28,50	3,894
-1.00	0.562	14,00	1,599	29,00	4,006
-0.50	0.586	14,50	1,653	29,50	4,124
				30,00	4,244

Fig. 44 : Tabla de presiones de vapor saturado

$Dp = p_{v_{\text{int}}} - p_{v_{\text{ext}}}$ diferencia de presiones de vapor entre el interior y el exterior;

$R_{v i-(i-1)}$ es la resistencia al paso del vapor, de la parte del cerramiento ubicada hacia el interior del respecto del plano “i” considerado

R_v es la resistencia al paso del vapor de agua del cerramiento siendo:

$$R_v = e_1/\delta_1 + e_2/\delta_2 + \dots + e_n/\delta_n + 1/\Delta$$

donde:

e_1, e_2, \dots, e_n son los espesores de las sucesivas capas de materiales del cerramiento, en metros.

$\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_3$ son las permeabilidades al paso del vapor de las sucesivas capas de materiales que se miden en gramos por metro cuadrado hora kilopascal. $[\text{gr}/\text{m}^2 \text{ h kPa}]$.

Δ la permeancia de la barrera de vapor o película, si los hubiera en gramo por metro cuadrado hora kilopascal.

Las presiones interiores y exteriores se obtienen usando el diagrama psicrométrico.

Una vez calculadas las presiones del vapor de agua en cada plano de análisis, con esas presiones se obtiene la temperatura de rocío para cada una de ellas. Para ello

se puede usar el diagrama psicrométrico, o la tabla VII de la Norma IRAM 11625 de presiones de vapor de agua saturado. Ver **fig. 44**.

A esta temperatura condensa el vapor que se encuentra en ese estado de presión en cada plano de análisis. Si la temperatura en ese plano, que se calcula como se vio mas arriba, es mayor, no habrá problema.

Si es menor el vapor de agua condensará en ese plano: es decir habrá **CONDENSACIÓN INTERSTICIAL**.

Ejemplo de Aplicación:

Usemos los datos de los ejemplos anteriores: se analizará un muro de un sistema liviano (ver **fig. 46**).

La ubicación será: Mar del Plata.

En la **figura 45** se muestra la tabla que sugiere la Norma IRAM 11625 para el desarrollo del cálculo de la verificación del riesgo de condensación intersticial.

En las primeras columnas, del interior al exterior, se colocan los datos de las distintas capas de materiales (IRAM 11601). En la columna de temperatura se tiene como datos la del aire interior: 18°C y la del aire exterior: -0.4°C. Los valores intermedios se calculan según se vio con las resistencias térmicas y la fórmula [4].

Mostraremos como se calcularon algunos de los valores intermedios.

Con los valores de R_t (resistencia térmica total del Muro) y la resistencia de cada capa, comenzamos desde el interior :

$$t_1 = 18^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 18 - (0.13/1.01) \times 18.4 = 15.81^\circ\text{C}, \text{ siendo la temperatura de la capa superficial}$$

$$t_3 = 15.81 - (0.028/1.01) \times 18.4 = 15.3^\circ\text{C}$$

$$t_3 = t_3'$$

en la barrera de vapor, por su mínimo espesor no se considera caída de temperatura

$$t_4 = 15.3 - (0.625/1.01) \times 18.4 = 3.91^\circ\text{C}$$

.....

$$t_8 = t_{\text{ext}} = -0.4^\circ\text{C}$$

En las últimas columnas se colocan los valores de la presión del vapor. Con la temperatura, la presión del vapor en el aire interior es un dato que se obtiene del diagrama psicrométrico, ver **fig. 36**, desde $t_i = 18^\circ\text{C}$ y $H_{ri} = 68\%$ (punto F) por la horizontal y hacia el eje de las presiones se tiene:

$$1.4 \text{ kPa.}$$

La otra presión de vapor es la que corresponde al aire exterior: $t_e = -0.4^\circ\text{C}$ y $H_{re} = 90\%$, punto G, es de: **0.52 kPa.**

Con la expresión [5] se calculan las presiones interme-

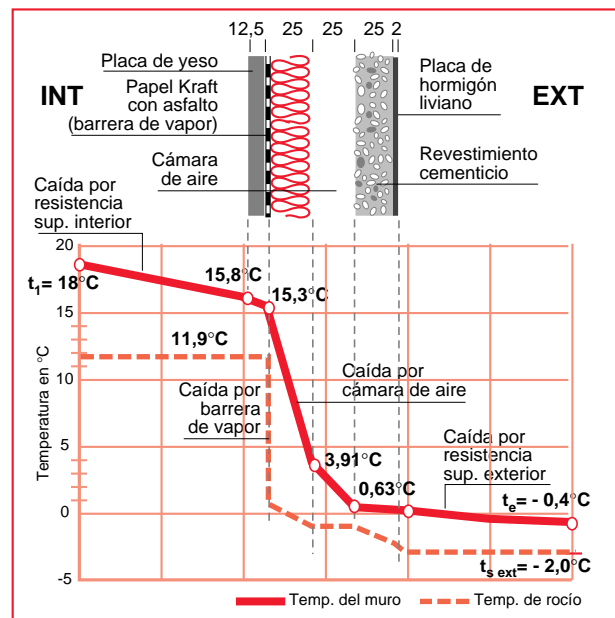


Fig. 46: Muro de sistema liviano y diagrama

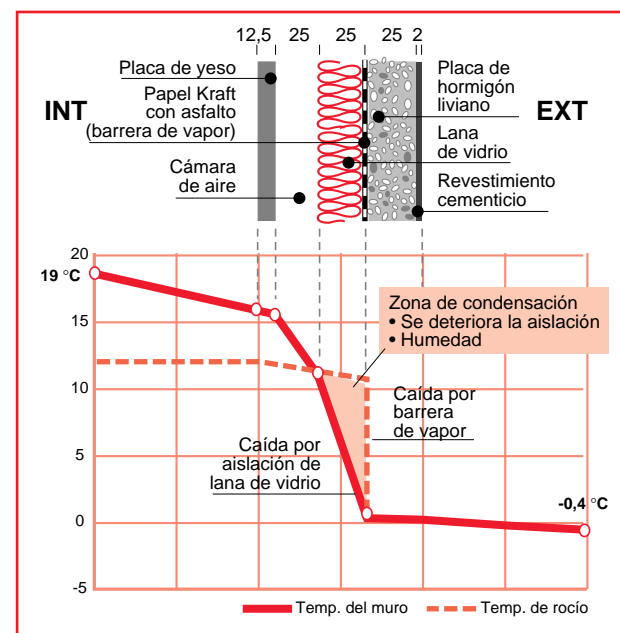


Fig. 47: Incorrecta colocación de la barrera de vapor

dias que corresponden a los distintos planos de análisis. A partir de estas presiones de vapor usando la tabla VII de la IRAM 11625 podemos obtener la temperatura de rocío de cada plano. En el ejemplo, la temperatura de rocío del aire interior es siguiendo la horizontal hasta el punto H y verticalmente: **11.9°C**.

Con los valores de temperatura y de temperatura de rocío se construye el gráfico de la **fig. 46**. La línea de trazo lleno representa la temperatura que tiene cada plano

	Densidad	Esesor	Conductividad	Resistencia Térmica de la capa	Temperatura real en ese plano	Permeabilidad	Permeancia	Resistencia al vapor (Rv = 1 / Δ)	Humedad relativa	Presión del vapor en esa capa	Temperatura de rocío del vapor en esa capa	Diferencia entre temperatura real y la del rocío
Materiales	d kg/m3	e m	λ W/m.°C	Ri m2.°C/W	t °C	δ g/mhkPa	Δ g/m2hkPa	Rvi m2hkPa/g	φ %	P kPa	tr °C	Dif. °C
Aire interior					18.00				68%	1.400	11.9	6.1
Resist. sup. interior				0.13								
Placa de yeso	1200	0.013	0.440	0.028	15.81	0.110		0.114		1.400	11.9	3.9
Barrera de Vapor: Papel Kraft c/Asfalt.		0.000			15.30		0.150	6.667		1.387	11.7	3.5
Lana de Vidrio	30	0.025	0.040	0.625	15.30	0.050		0.500		0.618	0.2	15.1
Cámara de Aire		0.025		0.180	3.91		75.000	0.013		0.561	(1.1)	5.0
Placa Horm. Liviano	1600	0.025	1.040	0.024	0.63	0.100		0.250		0.559	(1.1)	1.7
Revest. Cementicio	1800	0.002	0.900	0.002	0.19	0.022		0.091		0.530	(1.7)	1.9
					0.15					0.520	(2.0)	2.1
Resist. sup. int.				0.04	0.15					0.520	(2.0)	2.1
Aire exterior					(0.40)				90%	0.520	(2.0)	1.6
Muro de un Sistema Liviano				R	Δt			Rv		ΔP		
Condicion: Invierno				1.01	18.40			7.635		0.880		
Entre paréntesis valores negativos												

Fig. 45: Tabla para verificar el riesgo de condensación superficial.

del cerramiento. Saliendo de los 18°C cae la temperatura con la resistencia superficial interior. La temperatura sobre la cara interna de la placa de yeso es de 15.81°C, dentro del espesor de la placa la temperatura desciende con otra pendiente que se debe a la resistencia térmica del Yeso. Inmediatamente después de la placa se encuentra la lana de vidrio, la caída de la temperatura en el aislante es muy violenta, baja de 15.3 a 3.91 °C en solo 2.5 cm, como habíamos visto anteriormente es mucho mas importante su papel que el de la cámara de aire donde pasa de 3.91 a 0.63°C. Finalmente luego de caer levemente en la placa de hormigón liviano, el revestimiento cementicio y la resistencia superficial exterior, la temperatura alcanza el nivel del aire exterior.

El trazo entrecortado nos muestra las diferentes temperaturas de rocío a la cual condensaría el vapor de agua que pasa por el cerramiento. La caída de la temperatura de rocío se produce donde se ha colocado la barrera de vapor, en este caso un film de polietileno de 50 micrones que se encuentra adherido a la lana de vidrio. Después de la barrera de vapor la temperatura a la cual condensa el vapor que atraviesa esa capa es de menos de cero grado (-2.0 °C), temperatura que en este caso ya no se alcanzará. No habrá riesgo de condensación intersticial.

Importancia de la ubicación de la Barrera de vapor

Muchas patologías de humedades en los cerramientos se deben a la falta de barreras de vapor, pero otras aparecen aún cuando estas han sido colocadas. El problema aparece porque se ha colocado mal. Hemos observado viviendas donde se ha colocado la lana de vidrio con la cara que tiene el film de polietileno hacia el exterior, razonando que de esta manera se protegía la aislación de posibles filtraciones de agua exterior. Ver **fig.48**. Esta solución garantiza los problemas: **es peor colocar mal la barrera de vapor que no colocarla.**

Como analizamos en la tabla, **fig. 48**, y en el gráfico, **fig. 47**, la temperatura después de la placa de yeso, cámara de aire y aislación de lana de vidrio, cae por debajo de las temperaturas de rocío, produciéndose la condensación.

La barrera de vapor hace caer la temperatura de rocío cuando ya se alcanzó la condensación: es ineficaz.

El agua condensada se acumulará en la zona indicada, deteriorando la aislación, con el deterioro de la aislación la temperatura se reduce y aumenta así la zona de condensación.

	Densidad	Espesor	Conductividad	Resistencia Térmica de la capa	Temperatura real en ese plano	Permeabilidad	Permeancia	Resistencia al vapor (Rv = 1 / Δ)	Humedad relativa	Presión del vapor en esa capa	Temperatura de rocío del vapor en esa capa	Diferencia entre temperatura real y la del rocío
Materiales	d kg/m3	e m	λ W/m.°C	Ri m2.°C/W	t °C	δ g/mhkPa	Δ g/m2hkPa	Rvi m2hkPa/g	j %	φ kPa	tr °C	Dif. °C
Aire interior					18.00				68%	1.400	11.9	6.1
Resist. sup. interior				0.13								
Placa de yeso	1200	0.013	0.440	0.028	15.81	0.110		0.114		1.400	11.9	3.9
Cámara de Aire		0.025		0.180	15.30		75.000	0.013		1.387	11.7	3.5
Lana de Vidrio	30	0.025	0.040	0.625	12.02	0.050		0.500		1.328	11.7	0.3
Barrera de Vapor: Papel Kraft c/Asfalt.		0.000			0.63		0.150	6.667		0.559	11.1	-10.5
Placa Horm. Liviano	1600	0.025	1.040	0.024	0.63	0.100		0.250		0.530	(1.1)	1.7
Revest. Cementicio	1800	0.002	0.900	0.002	0.19	0.022		0.091		0.520	(1.7)	1.9
					0.15					0.520	(2.0)	2.1
Resist. sup. int.				0.04	0.15					0.520	(2.0)	2.1
Aire exterior					(0.40)				90%	0.520	(2.0)	1.6
Muro de un Sistema Liviano				R	Δt			Rv		ΔP		
Condicion: Invierno				1.01	18.40			7.635		0.880		
Entre paréntesis valores negativos												

Fig. 48: Análisis de barrera de vapor mal colocada

Esta zona de condensación avanzará hacia el interior y puede manifestarse como condensación superficial. **La humedad en la pared o techo amenaza no solo la habitabilidad de la vivienda sino que puede comprometer su durabilidad y seguridad, mediante la corrosión de las estructura internas o la degradación de los materiales.**

Un cerramiento que condensa en invierno, tiene la posibilidad de secarse hacia el exterior en el verano.

A menos que como ocurre en este caso la barrera de vapor impida el intercambio con el exterior. La única posibilidad de secarse será evaporando hacia el interior.

Como se puede ver en la **fig. 49** es mejor no colocar barrera de vapor que colocarla en una posición inadecuada. En efecto se ve allí como la condensación se produce en la cámara de aire y no en el aislante. La cámara de aire si está ventilada y dispone de un drenaje, tiene la posibilidad de evacuar la humedad.

Es interesante observar lo que sucede si colocamos los mismos materiales, pero con la aislación del lado exterior y la cámara de aire del interior. Ver **fig. 50**. Se observa que la condensación se produce en la aislación, esta humedad deteriora el poder aislante de la lana de vidrio y el proceso de condensación se intensifica.

Según se ubique la aislación pueden disminuirse los problemas de condensación, más aún en ciertos casos puede llegar a evitarse el riesgo de condensación sin colocar barrera de vapor.

Todas estas alternativas obligan al profesional a hacer el análisis de riesgo de condensación.

Como orientación, se puede decir que la barrera de vapor se debe colocar del lado caliente del muro o techo, es decir mas cerca del lugar de donde viene el vapor. La anterior es una simple orientación y no debe excluirse el análisis.

Pequeñas condensaciones intersticiales pueden ser toleradas en algunas circunstancias especiales tales como:

- cuando se trata de materiales que no son afectados por el agua como por ejemplo los cerámicos;
- cuando la condensación afecta una pequeña porción del muro;
- cuando esa humedad puede ser evacuada al exterior pasado el invierno.

Estas premisas se deben cumplir simultáneamente.

Las barreras de vapor mas usadas en nuestro país son las pinturas asfálticas en los sistemas constructivos tradicionales, los films de polietileno (ver **fig. 51**), el papel Kraft con pintura asfáltica.

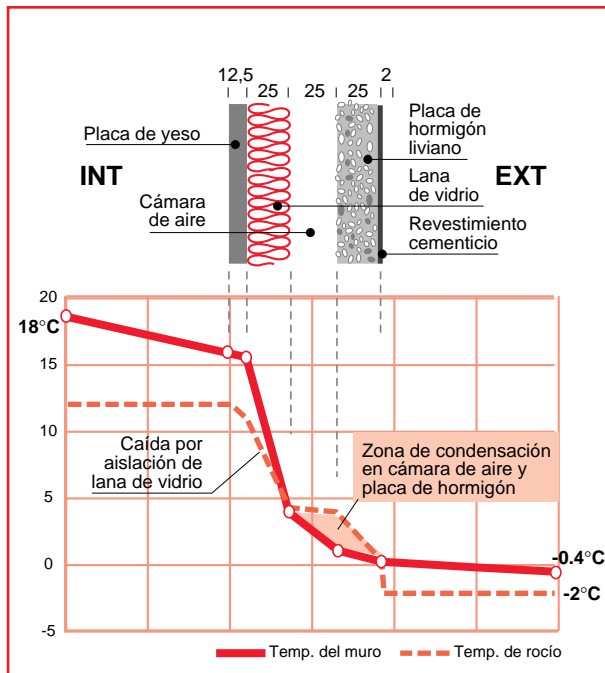


Fig. 49: Muro de sistema liviano sin barrera de vapor

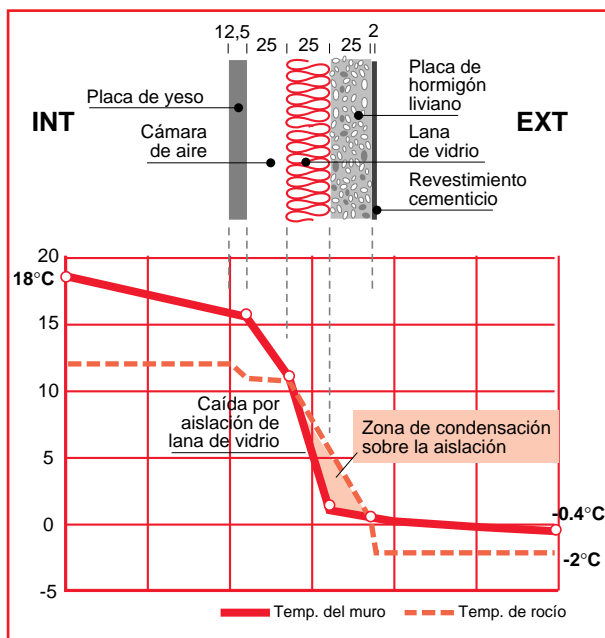


Fig. 50: Muro de sistema liviano con aislación del lado frío.

En los últimos años con el desarrollo de pinturas y revestimientos sintéticos que tienen características de barrera de vapor, se producen circunstancias que afectan a los muros o techos donde se aplican.

Muros que con ciertas pinturas no presentaban problemas al cambiar el tipo de pintura, sobre todo la exterior, comienzan a condensar.

En la **fig. 52** aparece un muro de paneles de hormigón



Fig. 51: Colocando polietileno como barrera de vapor

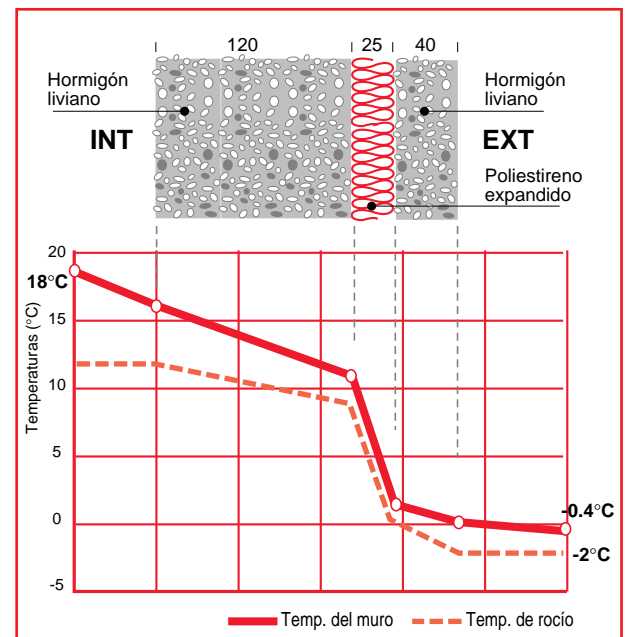


Fig. 52: Muro de hormigón liviano sin barrera de vapor. Análisis sin pintura.

liviano y aislación adicional de poliestireno expandido. Para las condiciones de los ejemplos anteriores se hace el análisis de las temperaturas de cada plano y las de rocío. Se observa que a pesar de no tener barrera de vapor no hay riesgo de condensación.

La **fig. 53** nos muestra el mismo análisis para el mismo muro pero en esta ocasión se han considerado las resistencias al paso del vapor de las pinturas utilizadas.

Del lado interior se consideró una pintura de tipo látex (de Permeancia $\Delta=1.13 \text{ g/m}^2 \text{ h kPa}$) y del lado exterior una pintura acrílica (de Permeancia $\Delta=3.75 \text{ g/m}^2 \text{ h kPa}$). El resultado es muy similar al caso de la **figura 52**, hay

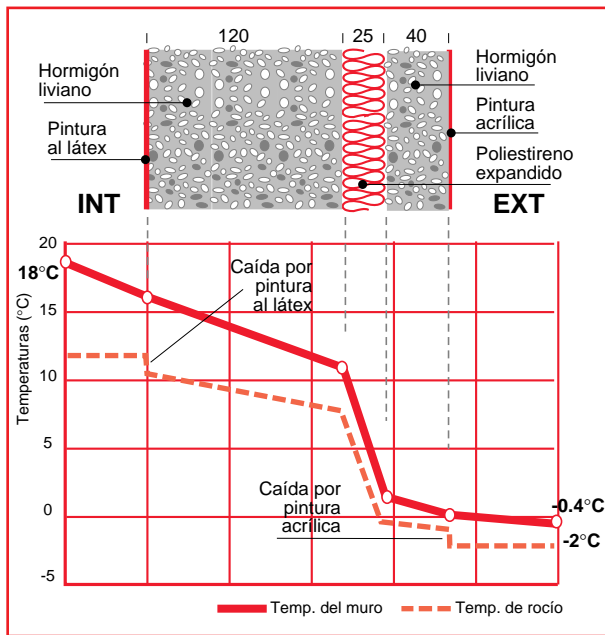


Fig. 53: Muro de hormigón liviano sin barrera de vapor. Pinturas que no son barreras de vapor

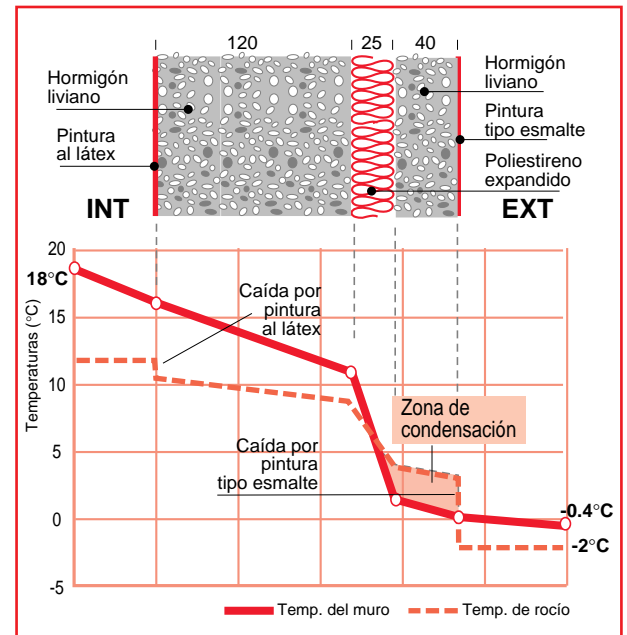


Fig. 54: Muro de hormigón liviano con pintura exterior que es barrera de vapor

dos pequeños escalones o caídas, donde cae la temperatura de rocío en las caras del muro.

La importancia de esta caída obviamente depende de la resistencia al paso del vapor de la pintura. Si el escalón o caída en la superficie exterior es muy grande, como la temperatura de rocío final (la del aire exterior), es fija, lo que ocurre es lo que se ve en la **fig. 54**.

Allí el mismo muro anterior, ha sido pintado exteriormente con una pintura que actúa como barrera de vapor, v.gr. un esmalte (de Permeancia $\Delta=0.4 \text{ g/m}^2 \text{ h kPa}$). Esta gran resistencia al paso del vapor lleva como se observa en el diagrama a una importante condensación en el interior del muro. Como agravante esa humedad queda imposibilitada de secarse al exterior en verano.

Al comenzar a tratar la el pasaje de vapor a través de los muros, se dijo que el motor de este fenómeno es la diferencia de presiones de vapor entre el aire interior y el exterior, esta diferencia de presiones puede provocar que la pintura exterior se englobe y se desprenda, Muchas veces el desprendimiento de pinturas en los muros tiene su origen en la presión de vapor interior.

Es el mismo fenómeno que se observa en los techos que se "impermeabilizan" con membranas y no se le permite al techo ventilar el vapor interior. Aparecerán ampollas que terminarán en la rotura de la cubierta.

Si bien en todo tipo de construcción se debe atender a los riesgos de condensación, los sistemas livianos por las características de sus materiales son los mas expuestos a los daños producidos por la humedad.

Los Puentes Térmicos y la Condensación

Los puentes térmicos o heterogeneidades, como vimos al tratar las aislaciones, provocan intercambios de calor mas intensos que en el resto del cerramiento. A veces son inevitables, pero deben ser acotados. Considerando la aislación de la vivienda son perjudiciales pues disminuyen la calidad térmica de la misma. Haciendo las consideraciones desde el análisis de las condensaciones **los puentes térmicos mal resueltos pueden llegar a comprometer la durabilidad y la seguridad de la vivienda**.

La norma IRAM 11605 acota los puentes térmicos, ver **fig. 55**, en su intensidad, y según su separación. El K_{pt} es el del camino que atraviesa el muro, con mayor K .

Aunque este sea quebrado, si el K_{pt} es menor que el máximo admisible de esa zona bioclimática, se considera aceptable el puente térmico.

Este análisis es una aproximación que considera que el flujo de calor es solo transversal al cerramiento.

En realidad, en los puentes térmicos, el flujo de calor también es lateral, ver **fig. 56**.

La norma IRAM 11605 permite superar los límites anteriores si se realiza un estudio considerando la transmisión lateral. Lo que limita en este caso es que las temperaturas mínimas interiores del puente térmico (T_{pt}) y la del muro opaco (T_{mo}) con respecto a la Temperatura

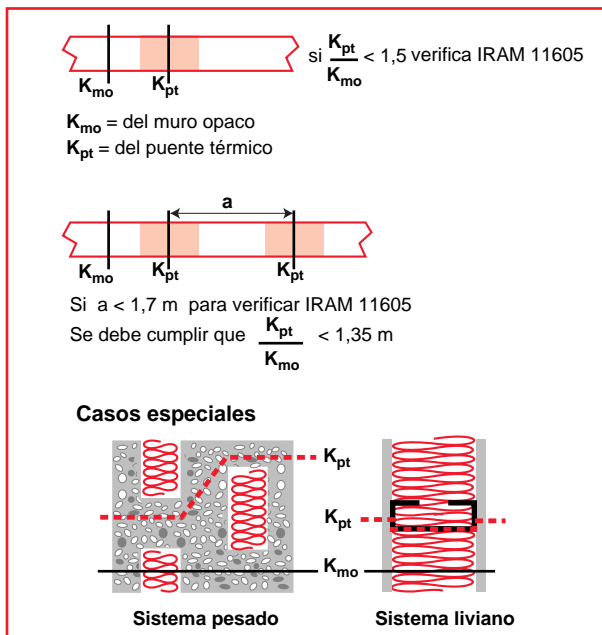


Fig. 55: Requisitos para que los puentes térmicos sean admisibles (Norma IRAM 11605)

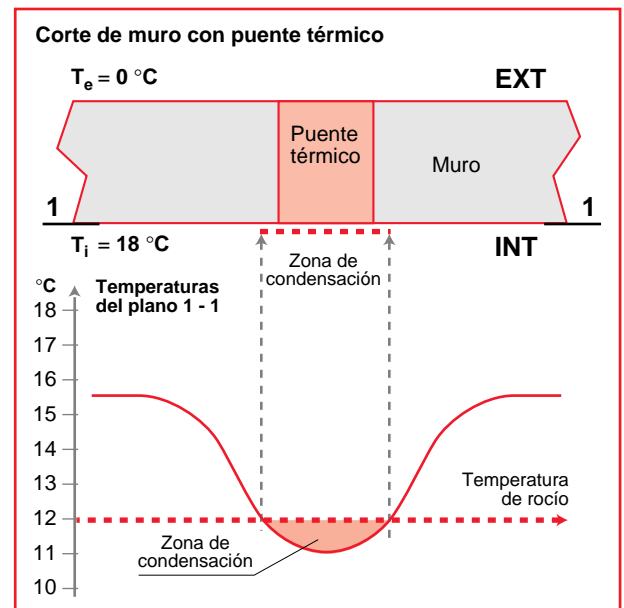


Fig. 57: Condensación por caída de temperatura debido a puente térmico.

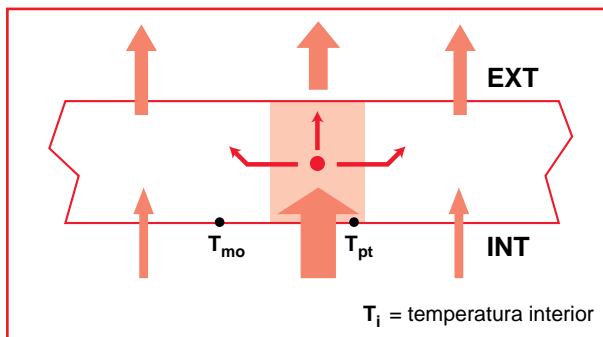


Fig. 56: Variaciones en el flujo de calor debido al puente térmico.

ra del aire interior cumplan la siguiente relación:

$$\frac{T_i - T_{pt}}{T_i - T_{mo}} < 1,5$$

A nuestro entender **es más importante hacer hincapié en que se verifique que no haya condensación. Ver fig. 57.**

En el corte se observa un esquema de muro con un puente térmico, tomamos un plano cualquiera de análisis: el 1-1 que coincide con la superficie interior. Abajo se muestran las temperaturas en ese plano y se ve como al aproximarse al puente térmico la temperatura desciende por debajo de la de rocío: habrá condensación. Esta caída de la temperatura dependerá de la magnitud del puente térmico.

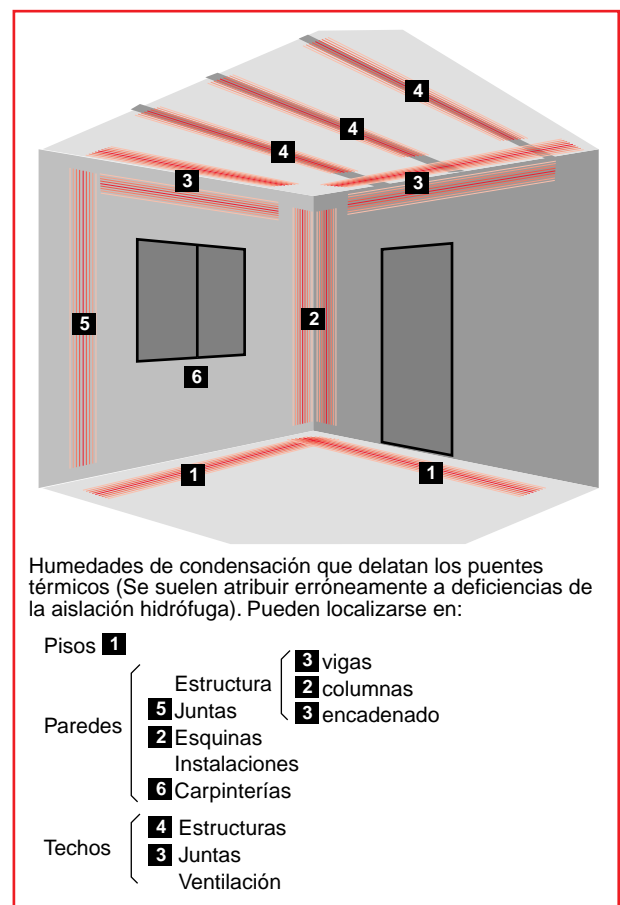


Fig. 58: Resumen de los puentes térmicos más comunes

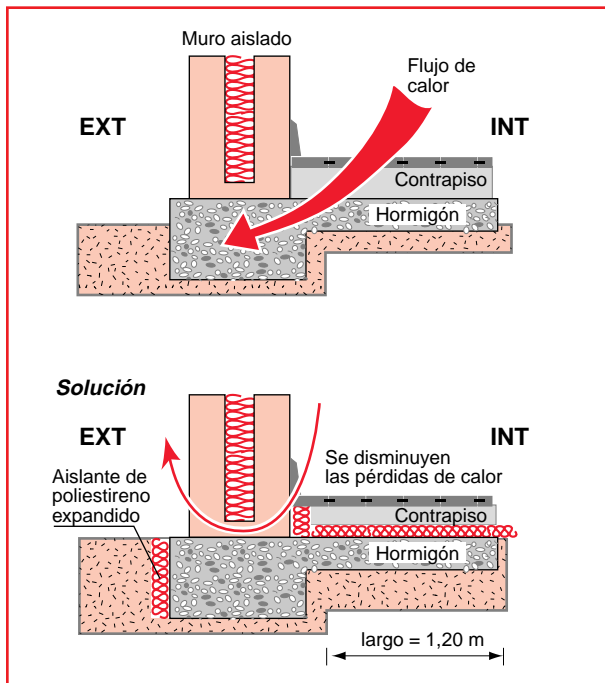


Fig. 59: Puentes térmicos en pisos



Fig. 61: Correcta colocación de barrera de vapor (Steel Wall Arg)

Deberán además estudiarse otros planos interiores del muro y tener en cuenta que las distintas capas tienen otras resistencias al paso del vapor del muro variando así las temperaturas de rocío.

Estas consideraciones serán las que definan si el puente térmico es o no tolerable.

En la **fig. 58** tenemos un resumen de los puntos, lugares o zonas donde se suelen producir los puentes térmicos en las viviendas. En la tabla de la fig. 58 los clasificamos.

Veremos algunos de esos tipos de puente térmico y su posible solución.



Fig. 62: Puentes térmicos en techos

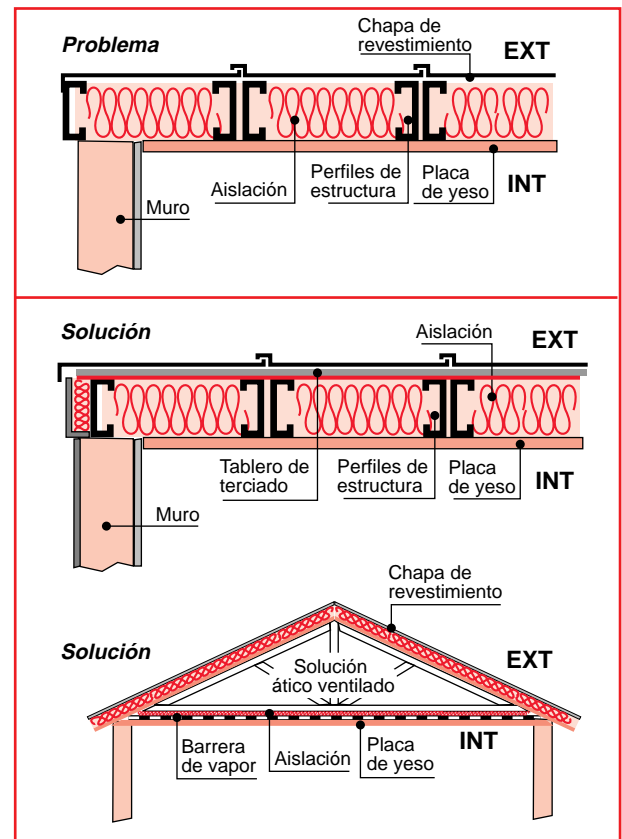


Fig. 63: Puentes térmicos en techos

Pisos: Ver fig. 59

Es en regiones frías muy común y su solución sencilla agregando un aislante de no menos de un metro de ancho.

Paredes: Ver fig. 60

Existen innumerables posibilidades y no todas tienen solución practicable.

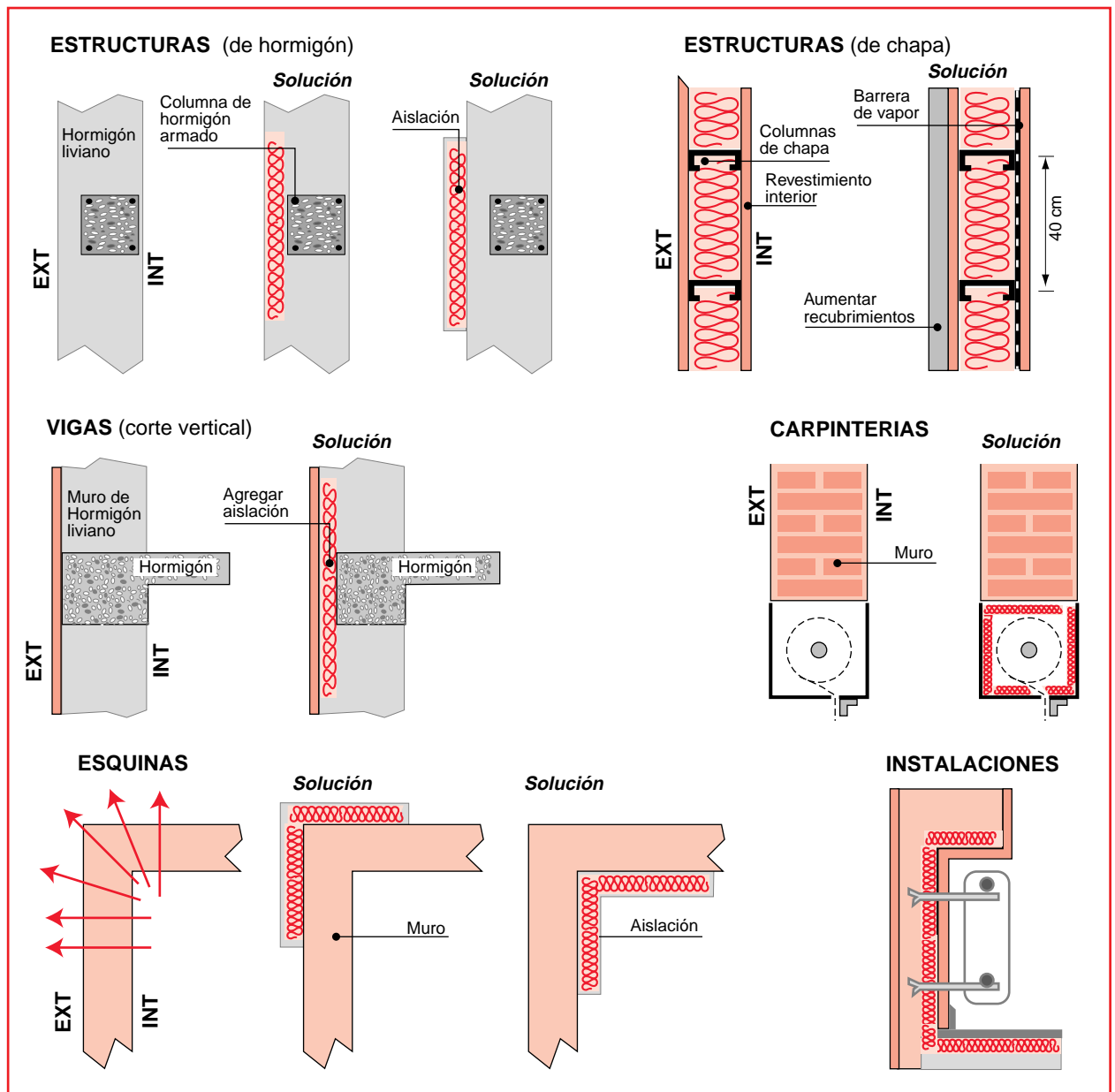


Fig. 60: Paredes con puentes térmicos

En general se debe buscar cubrir con aislamiento la estructura, Las esquinas son un caso típico pues aunque se mantenga la aislación del muro, el hecho de tener más superficie de pérdida de calor hace que las temperaturas disminuyan en esos ángulos.

Las estructuras metálicas plantean continuamente puentes térmicos, se puede separar los perfiles de los revestimientos. O poner revestimientos de un espesor mayor.

Una práctica saludable es la que se ve en **fig. 61**, don-

de si bien no se trabaja sobre el puente térmico en sí la continuidad de la barrera de vapor libera a la estructura metálica de cualquier posible condensación.

Techos: Ver **fig. 62**.

Al igual que en los muros la estructura provoca puentes térmicos.

Las soluciones mas sencillas pasan por los áticos ventilados. Ver **fig. 63**.

3. Ahorro de energía en edificios.

Coeficiente G

Norma IRAM 11604/90.

(Esta Norma está en revisión desde 1998 y próxima a su aprobación)

Las normas de aislamiento térmico que deben cumplir los techos, muros y suelos de los edificios, proporcionan las exigencias que deben ser satisfechas para alcanzar condiciones ambientales interiores de bienestar y evitar condensaciones. Sin embargo, estas exigencias no consideran el gasto de energía necesario para conseguir esos niveles de confort térmico. Para cubrir ese aspecto la Norma IRAM 11604 define el coeficiente “G” de pérdida de calor.

El objeto entonces de la Norma es **“fijar las condiciones técnicas de ahorro de energía en edificios destinados a vivienda que posean equipos de calefacción”**.

Alcance de la Norma:

Por comparación con los valores máximos establecidos se verifica que el “G” obtenido no los supere, cumpliendo así las condiciones de ahorro energético.

Aplicación de la Norma:

Como es lógico las zonas de aplicación serán aquellas en las que las temperaturas reinantes exteriores hagan necesario el uso de calefactores. Para definirlas concretamente se hace obligatoria su aplicación en las zonas bio-ambientales III, IV, V y VI y las localidades donde se superen los 900 grados-días.

Definiciones y términos en el cálculo de “G”

La evaluación de un edificio desde su comportamiento de uso energético se hace en función del valor de “G” ya mencionado y este se define como **“la energía perdida por un local calefaccionado (edificio) por unidad de tiempo, unidad de volumen y unidad de diferencia de temperatura en régimen estacionario, cuando se quiere mantener la temperatura interior elegida”**.

En la Argentina esa temperatura es la de 18°C. La unidad de medida es watt por metro cúbico kelvin (o grado centígrado): W/m^3K o $W/m^3^{\circ}C$.

El valor de G representa las pérdidas de calor por los componentes del edificio y cuando no supera el G máximo admisible cumplirá con el ahorro energético buscado.

Se consideran entonces las pérdidas de los muros y techos que dan al exterior y las que se producen en los

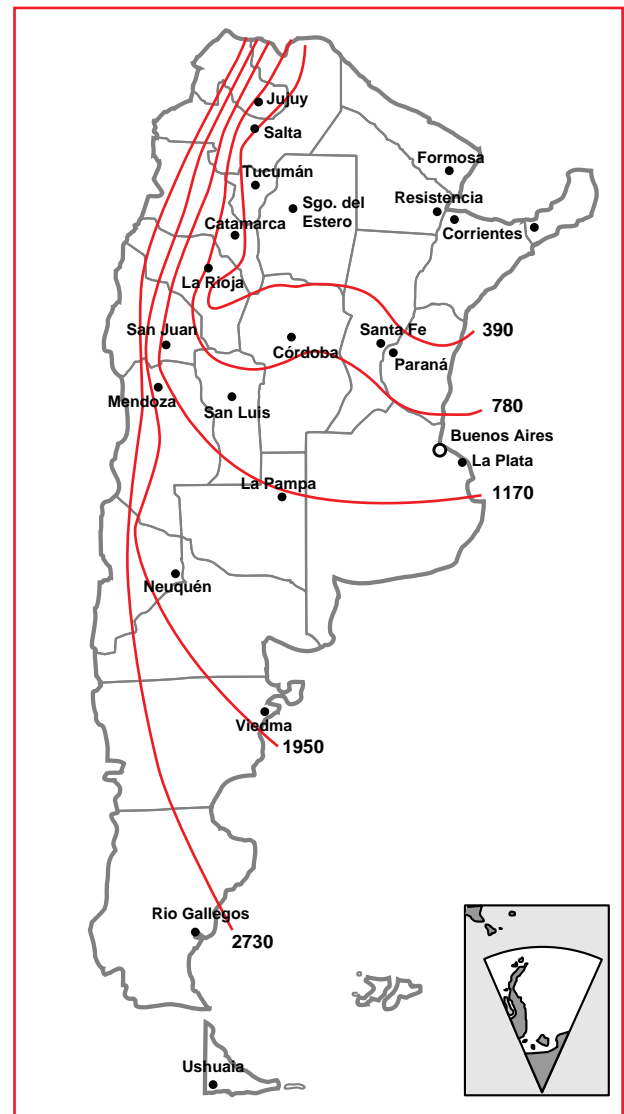


Fig. 64: Líneas de igual cantidad de Grados Día para el periodo frío

pisos por su contacto con el terreno natural. Las superficies interiores de estos cerramientos conforman la llamada **envolvente del edificio calefaccionado** y es la que recibe el calor emitido por la calefacción. La intersección de la envolvente con el plano de la superficie del terreno es el **perímetro interior** de la planta del edificio (**P**).

Vale también hacer una referencia a la importancia que en este caso tiene, cuándo no, el diseño. Análogamente a lo que sucedía en el caso de los sismos, aquí también el diseño compacto favorece el ahorro de energía.

Tomemos por ejemplo dos plantas de viviendas que tienen un superficie cubierta de 144 m². Una rectangular de 8x18 m y otra cuadrada de 12x12 m. El perímetro de la primera es de 52 m y el de la segunda de 48 m. Si las

dos tienen la misma altura interior de 2.50 m. La primera en muros tendrá que aislar las pérdidas de 130 m² y la segunda sólo 120 m². Algo similar sucede con los pisos en contacto con el terreno donde la diferencia de perímetros exige más aislación cuando la planta es más alargada. En zonas frías se deben buscar diseños compactos.

Volumen (V):

Para el cálculo teórico es el volumen que corresponde a la envolvente, excluyendo los subsuelos y según el criterio que se adopte, los locales externos.

La suma de los "K" de los muros, techos y pisos, juntamente con los de puertas y ventanas multiplicados por sus superficies y dividido todo por el Volumen V constituyen el primer término de la fórmula que da el "G". El segundo término son las renovaciones de aire.

La calidad de la aislación regulará el flujo de calor que escapa y que hay que reponer, a mejor aislación menores pérdidas.

Grados-día (°D):

Es la suma de las diferencias de temperatura, entre 18°C y la media horaria diaria de los días del año en que el promedio es menor que 18 °C.

$$^{\circ}\text{D} = \Sigma (18^{\circ}\text{C} - \text{T}^{\circ}\text{C exterior días } < 18^{\circ}\text{C})$$

En el mapa de la **figura 64**, de la Norma IRAM 11603, se señalan las líneas de igual cantidad de °D para el período frío.

La Norma IRAM 11604 no se aplica en las zonas bioambientales "I" y "II", muy cálida y cálida respectivamente, con la excepción de lugares donde el número de grados-día superen los 900.

El máximo de °D, con registros, en la zona continental corresponde a la localidad del Cristo Redentor en la provincia de Mendoza, con 7128 °D. Buenos Aires tiene 1035 °D y Ushuaia 4500.

Valores de G admisibles

La tabla de la **Figura 66** da en función del volumen del edificio y de las curvas de grados-días, en ordenadas el valor máximo admisible del coeficiente volumétrico "G". Por ej., un edificio de 1000 m³ de volumen en Buenos Aires (1035°D) no deberá tener un G mayor 2.2 W/m³°C.

Factor de corrección de transmisión de calor: γ

Que los muros al exterior den a un local calefaccionado o no, o directamente al ambiente exterior hacen variar los valores del coeficiente "G". La norma excluye a los locales de subsuelo y deja a criterio del proyectista la inclusión en la envolvente de los locales calefaccionados externos.

Provincia	Localidad	ZONA bioambiental	t MA (°C)	°D Gr. día	Viento Veloc. media (km/h)	Factor terr. (*) α
Buenos Aires	Buenos Aires	III b	16.9	1035	11	0.38
	Azul	IVc	13.8	1701	17	0.89
	Balcarce	IVc	13.8	1617	16	0.94
	Dolores	IVd	14.9	1200	18	0.93
	Fortín Mercedes	IVc	14.6	1350	18	0.91
	Junín	III a	16.0	1050	13	0.69
	Las Flores	IIIa	15.3	1155	7	0.84
	Mar del Plata	IVd	13.7	1440	17	1.00
	Nueve de Julio	III a	15.8	1140	15	0.69
	Patagones	IV	14.1	1485	22	0.95
	Pergamino	III a	16.1	1050	18	0.65
	San Miguel	III b	16.1	1045	11	-
	Trenque Lauquen	III a	15.9	1170	21	0.65
	Tres Arroyos	IVc	14.0	1638	12	0.88
Córdoba	Bell Ville	III a	16.5	990	22	0.54
	Córdoba	III a	17.4	720	12	0.30
	Pilar (Córdoba)	III a	16.8	804	17	0.54
	Río Cuarto	III a	16.0	1095	28	0.66
	Villa Dolores	III a	17.8	744	9	0.10
Chubut	Com. Rivadavia	V	12.6	2184	39	0.89
	Esquel	VI	9.0	3060	31	1.00
	Sarmiento	V	10.8	2268	27	1.00
	Trelew	IVc	13.5	1638	22	0.99
Jujuy	La Quiaca	V	9.4	3096	18	1.00
	Jujuy	III b	17.0	540	9	0.67
La Pampa	General Acha	IV b	15.3	1320	17	0.74
	Macachín	IV c	15.4	1320	18	0.71
	Santa Rosa	III a	15.5	1290	14	0.70
	Victorica	III a	15.7	1245	10	0.67
Mendoza	Cristo Redentor	VI a	-1.8	7128	34	0.92
	Mendoza	IV a	15.7	1245	8	0.67
Neuquén	Chos Malal	IV b	13.5	1827	26	0.89
	Las Lajas	V	12.5	2121	7	1.00
Río Negro	Cipoletti	IV b	13.6	1674	15	0.88
	Cnel. J. J. Gómez	IV c	14.6	1680	16	0.73
	Choele Choel	IV c	15.7	1275	13	0.65
	San Antonio O.	IV c	15.1	1260	12	0.83
	S. C. de Bariloche	VI	8.3	3240	10	1.00
Salta	Salta	III a	16.2	720	-	0.90
San Juan	San Juan	III a	17.2	996	13	0.29
San Luis	San Luis	III a	16.6	924	14	0.55
Santa Cruz	Pto. Santa Cruz	VI	8.5	3120	24	1.00
	Río Gallegos	VI	6.8	4032	28	1.00
Santa Fe	Casilda	III a	16.5	960	10	0.56
	Rosario	III b	15.8	930	13	0.85
T. del Fuego	Ushuaia	VI	5.5	4500	24	1.00

*: Para la corrección por inercia se da como valor máximo α = 1.00
Fig. 67: N. IRAM 11603 y 11604 -Valores para el cálculo de "G"