



faud

Instalaciones 2B

#### SILVINA ANGIOLINI

Es arquitecta egresada de la Universidad Nacional de Córdoba, magíster en Docencia Universitaria por la Universidad Tecnológica Nacional. Actualmente se desempeña como Profesora Titular y Adjunta en la carrera de grado de arquitectura. Posee publicaciones en revistas, capítulos de libros, es coautora del libro Acondicionamiento Natural y autora de 10 Recomendaciones para diseñar viviendas en el clima de Córdoba. Participó en múltiples proyectos de investigación referidos al hábitat y energía. Actualmente dirige un proyecto de investigación de SECyT UNC.

#### ARTURO MARISTANY

Es arquitecto, por la Universidad Nacional de Córdoba, Doctor en Ingeniería Acústica, Universidad Politécnica de Madrid y Magíster en Energías Renovables, Aplicaciones en la Construcción, UNIA, España. Director del Centro de Investigaciones Acústicas y Luminotécnicas CIAL-UNC. Actualmente Profesor Titular Dedicación Exclusiva de la FAUD- UNC y Profesor a cargo de módulos de carreras de posgrado. Director de la Especialización en Tecnología Arquitectónica. Director de proyectos de investigación, tesis y becarios. Presentación y publicación con referato de trabajos en Congresos y revistas especializadas. Miembro del Honorable Consejo Superior de la Universidad Nacional de Córdoba.



CALOR, ENVOLVENTES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

# CALOR, ENVOLVENTES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

Autores: Arturo Maristany  
Silvina Angiolini



## AUTORIDADES UNC

Rector:

**Dr. Hugo Oscar Juri**

Vicerrectora:

**Dr. Ramón Pedro Yanzi Ferreira**

Secretario General:

**Ing. Roberto Terzaroli**

Prosecretario General:

**Ing. Agr. Esp. Jorge Dutto**

Secretaria de Asuntos Académicos:

**Dra. Mirta Spadillero De Lutri**

Secretario de Planif. y Gestión Instituc.:

**Arq. Elvira Fernández**

Secretario de Asuntos Estudiantiles:

**Lng. Agr. Leandro Carbelo**

Secretario de Ciencia Y Tecnología:

**Dra. Miriam Strumia**

Secretaria de Extensión Universitaria:

**Dr. Gustavo Irico**

Secretaria de Relac. Institucionales:

**Ing. Agr. Marcelo Conrero**

Prosecretario de Relac. Internac.:

**Dra. Miriam Carballo**

Prosecretaria de Comunic. Instituc.:

**Mgter. Gustavo Mathieu**

Prosecretario de Informática:

**Ing. Alfredo M. Montes**

## AUTORIDADES FAUD

Decano:

**Arq. Ian Dutari**

Vicedecano:

**D.i. Daniel Capeletti**

Secretario General:

**Arq. Marcos Ardita**

Secretaria Académica:

**Arq. Carolina Ferreira Centeno**

Sub Secretaria Académica Arquitectura:

**Arq. Cecilia Bergero**

Subsecret. Académ. Diseño Industrial:

**Di. Romina Andrea Tártara**

Secretario De Investigación:

**Arq. Hugo Peschiutta**

Secretario De Extensión:

**Arq. Germán Baigorri**

Subsecretario De Extensión:

**D.i. Marisa Navarro**

Secretaria De Asuntos Estudiantiles:

**Arq. Cecilia Chiosso**

Directora Escuela De Graduados:

**Arq. Dra.cecilia Marengo**

## HONORABLE CONSEJO DIRECTIVO

Consejeros Titulares

**Celina Caporossi/ Elvira Fernandez**

**Diego Ceconato/ Mariela Marchisio**

**Federico De La Fuente/ Eduardo Bellitti**

**Maria Celeste Guerrero/ Silvina Mocci**

**Marcos Barboza/ Natalia Borello**

**Martin Lemma/ María José Antuña**

**Arturo Maristany/ Florencia Del Rio**

**Samuel Segue/ Juan Scarpaci**

**Juan Manuel Villanueva/ Leandro Iturrioz**

**Micaela Barbero**

Consejeros Suplentes

**Fernando Rosellini/ Juan Manuel Bergallo**

**Fernando Díaz/ Santiago Copertari**

**Mariana Inardi/ Sergio Priotti**

**Javier Parra/ Emiliano Inardi**

**Cristina Debat/ Denisse Gari Jonneret**

**Marta Luisa Brossa/ Osvaldo Fernandez**

**Paula Mendez/ Valentin Sahar**

**Mariano Mendoza/ Franco Mantovani**

**Ariel Garzon /Diego Veglio**

**Ines Girelli**

ESTU  
DI  
DES  
ORDEN

Diseño editorial:

Scully Mariana

<https://scullymariana.myportfolio.com/>

Este libro fue impreso dentro  
del Programa DIFUNDIR LO  
QUE PENSAMOS Y HACEMOS

SEC  
ACA  
Secretaría  
Académica

Maristany, Arturo

Calor, envolventes y eficiencia energética / Arturo Maristany ; Silvina Angiolini ; ilustrado por Sebastián Martín. - 1a edición para el alumno - Córdoba : Editorial de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Córdoba, 2017.

102 p. : il. ; 21 x 21 cm.

ISBN 978-987-1494-94-1

1. Arquitectura . 2. Conservación de Energía. 3. Ambiente. I. Angiolini, Silvina II. Martín, Sebastián, illus. III. Título.

CDD 720

---

**Instalaciones 2B**

# **CALOR, ENVOLVENTES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA**

---

**Autores: Arturo Maristany  
Silvina Angiolini**

**Los autores quieren reconocer a  
Sebastián Martín, alumno adscrito  
de Instalaciones 2b, por la  
colaboración con las ilustraciones.**

# CONTENIDO

## C1

Eficiencia  
Energética y  
Sustentabilidad

---

06

## C2

Calor -  
Psicrometría -  
Confort

---

24

## C3

Comportamiento  
higrotérmico  
de materiales  
y elementos de  
construcción

---

46

## C4

Estimación de  
Cargas Térmicas

---

78

## C5

Consideraciones  
Finales

---

98

**Eficiencia  
Energética y  
Sustentabilidad**

@

1

***Arquitectura, Energía y Ambiente: La problemática energética. El uso de las energías convencionales. Reducción de la demanda de energía.***

***Diseño arquitectónico y ahorro de energía: Normativa Nacional. La aplicación de las Normas. Definiciones. Clasificación Bioambiental. Características y recomendaciones de diseño según zona bioambiental. Datos climáticos para el diseño y evaluación del comportamiento térmico de edificios.***

# 1.1 ARQUITECTURA, ENERGIA Y AMBIENTE

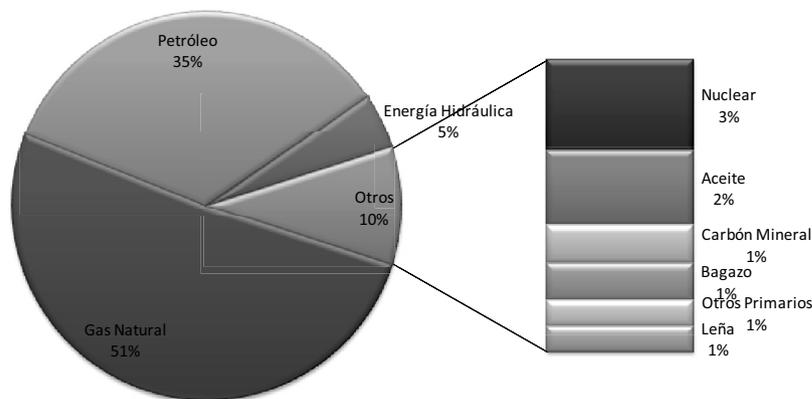
## La problemática energética

La arquitectura es una de las disciplinas que más afectan y transforman el medio. Las ciudades y el hábitat construido constituyen sistemas artificiales, que demandan del medio todo lo necesario para su realización, y su funcionamiento, afectándolo aún con posterioridad a su vida útil. El medio edificado, que proporciona al ser humano funciones y servicios de tipo físico, espacial, social, cultural, etc., constituye un elemento artificial del ecosistema, pero que se vale del mismo para poder subsistir.

Según los datos arrojados por la Dirección General de Estadísticas y Censos (2012) de la Provincia de Córdoba del total de energía consumida en los tres últimos años, el sector residencial representa el 41% del consumo de energía eléctrica y el 27% del consumo de gas natural,<sup>1</sup> que se destina principalmente para el acondicionamiento térmico de los edificios. Investigaciones desde el seno de la arquitectura confirman lo que dan origen a las estadísticas: Predomina en nuestro medio el paradigma del despilfarro energético, no incorporándose a las responsabilidades profesionales criterios de sostenibilidad para la producción de los edificios. En la concepción del edificio se evalúa predominantemente sólo el costo de construcción sin considerar lo que demandará el edificio para su funcionamiento. Aún si se considera sólo el costo ini-

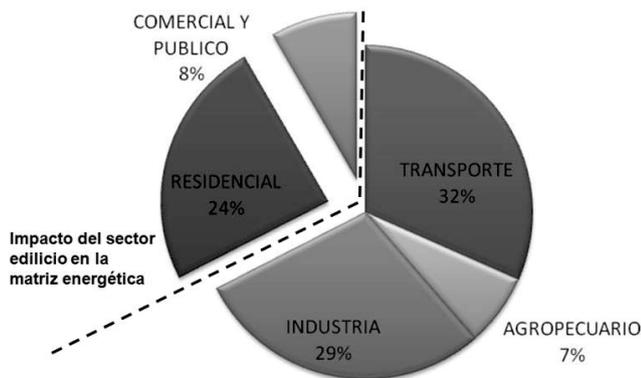
cial de la envolvente, se presentan paradojas de la utilización de envolventes de mayor costo, pero ineficientes por un incorrecto diseño<sup>2</sup>.

A través del tiempo el impacto de la arquitectura sobre el ambiente fue cambiando hasta llegar hoy a límites insospechados. La necesidad de cobijo y protección, uno de los primeros generadores de la arquitectura, fue reemplazada para dar nuevos significados a la misma y convertirse, en algunos casos, en un bien de consumo. A medida que la industria parecía poder solucionar todo en arquitectura, y a precios más accesibles, la misma relegó los controles logrados con gran inteligencia por la arquitectura primitiva o vernácula.



## El uso de energías convencionales

A pesar de la concientización sobre la finitud de los recursos sobre la que basamos nuestros consumos, la demanda de energía de nuestros edificios mantiene una curva creciente, acompañada con el impacto ambiental consecuente. En Argentina la matriz energética se basa en combustibles de origen fósil con una fuerte dependencia en petróleo y gas natural, representando estos el 86% del total según el balance energético nacional (2012). A nivel mundial ocurre algo similar, el consumo está basado en petróleo, carbón y gas natural en un 81%, existiendo la presencia de energías renovables en un porcentaje ínfimo.



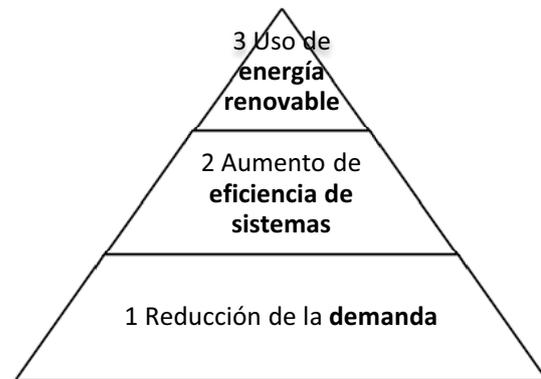
En Argentina en contraposición a las tendencias de consumo, las reservas de hidrocarburos registran una disminución importante desde el año 2000 al 2009, el gas natural registra una caída del 50% de las reservas comprobadas, acompañadas con un incremento en la producción.

El sector edilicio requiere del 32% total de la energía consumida en el país, al igual que el transporte, siendo ese valor superior a lo que consume la Industria.

El sector residencial y de servicios representa uno de los mayores consumidores de energía.

Numerosas investigaciones afirman que del total de energía requerido por los edificios para su funcionamiento, más del 70% se emplea para acondicionar. Dependiendo del clima, y de la estación del año básicamente se emplea para enfriar o calefaccionar. Siendo un porcentaje menor el destinado a iluminación, funcionamiento de equipos y calentamiento de agua sanitaria.

## Reducción de la demanda y Eficiencia Energética



Los Edificios capaces de reducir sus requerimientos energéticos son aquellos que gracias a su diseño reducen las necesidades y que poseen instalaciones concebidas para minimizar el gasto energético, mediante sistemas de alta eficiencia e incorporación de energías alternativas.

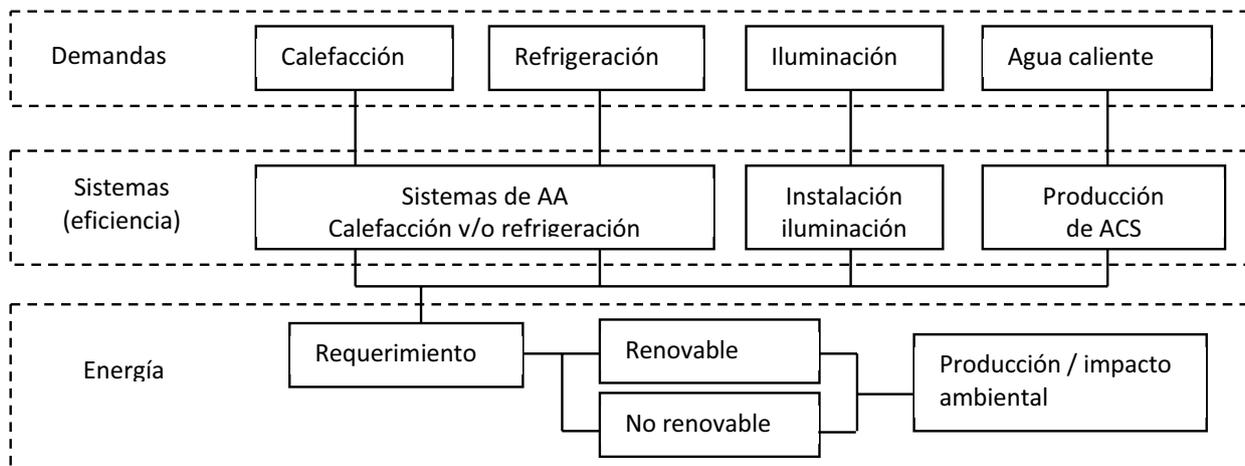
La Reducción de la demanda se convierte en la primera estrategia para que el edificio sea eficiente. El principio de reducción de la demanda se establece en

la disminución de los requerimientos de la energía necesaria, desde la etapa de proyecto del edificio. La segunda estrategia es lograr la eficiencia en los sistemas que aportan al confort. La tercera estrategia consiste en el uso de energías renovables para cubrir parte de la demanda. El uso de este tipo de energías disminuyen los impactos sobre el ambiente.

La cantidad de energía necesaria para mantener un edificio bajo condiciones de confort depende del diseño y del uso, ambos aspectos son los responsables de determinar la demanda. Demanda que proviene fundamentalmente de los sistemas de calefacción y refrigeración, y en menor medida de iluminación, agua caliente, cocción y otros.

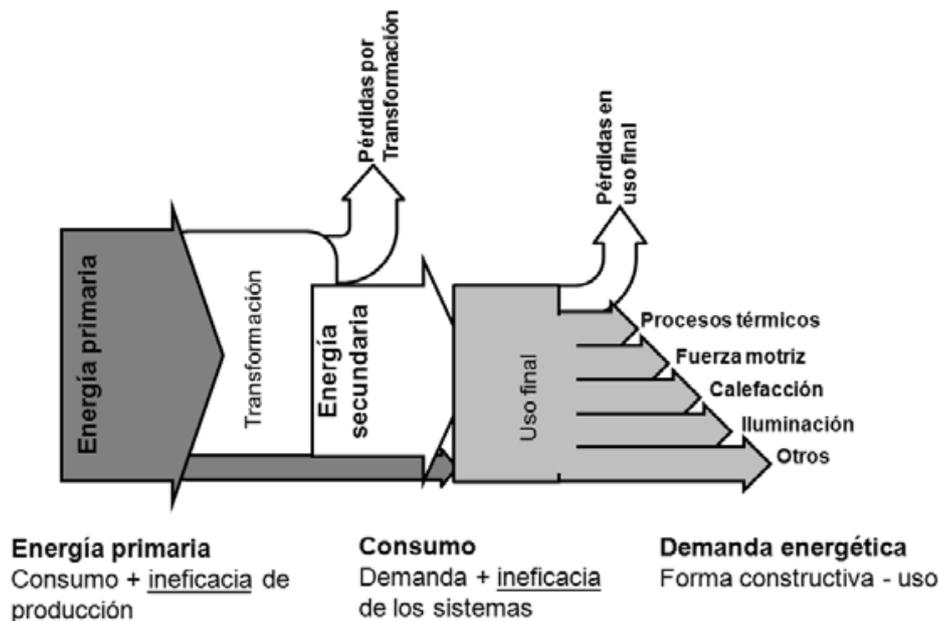
captación solar, la ventilación, la inercia térmica. La incorporación de las energías renovables básicamente disminuyen el impacto por sobre el uso de energías no renovables. Las instalaciones en general, y particularmente las destinadas al acondicionamiento ambiental, deben estar orientadas a desarrollar máximas condiciones de confort con el mínimo consumo de energía e impacto sobre el medio ambiente.

La eficiencia energética puede definirse como “el conjunto de acciones que permiten optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos”. Si el servicio final es el acondicionamiento ambiental para lograr una determinada condición de confort será más eficiente aquel edificio que lo logre con el menor consumo de energía.



Ante este escenario la opción razonable es disminuir al máximo la demanda, es fundamental actuar donde el consumo es mayor y es de menor eficacia actuar sobre los usos menos relevantes. La limitación de la demanda se relaciona con el diseño en relación al emplazamiento, la orientación, el aislamiento, la

“Ahorrar energía ha dejado de ser ya una opción para convertirse en una necesidad para frente al déficit originado por el incesante aumento del consumo y utilizarla eficazmente constituye la alternativa mas efectiva para la protección medio ambiental”<sup>2</sup>



El control del consumo energético puede ser estudiado a partir de los siguientes parámetros:

- Disminuir los requerimientos de energía desde el proyecto del edificio.
- Aislamiento y zonificación.
- Uso de fuentes de energías alternativas renovables.
- Aprovechamiento de energía residual (cogeneración)
- Incremento de la eficiencia energética de los sistemas termomecánicos.
- La limitación de la demanda de energía puede ser analizada desde los siguientes aspectos relacionados con el diseño:
- Aislando las envolventes que estén afectadas a las ganancias y pérdidas de calor.
- Zonificando las áreas de mayores requerimientos de confort y las de servicios que actúen de fuelle o tapón.
- Aprovechamiento de las orientaciones
- Evitar el ingreso de radiación solar en épocas estivales.
- Permitir la ganancia de energía solar en épocas de baja temperatura.
- La presencia de elementos con inercia térmica

Cuando el edificio reduzca sus necesidades de energía a las mínimas se deberá pensar en Incremento de la eficiencia energética de los sistemas termomecánicos.

“Sin embargo, para que pueda dar respuestas a las condiciones variables que se producen durante su utilización... es aconsejable incorporar sistemas activos cuyo funcionamiento implica un intercambio complejo de recursos y energías con el ambiente y las redes de servicios que deberían considerarse desde la implantación del edificio y a lo largo de su vida útil.”<sup>3</sup>

La técnica de los sistemas de acondicionamiento ha evolucionado de manera importante, haciendo hincapié principalmente en la reducción del consumo de energía, en la búsqueda de equipos más eficientes. En este orden se destacan los sistemas de recuperación de calor, como el free-cooling, o de cogeneración que permiten aprovechar el calor residual de un proceso. O bien sistemas como el de volumen de refrigerante variable (VRV) que permite regular el sistema de manera sectorial en función de la demanda.

“hay que recordar que los sistemas de acondicionamiento son los principales consumidores de energía en los edificios, pero de poco sirve colocar la instalación mas eficiente del mercado si los cerramientos, la orientación o el diseño pasivo del edificio son inadecuados”.<sup>4</sup>

El cada vez mayor desarrollo tecnológico de los sistemas termomecánicos HVAC implica muchas veces la necesaria participación de especialistas. El arquitecto posee la ventaja de la visión global del hecho arquitectónico, lo cual le permite abordar un diseño energético integral. Frente a esta situación es necesario brindar las bases conceptuales esenciales en lo referente a sistemas de acondicionamiento ambiental artificial y su relación y articulación con los conceptos del uso racional de energía y el diseño arquitectónico sustentable.

Como estrategia a seguir se presentará el Uso de fuentes de energías alternativas renovables. y Aprovechamiento de energía residual (cogeneración).

# 1.2 DISEÑO ARQUITECTONICO Y AHORRO DE ENERGIA

## Normativa Nacional

Las normas en general permiten favorecer la promoción de edificios energéticamente eficientes e informar a los consumidores sobre las características de desempeño ambiental de los edificios. En Argentina contamos con las normas desarrolladas por el Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM).

En el esquema normativo actual en la Argentina se cuenta, desde hace varios años, de normas orientadas a la eficiencia energética, principalmente en los campos del confort higrotérmico y en menor medida

en la iluminación artificial y natural. En relación a la edificación, las mismas establecen recomendaciones, criterios y límites de referencia en cuanto al comportamiento del edificio, teniendo en cuenta el clima local, y asegurando condiciones mínimas de habitabilidad. En la tabla se listan las normas disponibles de confort higrotérmico y eficiencia energética, con referencia a sus contenidos y orientación: indicación de técnicas de cálculo y verificación, bases de datos o formulación de requisitos.

NORMA	CONTENIDO					
IRAM 11549	Magnitudes, símbolos y unidades	General	Parámetros climáticos de la República Argentina	Datos	Asoleamiento	Requisitos
IRAM 11603	Clasificación Bioambiental de la República Argentina					
IRAM 11601	Cálculo de la resistencia térmica total	Cálculo y Verificación	Propiedades térmicas de los materiales			
IRAM 11604	Cálculo de las Pérdidas globales de calor G					
IRAM 11659	Ahorro de energía en refrigeración					
IRAM 11605	Verificación de Puentes térmicos					
IRAM 11625/ 11630	Verificación de riesgo de condensación superficial					
IRAM 11900	Etiquetado de Eficiencia Energética de calefacción para edificios					

En el área específica de la sustentabilidad y relacionada con la construcción, en el año 2010 es aprobada la IRAM 11930 “Construcción Sostenible-Principios Generales”. La misma establece los principios generales para la sustentabilidad en la construcción de edificios. Se aplica al ciclo de vida de los edificios y otras obras desde su concepción hasta el fin de su vida, incluyendo materiales, productos, servicios o procesos relacionados. La norma aclara que usa el término sostenible como sustentable, siendo la primera de una serie de normas referidas a la sustentabilidad, aún en estudio. En este grupo se pueden mencionar: La IRAM 11931 (2014), “Construcción Sostenible. Sostenibilidad en edificios y obras de ingeniería civil. Guía sobre la aplicación de los principios generales de la IRAM 11930” (2010); La IRAM 21931 (2012), “Marco de referencia para los métodos de evaluación del desempeño ambiental de las obras de construcción. Parte 1-Edificios” y la IRAM 21929 (2014), “Construcción Sostenible. Indicadores de sostenibilidad. Parte 1-Edificios”. Esta última norma establecerá un conjunto fundamental de parámetros para tener en cuenta en el uso y desarrollo de indicadores de sostenibilidad con el objeto de evaluar el desempeño de los edificios nuevos o existentes, relativos a su diseño, construcción, operación, mantenimiento, reforma y final de vida.

La IRAM 21931-1: 2012, establece el marco de referencia para los métodos de evaluación de desempeño ambiental de las obras de construcción, la misma excluye los métodos de evaluación del desempeño social y económico.

La IRAM 21929(2014) es importante ya que está orientada a fijar los indicadores de sustentabilidad. El esquema de la norma plantea los impactos de un edificio en las áreas de protección como los siguientes: emisiones al aire, uso de recursos no renovables, con-

sumo de agua potable, generación de residuos, cambio de uso del suelo, acceso a los servicios, accesibilidad, condiciones y calidad del aire interior, adaptabilidad, costos, capacidad de mantenimiento, seguridad, funcionalidad y calidad estética, en referencia a como impactan en las distintas áreas de protección. Esta Norma define con gran claridad, los impactos de la arquitectura, los indicadores de la sustentabilidad en arquitectura, y los procesos y etapas en los cuales deben ser evaluados.

## La aplicación de las Normas

En nuestro País las normas no son de aplicación obligatoria, excepto que un organismo de gobierno las incluya como obligatorias dentro de su propia reglamentación: leyes específicas a nivel nacional o provincial o en los códigos de edificación a nivel municipal. Generalmente estos últimos no tienen en cuenta la eficiencia energética de los edificios, el uso de energías renovables, ni el uso de sistemas pasivos.

La obligatoriedad de las IRAM a nivel nacional implicaría una reducción importante en la demanda de energía y un descenso de los impactos negativos de la arquitectura. Por otro lado las normas están redactadas por un grupo amplio de expertos y especialistas en el área lo cual avala la idoneidad técnica de las recomendaciones y el amplio consenso alcanzado.

El código de edificación de la ciudad de Córdoba por el momento establece, a través de la ordenanza 9387/95, cómo obligatorio el cumplimiento de las siguientes IRAM:

IRAM 11601: Aislamiento Térmico de Edificios. Método de Cálculo. 2002

IRAM 11603: Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación Bioambiental de la República Argentina. 1996

IRAM 11604: Aislamiento Térmico de Edificios. Verificación de sus condiciones Higrotérmicas. Ahorro de energía en Calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites. 1990

IRAM 11605: Acondicionamiento Térmico de Edificios. Condiciones de Habitabilidad en edificios. 1996

Quedando sin incluir aún:

- IRAM 11625 y 30: Aislamiento térmico de Edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Verificación del Riesgo de Condensación de vapor de agua superficial e intersticial. 2000

- IRAM 11659-1: Aislamiento térmico de Edificios Verificación de sus condiciones higrotérmicas Ahorro de energía en Refrigeración. Parte 1 Vocabulario definiciones. 2004.

- IRAM 11659-2: Aislamiento térmico de Edificios Verificación de sus condiciones higrotérmicas Ahorro de energía en Refrigeración. Parte 2 Viviendas. 2007

- IRAM 11900: Etiqueta de Eficiencia Energética de calefacción para edificios. Clasificación según la transmitancia térmica de la envolvente. 2010

Como consecuencia de la falta de control, ya que ningún organismo vinculado a la construcción las solicita ej. Colegios profesionales, Municipios, Entes financiadores etc. la mayoría de los profesionales no las verifican y en algunos casos ni son mencionadas en la formación de los arquitectos.

La Provincia de Buenos Aires mediante la ley 13059 es pionera en declarar el cumplimiento obligatorio de las IRAM en edificios para ocupación humana:

- 11604 Coeficiente G de pérdidas volumétricas máximas admisibles.

- 11605 Transmitancia térmica K mínima admisible y nivel B, muros y techos.

- 11625 Control de condensación superficial e intersticial, centro de paños.

- 11530 Control de condensación en puntos singulares.

- 11507-4 Carpintería de obra. Ventanas exteriores. Aislación térmica.

En relación a las Normas queda aún un gran campo por desarrollar y es probable que este proceso deba ser acompañado por los profesionales de la construcción, la Universidad y los organismos de control y gestión. No obstante permanentemente se siguen evaluando y aprobando normas relativas a la calidad y eficiencia en la construcción. De acuerdo con Evans<sup>4</sup> “La introducción de normas de eficiencia energética o calidad ambiental puede requerir un nuevo marco legislativo para implementación a nivel nacional.” Otros países en la región, Brasil y Chile poseen normas más avanzadas, de cumplimiento obligatorio sobre eficiencia energética en edificios.

La presencia de las Normas en la formación de los arquitectos es de gran importancia y en su uso radica la importancia de una herramienta fundamental validada para incorporar los conceptos, indicadores, estándares mínimos y variables de diseño referidas a la sustentabilidad edilicia.

## Definiciones

**Clima:** Estado medio de la atmósfera, representado por el conjunto de los elementos y fenómenos meteorológicos referidos a un período de 30 años, y por las variaciones periódicas, y el desarrollo normal del tiempo en el transcurso del año.

**Clasificación bioambiental:** Zonificación general que está basada en la combinación de parámetros meteorológicos, referentes a la interacción hombre – vivienda - clima.

**TEC (Temperatura efectiva corregida):** Índice empírico de confort que tiene en cuenta el efecto combinado de la temperatura de bulbo seco, la temperatura de bulbo húmedo (temperatura radiante media) y la velocidad del aire. Es una medida de la temperatura operativa. Los valores de TEC se utilizaron para la clasificación bioambiental y no deben ser utilizados para efectuar balances térmicos destinados a dimensionar instalaciones de aire acondicionado.

**Temperatura operativa:** Temperatura de un recinto imaginario en el cual el cuerpo humano intercambiaría la misma cantidad de calor por radiación y convección que en el ambiente real.

**Amplitud térmica:** Diferencia entre la temperatura máxima media mensual y la temperatura mínima media mensual.

**Días de diseño:** Días típicamente cálidos y fríos

**Valores de diseño:** Valores para el día que se toma como referencia para el diseño. Son los valores de temperatura de diseño para los cuales sólo 8 días al año resultan más críticos que el día típico de diseño.

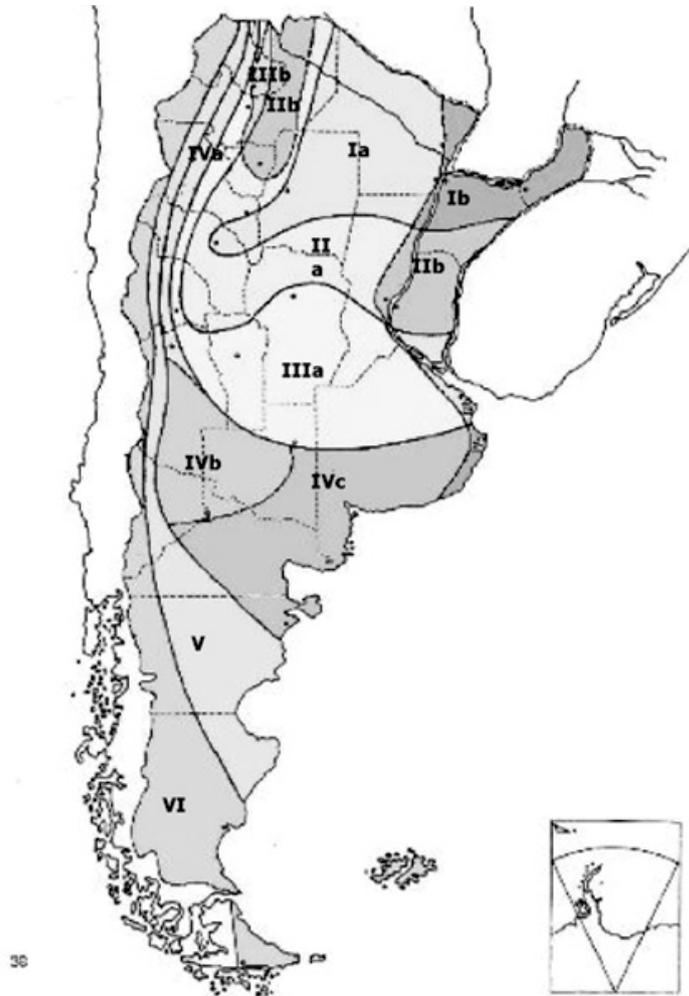
**Grados día:** Suma de las diferencias horarias de la temperatura media del aire exterior inferior a una temperatura base, con respecto a este valor para todos los

días del año. Es un indicador del grado de rigor invernal o estival de una localidad determinada. Se utilizan para determinar la demanda energética en los períodos frío y de calor para llegar al confort. Se fija una temperatura base en grados que puede ser para invierno 18°C, 20°C, o 22°C, o para verano 25°C, 26°C. Cuando la temperatura media diaria es inferior a la temperatura base, se obtiene de la diferencia entre ambas los grados días de calentamiento. Si por el contrario la temperatura media diaria es superior a la base se obtienen los grados días de enfriamiento. La suma de todas las diferencias diarias para el período de invierno en Córdoba para una base de 20°C da 991 GD.

**Microclimas:** Expresiones más localizadas del clima en que se ven modificadas las relaciones de las variables componentes del mismo, y cuyo conocimiento permite un mejor diseño.

## Clasificación Bioambiental según IRAM 11603

- ZONA I – Muy cálido**
- ZONA II – Cálido**
- ZONA III – Templado cálido**
- ZONA IV – Templado Frío**
- ZONA V – Frío**
- ZONA VI – Muy Frío**



Con el objetivo de zonificar el mapa de la República Argentina de acuerdo con un criterio bioambiental, la norma determina las características térmicas, higromé-

tricas y heliofánicas de cada zona. Establece los días de diseño para todo el país y la orientación recomendada de proyecto para las diferentes zonas.

## Características principales de cada zona bioambiental y recomendaciones generales de diseño

Zona I - Muy cálida: Los valores de TEC media, en el día típicamente cálido, son superiores a 26,3°C.

Se extiende en la región centro Este del extremo Norte del país, con una entrada al Sur - Oeste en las zonas bajas de Catamarca y La Rioja. Durante la época caliente todas las zonas presentan valores de temperatura máxima superiores a 34°C y valores medios superiores a 26°C, con amplitudes térmicas siempre inferiores a 15°C.

El período invernal es poco significativo, con temperaturas medias durante el mes más frío superiores a los 12°C

Esta Zona se divide en dos subzonas, a y b, en función de las amplitudes térmicas:

Subzonala: amplitudes térmicas mayores de 14°C

Subzonalb: amplitudes térmicas menores de 14°C

### **Recomendaciones generales de diseño:**

Colores claros en paredes exteriores y techos.

Gran aislación térmica en techos y en las paredes orientadas al Este y Oeste.

Todas las superficies deben estar protegidas a la radiación solar. Para las ventanas si es posible no orientarlas al Este o al Oeste, y minimizar su superficie.

La ventilación cruzada de la vivienda es fundamental.

Deberá considerarse la necesidad de aprovechar los vientos dominantes y la creación de zonas de alta y baja presión que aumenten la circulación de aire.

Zona II – Cálida: Comprende el conjunto de dos angostas fajas del territorio, una de extensión este - oeste, centrada alrededor del paralelo 30° y otra de extensión norte - sur recortada sobre la falda oriental de la Cordillera de los Andes. En esta zona II, el verano es la estación más crítica, con valores de temperatura media superiores a los 24°C y máxima superior a 30°C. Las mayores amplitudes térmicas se dan en esta época del año, con valores que no superan los 15°C.

El invierno es más seco, con bajas amplitudes térmicas y temperaturas medias que oscilan entre 8 y 12 °C.

Esta Zona se subdivide en dos subzonas a y b, en función de las amplitudes térmicas:

Subzonalla: amplitudes térmicas mayores de 14°C

Subzonallb: amplitudes térmicas menores de 14°C

### **Recomendaciones generales de diseño:**

Deberán tenerse en cuenta todas las recomendaciones de Zona I

Zona III - Templada Cálida: Esta Zona tiene igual distribución que la Zona II, con la faja de extensión Este - Oeste centrada alrededor de los 35° y la de extensión Norte - Sur, ubicada en las primeras estribaciones montañosas, al noroeste del país, sobre la Cordillera de los Andes.

Los veranos, relativamente calurosos, presentan temperaturas medias que oscilan entre 20 y 26°C, con máximas medias que superan los 30°C sólo en la faja de extensión Este - oeste.

El invierno no es muy frío y presenta valores medios de temperatura entre 8°C y 12°C, y valores mínimos que rara vez alcanzan los 0°C.

En general, en esta Zona se tienen inviernos relativamente benignos, con veranos no muy calurosos. Esta zona se subdivide en dos subzonas a y b en función de las amplitudes térmicas;

SubzonaIIIa: amplitudes térmicas mayores de 14°C

SubzonaIIIb: amplitudes térmicas menores de 14°C

### ***Recomendaciones generales de diseño:***

Subzona IIIa: Se caracteriza por grandes amplitudes térmicas por lo que es aconsejable el uso de viviendas agrupadas y de todos los elementos y/o recursos que tiendan al mejoramiento de la inercia térmica. Tanto en cuanto a la orientación como a las necesidades de ventilación por tratarse de una zona templada, las exigencias serán menores.

Debe evitarse en lo posible la orientación oeste. Las aberturas deben tener sistemas de protección a la radiación solar. Los colores claros exteriores siguen siendo altamente recomendables.

SubzonaIIIb: Las amplitudes térmicas durante todo el año son pequeñas. Pueden adoptarse las mismas recomendaciones que la zona IIIa.

Zona IV - Templada – fría: Esta zona tiene como límite superior la isolínea de 1170 grados días y como límite inferior la isolínea de 1950 grados días.

Presenta una faja meridional paralela a la correspondiente en la zona III, ubicada en mayor altura de la Cordillera de los Andes y la región llana del centro y sur del territorio, que alcanza la costa atlántica de la Provincia de Bs. As. y Río Negro.

Los veranos no son rigurosos y presentan máximas promedio que rara vez superan los 30°C. Los inviernos son fríos, con valores medios entre 4 y 8°C, y las mínimas medias alcanzan muchas veces valores inferiores a 0°C.

Esta zona se subdivide en 4 subzonas mediante las líneas de amplitud térmica de 14°C y 18°C:

SubzonaIVa: de montaña

SubzonaIVb: de máxima irradiancia

SubzonaIVc: de transición

SubzonaIVd: marítima

### ***Recomendaciones generales de diseño:***

SubzonasIVa y IVb: Es una región de grandes amplitudes térmicas (principalmente en verano cuando se dan las mayores amplitudes para la República Argentina), por lo tanto es importante la necesidad de viviendas agrupadas y de proveer los recursos necesarios para el mejoramiento de la inercia térmica.

SubzonaIVc: Zona de transición que se extiende desde la zona de mayores amplitudes térmicas hacia las de menores.

SubzonaIVd: Las amplitudes térmicas son pequeñas durante todo el año. El alto tenor de humedad relativa caracteriza esta subzona. Se recomienda protección solar eficiente en el verano.

Zona V – Fría: Limitada entre las isolíneas de 1950 y 2730 grados días, comprende una extensa faja de extensión Norte - Sur a lo largo de la Cordillera y la región central de la Patagonia.

Los inviernos son rigurosos, con temperaturas medias del orden de 4°C y mínimas inferiores a 0°C. Los veranos son frescos, con temperaturas medias inferiores a los 16°C.

### ***Recomendaciones generales de diseño:***

Aislación térmica de paredes, pisos y techos será un factor primordial y las ventanas, salvo la orientación Norte serán lo más reducidas posible.

Deberán evaluarse los riesgos de condensación superficial e intersticial y evitarse los puentes térmicos.

Zona VI - Muy fría: Ubicada en la región donde los valores en grados días son superiores a 2730, en consecuencia comprende toda la extensión de las altas cumbres de la Cordillera de los Andes y el extremo sur de la Patagonia, Tierra del Fuego, Islas Malvinas y Antártida.

En verano las temperaturas medias son inferiores a los 12°C, y en invierno tales valores medios no superan los 4°C.

La faja que se extiende al norte del paralelo 37, presenta la rigurosidad propia de la altura.

### ***Recomendaciones generales de diseño:***

Las recomendaciones de Zona V tienen validez en esta Zona, pero en forma más acentuada.

IMPORTANTE: Viviendas al sur del paralelo 38°: Será primordial un diseño urbanístico que posibilite simultáneamente un asoleamiento correcto de las viviendas y una adecuada protección del viento en los espacios comunes, zonas abiertas de recreación y circulaciones peatonales.

La rigurosidad del clima indica la conveniencia de agrupamientos que permitan minimizar las superficies expuestas al exterior.

Viviendas al norte del paralelo 38°: Zona con altos valores de amplitud térmica durante gran parte del año. Se preverán las medidas necesarias para lograr una mayor inercia térmica.

### **Datos climáticos para diseño y evaluación del comportamiento térmico de edificios**

La IRAM 11603 presenta un Anexo de tablas con datos climáticos de 165 estaciones meteorológicas, para su aplicación en las IRAM 11604, 11605 y 11625 y balances térmicos. A continuación se transcriben los datos correspondientes a las estaciones climáticas de la Provincia de Córdoba.

## Datos Climáticos De Invierno

Estación	LAT	LONG	ASNM	T <sub>MED</sub>	T <sub>MAX</sub>	T <sub>MIN</sub>	TD <sub>MD</sub>	TD <sub>MIN</sub>	T <sub>ROC</sub>	T <sub>VAP</sub>	HR	PREC	HELRE	GD <sub>18</sub>	GD <sub>20</sub>	GD <sub>22</sub>
Bell Ville	32.6	62.7	130	10.8	17.9	4.2	6.3	-0.3	5.8	9.9	74	17	0	870	1296	1787
Córdoba	31.4	64.2	425	12	19.5	5.8	7.5	1.3	3.5	8.5	60	10	57	608	991	1449
Córdoba (aero)	31.3	64.2	474	11.3	19.1	5.0	6.8	0.5	3.6	8.6	64	10	61	703	1118	1617
D.Cruz del Eje	30.8	64.8	515	13.0	20.4	7.5	8.5	3.0	5.3	9.5	63	9	0	383	683	1056
Dique La Viña	31.9	65.0	838	10.7	18.3	4.3	6.2	-0.2	2.7	7.6	61	10	0	819	1247	1756
D. Piscohuasi	30.3	64.0	600	11.2	19.4	4.5	6.7	0.0	4.0	8.9	66	14	0	702	1112	1619
Embalse	32.2	64.4	548	10.8	18.0	5.2	6.3	0.7	4.3	8.8	68	10	56	782	1200	1687
Huerta Grande	31.1	64.5	1015	9.1	15.5	4.5	4.6	0.0	3.6	8.2	71	4	0	1281	1844	2555
Laboulaye	34.1	63.4	138	9.7	17.5	3.9	5.2	-0.6	3.7	8.6	71	44	53	930	1359	1858
Marcos Juarez	32.7	62.2	114	10.4	17.9	4.8	5.9	0.3	5.7	9.9	76	17	44	842	1265	1756
Miramar	30.9	62.7	80	12.2	18.3	7.6	7.7	3.1	8.5	11.6	78	15	0	573	926	1354
pilar	31.7	63.9	338	11.0	18.5	5.0	6.5	0.5	3.8	8.7	66	10	60	744	1161	1649
Río Cuarto	33.1	64.3	421	10.0	17.1	4.8	5.5	0.3	2.3	7.9	64	11	57	912	1341	1874
Villa Dolores	32.0	65.1	569	11.5	19.2	5.6	7.0	1.1	1.6	7.4	55	9	64	617	952	1380
Villa María	29.9	63.7	341	12.2	20.0	4.2	7.7	-0.3	5.5	9.6	67	18	0	681	1078	1531

## Datos Climáticos de Verano

Estación	LAT	LONG	ASNM	T <sub>MAX</sub>	T <sub>MED</sub>	T <sub>MIN</sub>	TD <sub>MD</sub>	TD <sub>MX</sub>	TEC <sub>MD</sub>	TEC <sub>MX</sub>	T <sub>ROC</sub>	T <sub>VSP</sub>	HR	PREC	HEL RE
Bell Ville	32.6	62.7	130	30.8	23.6	16.2	23.0	34.3	22.3	25.9	16.5	19.4	68	106	0
Córdoba	31.4	64.2	425	30.7	23.4	17.1	23.4	34.2	22.3	26.2	14.5	17.1	61	107	62
Córdoba (aero)	31.3	64.2	474	29.6	23.0	16.5	22.6	33.1	22.0	25.6	15.7	18.3	67	112	63
D.Cruz del Eje	30.8	64.8	515	32.6	24.9	18.7	25.2	36.1	23.4	27.3	15.4	18.0	59	82	0
Dique La Viña	31.9	65.0	838	30.0	22.4	15.2	22.1	33.5	21.3	25.4	14.2	16.6	62	103	0
D. Piscohuasi	30.3	64.0	600	30.3	22.5	15.5	22.4	33.8	21.4	25.6	15.1	17.7	66	112	0
Embalse	32.2	64.4	548	29.7	22.1	17.0	22.9	33.2	21.4	25.8	15.0	17.6	67	101	62
Huerta Grande	31.1	64.5	1015	26.2	19.2	13.8	19.5	29.7	19.2	23.7	13.8	16.1	73	105	0
Laboulaye	34.1	63.4	138	31.6	23.2	16.0	23.3	35.1	21.8	26.2	14.3	16.8	62	93	68
Marcos Juarez	32.7	62.2	114	30.8	23.1	16.0	22.9	34.3	21.9	25.9	15.9	18.6	67	102	61
Miramar	30.9	62.7	80	31.2	24.0	18.6	24.4	34.7	22.9	26.7	19.3	22.7	76	133	0
pilar	31.7	63.9	338	30.3	22.8	16.5	22.9	33.8	21.8	25.9	15.3	17.9	66	101	65
Río Cuarto	33.1	64.3	421	29.1	22.1	16.4	22.2	32.6	21.5	25.4	13.7	16.2	63	113	64
Villa Dolores	32.0	65.1	569	31.9	24.3	17.6	24.3	35.4	22.9	26.7	13.6	16.	55	94	62
Villa María	29.9	63.7	341	31.7	24.3	16.2	23.5	35.2	22.7	26.3	16.9	19.6	67	123	0

**LAT:** latitud de la estación climática

**LONG:** longitud de la estación climática

**ASNM:** Altura sobre el nivel del mar

**TMAX:** temperatura máxima media [°C]

**TMIN:** temperatura mínima media [°C]

**TMED:** temperatura media [°C]

**TDMD:** temperatura exterior de diseño media [°C]

**TDMN:** temperatura exterior de diseño mínima [°C]

**TDMX:** temperatura exterior de diseño máxima [°C]

**TECMD:** Temperatura efectiva corregida media [°C]

**TECMX:** Temperatura efectiva corregida máxima

**TROC:** Temperatura de rocío

**TVAP:** Temperatura de vaporización

**HR:** Humedad Relativa

**PREC:** Precipitación en mm

**HELRE:** Heliofanía Relativa

**GD18:** Grados día base 18

**GD20:** Grados día base 20

**GD22:** Grados día base 22

## **Referencias**

- 1 Quadri, 2008).
- Quadri, Nestor (2008). Ahorro Energético y Aprovechamiento de la Energía en la Climatización de Edificios. Revista Clima N°214, Octubre de 2008.
- 2 Casado Martínez, 1997).
- Casado Martínez N. et all (1997). Incorporación de Energías Renovables y Sistemas de Alta Eficiencia Energética. Energía.
- 3 Gómez, 2006)
- Gómez, Cesar M. (2006). "Las Instalaciones y la Arquitectura". Tectónica 21. ATC Ediciones SL. Madrid. 2006.
- 4 Evans (2012, p. 1)
- Evans, J. M. (2012). Sustentabilidad edilicia, Normas Nacionales en Argentina. Recuperado de: [http://www.lemma.arq.uson.mx/rab/wp-content/uploads/2012/08/Normas\\_Nacionales\\_ARGENTINAS.pdf](http://www.lemma.arq.uson.mx/rab/wp-content/uploads/2012/08/Normas_Nacionales_ARGENTINAS.pdf)

**Calor -  
Psicrometría -  
Confort**

©

2

***Nociones sobre Calor: Calor. Mecanismos de transferencia de calor. Conducción, convección y radiación. Moléculas y calor. Concepto de temperatura. Unidades y escalas termométricas..Cantidad de calor. Calor total. Calor sensible. Calor Latente.***

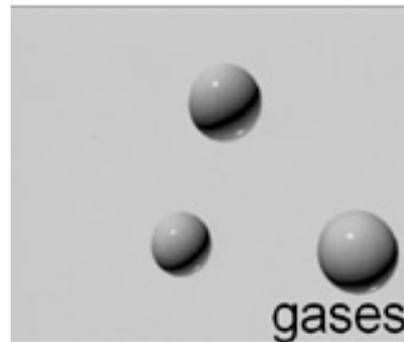
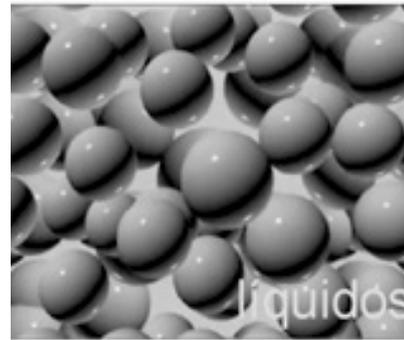
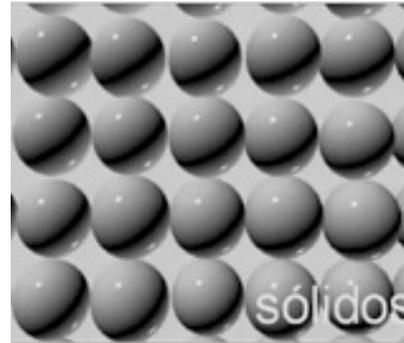
***Psicrometría: Propiedades del aire. Humedades absoluta, específica y relativa. Confort, bienestar térmico y metabolismo.Capacidad aislante de la ropa. Producción de calor metabólico.Efecto de factores ambientales sobre el hombre. Confort térmico y Arquitectura Parámetros Método de Olgyay. Diagrama psicrométrico y confort. Procesos básicos de acondicionamiento térmico.***

# 2.1 NOCIONES DE CALOR

## Que es el calor?

Para entender el concepto de calor debemos conocer que todas las sustancias, sean sólidas, líquidas o gaseosas, están compuestas por diminutas partículas llamadas moléculas. Estas moléculas no están quietas, se hallan en perpetuo movimiento o agitación, cada una con diferente velocidad y energía que las restantes. La suma de la energía de cada una de las moléculas de una sustancia constituye la totalidad de energía de la misma, que se manifiesta en forma de calor.

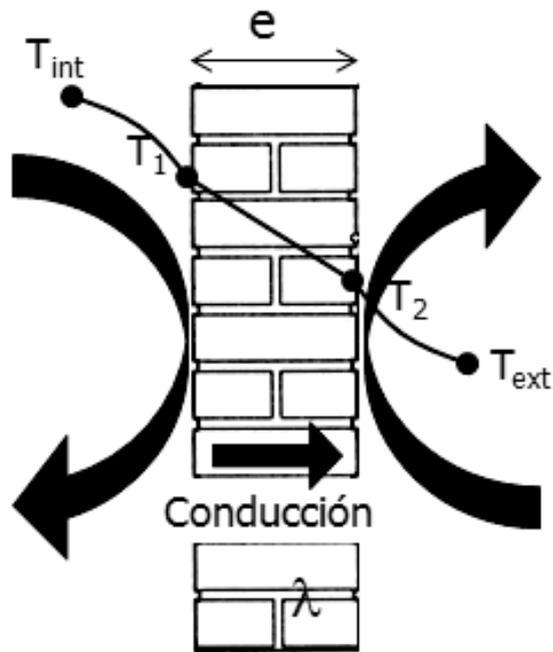
La forma de relación que tienen estas moléculas entre si es diferente si se trata de un sólido, un líquido o un gas. En el primer caso están enlazadas unas con otras de manera tal que, a pesar de su agitación, no pueden desplazarse y se mueven siempre alrededor de su posición de equilibrio. Mientras que en líquidos y gases las moléculas no están ligadas unas con otras por lo que pueden desplazarse en el interior de la sustancia. Esta característica da lugar a los mecanismos de transmisión de calor, fundamentales para analizar y reconocer el comportamiento térmico de los edificios, tanto de la masa de aire encerrada que debemos acondicionar, como de los materiales y sistemas constructivos que lo componen.



## Mecanismos de transferencia de calor

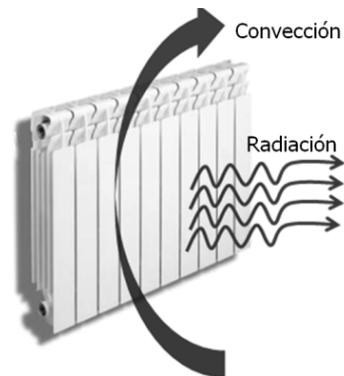
El tipo de sustancia o material condiciona la manera en que el calor, o la agitación molecular, se transmiten dentro de la misma o en su contacto con otros. Estas formas de transmisión pueden ser: por conducción, en los sólidos; por convección en los líquidos y gases y por radiación, cuando no existe ningún medio que transmita la agitación molecular.

La conducción de calor se produce por transferencia de energía entre materia y materia que se encuentren en contacto directo, no existe la mezcla o flujo de la sustancia. Es la forma en que se transmite el calor desde una cara a la otra por el interior de un muro, o simplemente entre dos elementos que se encuentran en contacto directo.



La convección implica siempre el flujo de moléculas en el interior de un fluido, la transferencia de energía se produce mediante la mezcla en el seno de la sustancia, de partículas con diferentes niveles de energía o agitación. Al igual que en la conducción el calor se transmite desde las moléculas de mayor agitación a las de menor energía. En acondicionamiento de edificios es la manera en que se transmite el calor en el seno de la masa de aire de un local o en las superficies de un muro en contacto con el aire. La convección puede ser natural, por diferencia de densidad del fluido o forzada.

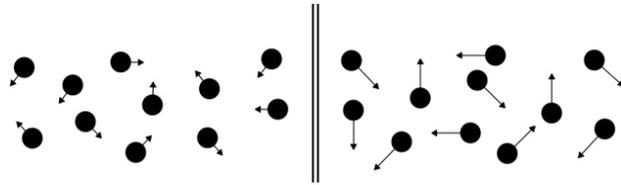
Finalmente en la radiación la transferencia de energía se produce mediante la emisión de ondas electromagnéticas desde los cuerpos o materiales más calientes hacia los cuerpos fríos. En esta forma de transferencia no existe un intercambio por contacto o mezcla de las moléculas, es simplemente un intercambio radiante electromagnético. Bajo esta forma de transferencia nos llega el calor del sol, o también, en el interior de un local, recibimos el calor de un radiador de calefacción. También es la manera en que se disipa el calor de los edificios, más calientes, a la bóveda celeste, más fría por la noche.



## Qué representa la temperatura?

El calor es una propiedad que tienen las sustancias, la materia o los materiales, para poder evaluar esa propiedad es necesario disponer de un parámetro que la represente. La temperatura es ese parámetro, es una medida de la energía cinética media que tienen las moléculas que componen un material o un cuerpo. El valor de la temperatura es directamente proporcional a la energía o agitación térmica que posea la sustancia.

+ Temperatura + Agitación térmica (mayor energía cinética media)



Siempre las moléculas con mayor agitación tratan de transmitir esa energía a las de menor agitación, de manera tal, que, en cualquier caso de transmisión el proceso implica que dos materiales a diferente temperatura tenderán siempre a igualarse buscando una temperatura media de equilibrio.

Para medir la temperatura se disponen de varias escalas termométricas, básicamente las más conocidas son la escala centígrada o grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ); la escala Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ) y la absoluta (Kelvin) (K). La escala Kelvin se utiliza principalmente en física, tiene su cero absoluto en el punto teórico donde no existe agitación molecular, se considera que esa situación se corresponde con los  $-273^{\circ}\text{C}$ . Las escalas Celsius y Fahrenheit son usuales en los estudios térmicos ambientales, climáticos y de acondicionamiento térmico. Los  $^{\circ}\text{F}$  utilizados principalmente en el mundo anglosajón.

En nuestro país se utilizan los  $^{\circ}\text{C}$ . El siguiente cuadro muestra las relaciones entre las diferentes escalas y las formas de conversión. En todos los casos se toman como referencia los valores de temperatura de cambio de estado del agua: fusión (de sólido a líquido) y ebullición (de líquido a gaseoso). Se observa que un salto de  $100^{\circ}\text{C}$  se corresponde con  $180^{\circ}\text{F}$ , por lo tanto las escalas no son proporcionales, mientras que la escala Kelvin tiene el mismo salto a valor relativo.

	Centígrada (Celsius) ( $^{\circ}\text{C}$ )	Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ )	Absoluta (Kelvin) (K)	
Ebullición	$100^{\circ}\text{C}$	$212^{\circ}\text{F}$	$373\text{ K}$	
	} $100^{\circ}\text{C}$		} $180^{\circ}\text{F}$	
Fusión	$0^{\circ}\text{C}$	$32^{\circ}\text{F}$	$273\text{ K}$	
	} $100^{\circ}\text{C}$		} $100\text{ K}$	

$$\frac{^{\circ}\text{F} - 32}{180} = \frac{^{\circ}\text{C}}{100} = \frac{\text{K} - 273}{100}$$

## Las cantidades de calor

El calor es entonces energía que se transfiere de un cuerpo o de un material a otro debido a una diferencia de temperatura. En acondicionamiento térmico es necesario conocer la cantidad de calor que es necesario agregar a un cuerpo o sustancia, por ejemplo el aire, para aumentar su temperatura. También es necesario conocer cuál es la cantidad de calor que se transfiere por un cerramiento del edificio en función de la diferencia de temperatura que existe entre el interior y el exterior.

La posibilidad de modificar la temperatura de un cuerpo, agregando o quitando calor, depende principalmente del calor específico del material o sustancia de que esta compuesto. El calor específico ( $Ce$ ) es una característica del material que permite conocer cuando calor ( $Q$ ) se le debe agregar a un cuerpo, de un determinado peso o masa ( $m$ ), para que aumente su temperatura ( $T$ ) en un grado centigrado. De tal manera que la siguiente ecuación representa la cantidad de calor  $Q$  (Kcal) necesaria agregar a un cuerpo de masa  $m$ (Kg) y calor específico  $Ce$ (Kcal/Kg°C) para pasar de una temperatura  $T_1$  a  $T_2$ . Una caloría es el calor necesario para elevar la temperatura de 1g de agua 1°C.

$$Q = Ce.m(T_2 - T_1)$$

Calor específico  $Ce$  Kcal/Kg°C

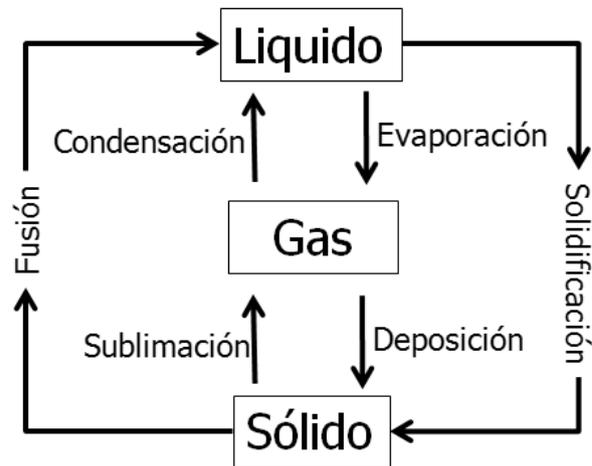
Las cantidades de calor  $Q$ , se pueden medir en kilocalorias (Kcal) o en vatios (W), siendo esta última la unidad adoptada por el sistema metrico argentino.

$1 \text{ Kcal} = 1000 \text{ cal}$ $1 \text{ Kcal} = 1,163 \text{ W}$ $1 \text{ W} = 0,86 \text{ Kcal}$
--

## Energía total o calor total

Al incorporar calor a un cuerpo este aumenta su temperatura, pero bajo determinadas circunstancias y dependiendo del tipo de material, la temperatura no se modifica y el aumento del calor produce lo que se conoce como cambio de estado de la materia. Los diferentes tipo de cambios de estado de la materia derivado de la incorporación de calor por encima de ciertos limites se sintetizan en la figura. El ejemplo mas común es el que corresponde al calentamiento de una masa de agua en estado solido (hielo), al llegar a los 0°C se funde convirtiendose en agua y luego al llegar

a los 100°C el agregado de energia en forma de calor produce un cambio de estado, de liquido a gaseoso (vapor). En ambos procesos se han incorporado grandes cantidades de calor que no modificaron su temperatura. Al calor utilizado para el cambio de estado de la materia se lo conoce como calor latente, mientras que el calor sensible es aquel que aumenta la temperatura de los cuerpos. Ambas formas de calor son importantes en acondicionamiento de locales, pues permiten evaluar no solo las modificaciones de temperatura de las masas de aire y los contenidos de vapor de agua que representa la humedad necesaria para las condiciones de confort.



### Calor sensible ( $Q_s$ )

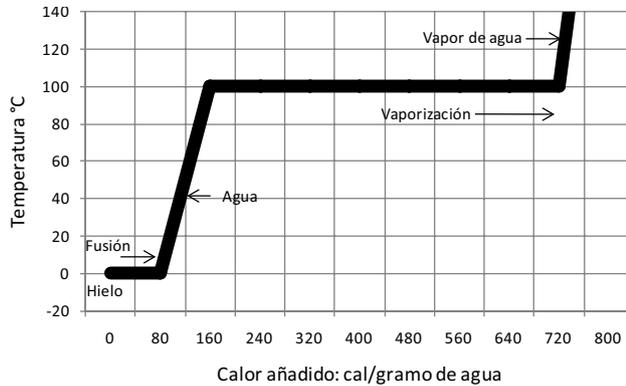
Calor que determina un cambio de temperatura de una sustancia.

### Calor latente ( $Q_l$ )

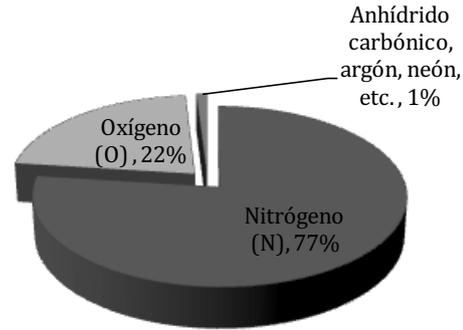
Calor que se debe adicionar o sustraer a una sustancia para que pase por completo de un estado físico a otro.

La **energía térmica total** que posee un cuerpo es la suma de las energías de todas las moléculas que lo componen.

El **calor total (Qt)** es la suma del calor sensible y del latente.  $Q_t = Q_s + Q_l$



## 2.2 PSICROMETRIA



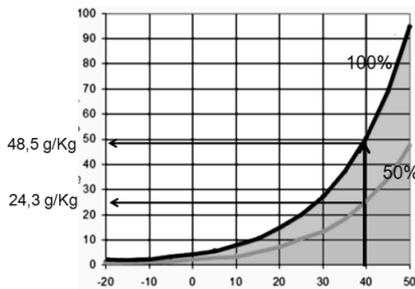
La psicrometría es la ciencia que estudia las propiedades físicas del aire atmosférico. En acondicionamiento térmico su manejo es de importancia pues permite conocer las diferentes variables o parámetros que caracterizan la masa de aire de los locales que habitamos, que respiramos y que condicionan el confort. El aire seco no es adecuado para la respiración, necesitamos en primer instancia que el mismo este mezclado con determinadas cantidades de vapor de agua, esta mezcla de aire seco con vapor de agua es lo que se conoce como aire atmosférico.

De tal manera que no solo la temperatura es un parámetro importante para caracterizar la masa de aire. El contenido de vapor de agua o “humedad”, es el otro aspecto o parámetro esencial a tener en cuenta en la calidad del aire y en su influencia en las condiciones de confort. El contenido de humedad o de vapor de agua en el aire atmosférico está representado por la humedad específica (HE) que indica la cantidad de gramos de vapor de agua que posee la masa de aire por cada kilogramo de aire seco.

## Humedad Especifica HE (g/kg)

Existe una relación directa entre la cantidad de vapor de agua que puede tolerar una masa de aire seco con la temperatura. A mayor temperatura de la masa de aire, mayor será la cantidad de vapor de agua o HE que puede soportar la mezcla. La relación no es lineal, la cantidad contenida aumenta rápidamente con la temperatura del aire, hasta llegar a la condición de aire saturado: cuando contiene el máximo de humedad posible. Así a 0°C la cantidad de vapor de agua que es capaz de soportar la masa de aire es de 3.78 gr/kg, mientras que a 40°C recién se satura con 48,5 gr/kg de HE. Cuando la mezcla de aire alcanza el máximo de vapor de agua para una temperatura se considera que la humedad relativa es del 100%.

Temperatura	Cantidad de vapor necesaria para saturar la masa de aire
0°C	3,78 g/kg
20°C	14,8 g/Kg
40°C	48,5 g/Kg

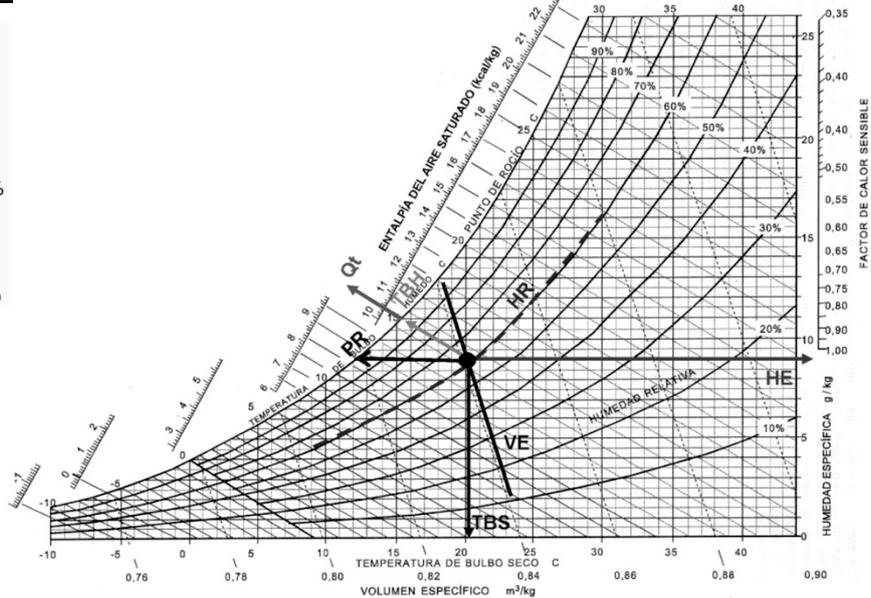


Así, cuando la mezcla de aire tiene un contenido de vapor de agua que es la mitad de lo que puede tolerar para una determinada temperatura se dice que la humedad relativa (HR) alcanza el 50%. Por lo tanto la HR representa el porcentaje de HE que posee la mezcla en relación al máximo que es capaz de soportar para una temperatura dada.

$$\text{Humedad Relativa - HR} = \left( \frac{\text{HE}}{\text{HS}} \right) \times 100 \quad [\%]$$

HS = Humedad Saturante

El gráfico de la figura, que relaciona la humedad específica en el eje vertical, la humedad relativa en las curvas y la temperatura en el eje horizontal, es la base gráfica del diagrama psicrométrico, herramienta que permite definir los parámetros que caracterizan una mezcla de aire. En la figura se muestra el diagrama completo la representación de todos los parámetros que pueden ser leídos en el mismo.



Temperatura de bulbo seco TBS (°C): Temperatura a la cual se encuentra la mezcla de aire

Humedad específica HE (gr/kg): Contenido real de vapor de agua en el aire

Humedad relativa HR (%): Porcentaje de saturación que tiene la mezcla de aire

Temperatura de bulbo húmedo TBH (°C): Temperatura a la cual se produce la vaporización del vapor de agua contenido en el aire

Entalpía  $Q_t$  (Kcal/Kg): Contenido de calor de la mezcla de aire y vapor de agua

Temperatura de punto de rocío TPR (°C): Temperatura del aire en condición de saturación

Volumen específico  $V_e$  (m<sup>3</sup>/kg): Temperatura del aire en condición de saturación

## 2.3 CONFORT, BIENESTAR TERMICO Y METABOLISMO



Nuestro bienestar y confort dependen del equilibrio térmico entre el cuerpo humano y el entorno. Dicho equilibrio depende de la conjunción de varios factores. Algunos de estos factores son de orden individual como el sexo, la edad, la actividad, la vestimenta, etc. y otros son factores ambientales como la temperatura del aire, la radiación, la humedad y los movimientos del aire.

En el proceso metabólico nuestro cuerpo produce energía a partir de los alimentos que consume. La cantidad de energía que produce está relacionada con un porcentaje que depende de la actividad. Dicha energía es utilizada por el trabajo mecánico y el resto se transforma en calor. La producción de calor interna compensa las pérdidas y las ganancias de calor desde y hacia el entorno, así la temperatura interior del cuerpo se mantiene estable. Cuando la temperatura del cuer-

po aumenta o disminuye, según la pérdida de calor sea mayor o menor que la producción de calor metabólico dicho equilibrio no se logra,

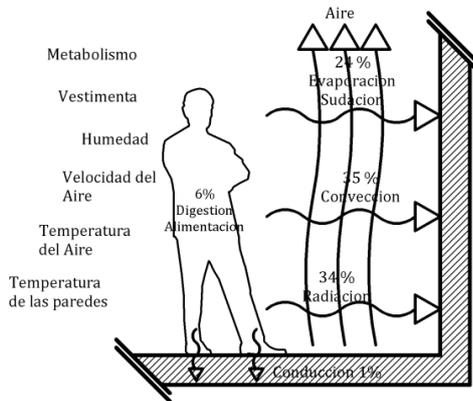
El intercambio de calor entre el cuerpo y el entorno inmediato, se produce con el aire ambiente y las superficies envolventes por convección y por radiación. También el cuerpo disipa el calor por la evaporación de la transpiración y por el agua contenida en los pulmones.

Se puede determinar el intercambio térmico entre el cuerpo y su entorno a partir de:

$$M \pm R \pm C \pm Cv - E = Q$$

M es el metabolismo, R, C, Cv, y E son respectivamente los intercambios de calor por radiación, conducción, convección y evaporación y Q es la modificación de contenido calórico del cuerpo, que indica las variaciones de la temperatura media del cuerpo.

R, C, Cv, y E dependen de factores externos como, la temperatura, la velocidad y la tensión de vapor del aire y la temperatura media radiante y además de la temperatura y de la tensión de vapor de la piel.



Factores que influyen en el intercambio térmico del cuerpo humano con el entorno

## Capacidad aislante de la ropa

La ropa constituye una envolvente complementaria a nuestra piel que es capaz de modificar el intercambio térmico entre el cuerpo y el entorno. Según sean las características aislantes de la ropa las mismas determinan un valor de resistencia térmica cuya unidad es el CLO.

TIPO DE VESTIDO	Unidades CLO
Desnudo	0.0
Pantalones cortos	0.1
Ropa Tropical Ordinaria	0.3
Ropa ligera de verano	0.5
Traje típico de negocios	1.0
Traje grueso con chaleco y ropa interior de lana	1.5

Valores de unidades CLO (CIBS GUIDE - 1970)

## Producción de calor metabólico

El metabolismo genera la energía que demanda el cuerpo para las actividades que realizamos voluntarias e involuntarias (circulación de la sangre, respiración, etc). Dicha generación de energía se da a través de un proceso que transforma el alimento que ingerimos en energía.

Al realizar un trabajo, el metabolismo aumenta para satisfacer la demanda de energía de nuestro cuerpo. El rendimiento de nuestro cuerpo es bajo y en consecuencia la cantidad de energía producida es mayor a la requerida y ese excedente se transforma en calor.

Entendemos por rendimiento del trabajo mecánico a la relación entre el trabajo mecánico y la energía total generada por el cuerpo, producto de una actividad determinada. El metabolismo para una determinada actividad depende del sexo, la edad, el tamaño y peso del cuerpo.

Una persona de contextura mediana en reposo genera aproximadamente 70 a 72 W/h y hasta 700 W/h con actividad física intensa. La siguiente tabla da valores de producción de energía metabólica para diferentes actividades.

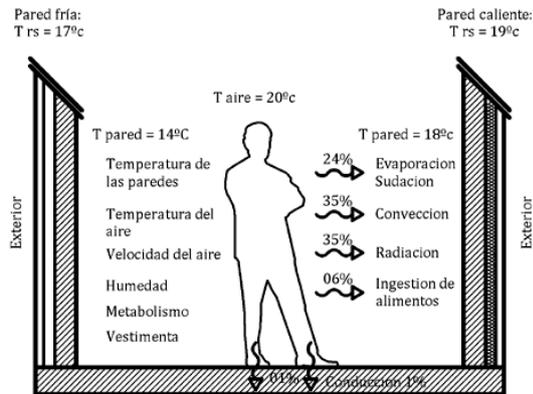
*Producción de energía metabólica*

Actividad	Wattios
Dormir	70 min.
Sentado, movimiento moderado	130 - 160
De pie, trabajo ligero en máquina o banco de trabajo	160 - 190
Sentado con brazos y piernas en movimiento	190 - 230
De pie trabajo moderado algún paseo	220 - 290
Andando levantamientos o empujes moderados	290 - 410
Levantamientos y excavaciones pesadas pero intermitentes	440 - 580
Trabajo duro sostenido	580 - 700
Trabajo pesado máximo 30 minutos de duración	1100 máx.

**(valores medios de datos publicados de diversas fuentes)**

## Efecto de los factores ambientales sobre el hombre

El confort térmico depende de seis parámetros o factores ambientales:



- Temperatura del aire
- Temperatura media radiante
- Velocidad del aire
- Humedad
- Metabolismo
- Vestimenta

## Temperatura del aire y temperatura media radiante

El intercambio de calor de un cuerpo por convección y radiación es afectado por la temperatura del aire ambiente y la temperatura media radiante. Dicho intercambio de calor depende también de la velocidad del aire y de la ropa.

Ante el aumento de la temperatura ambiente en condiciones constantes de tensión de vapor de agua y de velocidad del aire, el cuerpo reacciona con una elevación de temperatura de la piel y de su nivel de sudoración. La humedad y la velocidad del aire determinan el nivel de la elevación.

La sensación de humedad de la piel (transpiración sensible) aumenta con la temperatura ambiente y con niveles elevados de humedad y velocidad de aire baja es posible que se altere subjetivamente la sensación de calor (sensación térmica). Con aumento de temperatura ambiente y condiciones de baja humedad y velocidades de aire elevadas, a pesar del aumento de sudoración la piel puede secarse.

## Humedad

La humedad define la capacidad evaporativa del aire y la eficacia del refrescamiento por sudor. La humedad determina, en condiciones extremas de calor, la duración de la tolerancia a una restricción de la evaporación total del sudor. La humedad del aire se expresa

de diversas formas: humedad relativa, humedad absoluta, humedad específica o de tensión de vapor de agua. La diferencia entre la tensión de vapor de agua de la piel y la del aire ambiente condicionan la capacidad evaporativa del aire.

Cuando sobre la superficie de la piel se forma una capa líquida, el nivel de producción de sudor está sobre la capacidad evaporativa del aire, el sudor no puede ser evaporado y se deposita sobre la piel. Al regular la tensión de vapor de agua se puede obtener la evaporación requerida. El nivel de humedad no afecta de manera importante las reacciones fisiológicas y sensoriales ante temperaturas entre los 20 y los 25°C. Las variaciones de humedad relativa comprendidas entre 30 y 80% son casi imperceptibles.

La influencia de la humedad sobre la respuesta del organismo se presenta gradualmente con temperaturas superiores a los 25 °C, aparecen efectos sobre la humedad de la piel y sobre la temperatura cutánea. Los efectos de la humedad se compensan con el aumento de la velocidad del aire. También un ambiente frío y húmedo provoca disconfort y aumento de las posibilidades de contraer enfermedades.

### ***Velocidad del aire***

La velocidad del aire condiciona al cuerpo humano ante el confort. Influye en el intercambio de calor convectivo del cuerpo y afecta la capacidad evaporativa del aire, modificando el rendimiento de la sudoración. Los intercambios de calor están influenciados por los efectos de la velocidad y de la temperatura del aire, la convección es función de la velocidad y de la diferencia de temperatura entre la piel y el aire. El aumento de la velocidad del aire eleva la posibilidad de evaporación y compensa los efectos de un nivel alto de humedad. Los efectos de la velocidad del aire y su

capacidad evaporativa están vinculados a la humedad.

### ***Radiación solar***

La posición del cuerpo en relación al sol, la ropa, el albedo del entorno y la velocidad del aire determinan los efectos térmicos de la radiación solar. La ropa intercepta la radiación solar y disipa al entorno una parte del calor. El color la composición de la ropa y la velocidad del aire determinan el calor disipado. La ganancia de calor desde la radiación solar se ve reducida por la velocidad del viento, y el grado de reducción depende de la cantidad de ropa.

El albedo, factor de reflexión, del terreno determina la cantidad de radiación solar de longitud de onda corta que se refleja hacia el cuerpo desde el entorno y el calor radiante de longitud de onda larga emitido por el terreno. El primer proceso es directamente proporcional al albedo del terreno y el segundo es inversamente proporcional.

## **Confort térmico y arquitectura**

Los datos climáticos de una localidad nos permiten conocer el clima de manera precisa y determinar estrategias de diseño relacionadas directamente al clima del lugar. A partir de los mismos se puede establecer las características del diseño en relación a la necesidad o no de asoleamiento, ventilación, empleo de diversos materiales de construcción, etc.

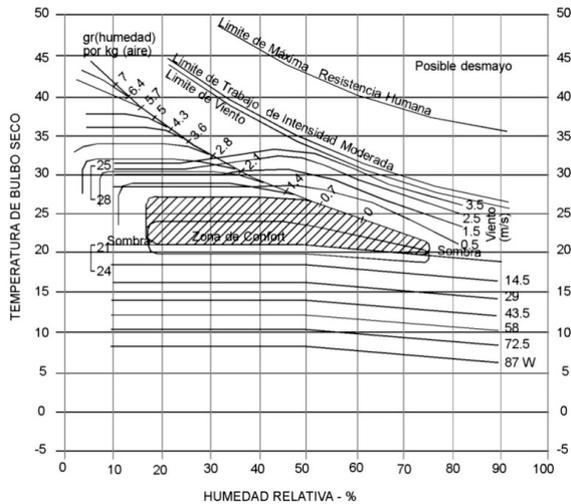
El confort humano está relacionado directamente con los datos de temperatura y humedad. OLGYAY y GIVONI, entre otros, diseñaron métodos en el que relacionan dichas variables y permiten determinar pautas generales de diseño relacionados con el confort.

### ***Método de Olgay***

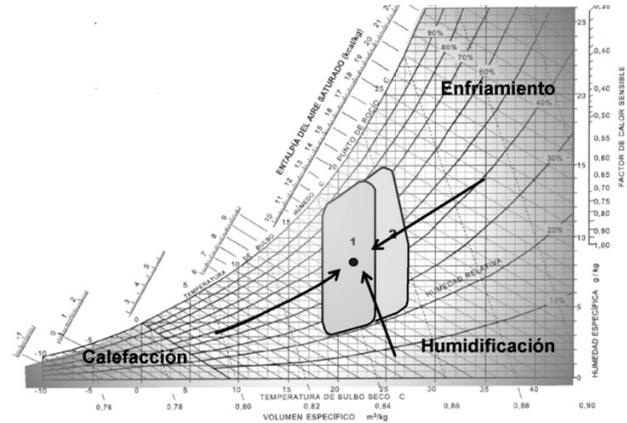
Victor Olgyay establece un sistema basado en una zona de confort térmico donde relaciona la temperatura del aire en grados centígrados (TBS) y la humedad relativa en porcentaje (HR). La radiación solar, el enfriamiento evaporativo, los límites donde son necesarias sombras y los vientos para el restablecimiento del confort se correlacionan y a su vez enmarcan la zona de confort. Para establecer el confort el diagrama propone estrategias como: la velocidad del aire, los gramos de agua por kilo de aire seco, la potencia de radiación solar horaria necesaria, las temperaturas medias radiantes del entorno, el ocultamiento del sol y los límites para ciertas actividades.

Olgyay con su método fue el primero en intentar relacionar las variaciones necesarias en las condiciones climáticas con el confort humano. Para el análisis de las necesidades fisiológicas el método es muy limitado y al basarse en datos climatológicos exteriores es un procedimiento inapropiado para espacios interiores.

*Diagrama bioclimático de Olgyay*



## Diagrama psicrométrico y confort

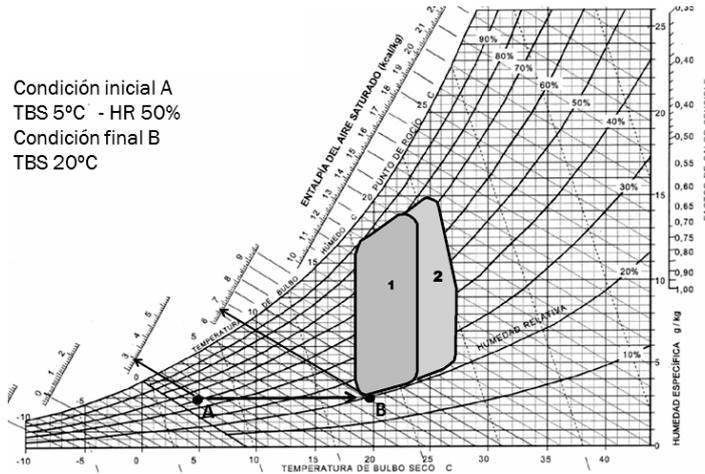


Las condiciones temperatura y humedad relativa asociadas al confort pueden ser también establecidas dentro del diagrama psicrométrico, definiendo las tres estrategias básicas generales del acondicionamiento térmico: la calefacción, la refrigeración y la humidificación, según las zonas del diagrama en donde se ubiquen las condiciones de T y HR tomadas como punto de partida para una condición ambiental dada. Este ordenamiento da lugar a la definición de los cuatro procesos básicos de acondicionamiento térmico.

# Procesos básicos de acondicionamiento térmico

## Calentamiento de aire sin humectación

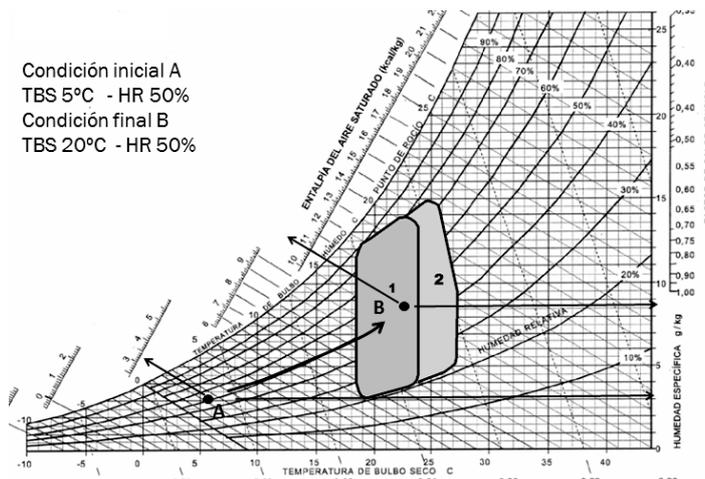
Condición inicial A  
TBS 5°C - HR 50%  
Condición final B  
TBS 20°C



Este proceso de calentamiento consiste en agregar sólo calor Kcal./Kg, por lo cuál se modifica la temperatura de bulbo seco del aire. Desde una condición inicial A de TBS: 6° y HR: 50%, se pretende llegar a una condición final B de 20° de TBS. Con el agregado de 3,5 Kcal./Kg, calor se modifica la entalpía del aire de 3 a 6,5 Kcal./Kg, la temperatura de bulbo seco pasa de 6° a 20°, la humedad específica HE se mantiene constante en 3 grs/Kg y como consecuencia disminuye el porcentaje de humedad HR pasando de 50% a 20 %ya que este depende de la temperatura del aire.En la figura se observa que a pesar del calentamiento, la condición final B se encuentra aún fuera de la zona de confort.

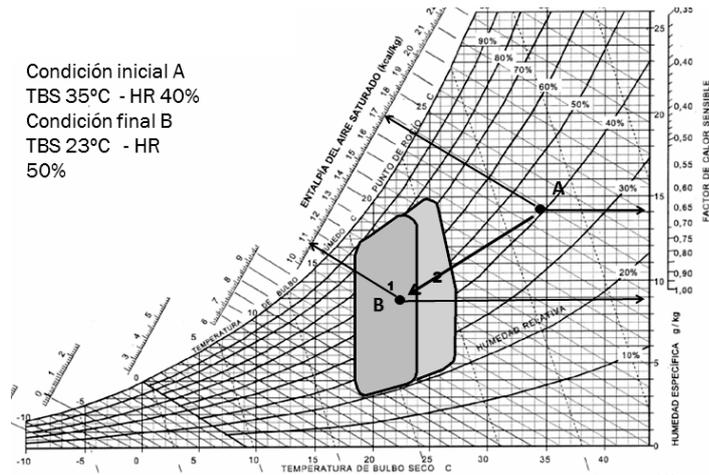
## Calentamiento de aire con humectación

Condición inicial A  
TBS 5°C - HR 50%  
Condición final B  
TBS 20°C - HR 50%



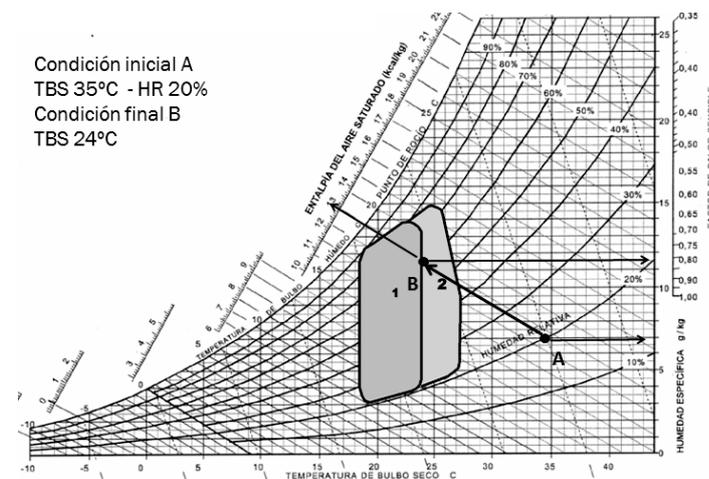
Este proceso de calentamiento consiste en agregar calor Kcal./Kg, y vapor de agua g/ kg. por lo cuál se modifica la temperatura de bulbo seco del aire, y aumenta la humedad específica HE. Desde una condición inicial A de TBS: 5° y HR: 50%, se pretende llegar a una condición final B de 22° de TBS y HR se mantiene constante en 50%. Con el agregado de 7,5 Kcal./Kg de calor se modifica la entalpía del aire de 3 a 10,5 Kcal./Kg, la temperatura de bulbo seco pasa de 5° a 22°, la humedad específica pasa de 3 grs/Kg a 8,5 grs/Kg agregando 5,5 grs/Kg de vapor de agua y como consecuencia se mantiene constante el porcentaje de humedad HR en 50% .En la figura se observa que con el calentamiento (agregado de calor) y la humidificación (agregado de vapor de agua), la condición final B se encuentra dentro de la zona de confort para invierno.

## Enfriamiento de aire con deshumectación



Este proceso de enfriamiento consiste en quitar calor Kcal/Kg, y quitar vapor de agua g/ kg. por lo cuál se modifica la temperatura de bulbo seco del aire, y disminuye la humedad específica HE. Desde una condición inicial A de TBS:35° y HR: 30%, se pretende llegar a una condición final B de 23° de TBS y HR 50%. Quitando 6 Kcal./Kg de calor se modifica la entalpía del aire de 17 a 11 Kcal./Kg, la temperatura de bulbo seco pasa de 35° a 23°, la humedad específica pasa de 14 grs/Kg a 9 grs/Kg sacando 5 grs/Kg de vapor de agua y como consecuencia el porcentaje de humedad HR pasa de 40% a 50%. En la figura se observa que con el enfriamiento (quita de calor) y la deshumectación (quita de vapor de agua), la condición final B se encuentra dentro de la zona de confort para verano.

## Enfriamiento adiabático del aire



Este proceso de enfriamiento consiste en agregar solo vapor de agua g/ kg por lo cuál se modifica la temperatura de bulbo seco del aire, y aumenta la humedad específica HE. Desde una condición inicial A de TBS:35° y HR: 20%, se pretende llegar a una condición final B de 24° de TBS. La temperatura de bulbo seco pasa de 35° a 24° sin modificar su entalpía, la humedad específica pasa de 7 grs/Kg a 11,5 grs/Kg agregando 4,5 grs/Kg de vapor de agua y como consecuencia el porcentaje de humedad HR pasa de 20% a 60%. En la figura se observa que con el enfriamiento mediante humectación (agregado de vapor de agua), la condición final B se encuentra dentro de la zona de confort para verano.

## Método Givoni de Estrategias Bioclimáticas

Los procesos básicos de acondicionamiento planteados en el diagrama pueden ser complementado con estrategias de diseño o recursos constructivos adaptados a las condiciones locales que minimicen la demanda de recursos energéticos no renovables para lograr estos procesos de acondicionamiento. En primer instancia, como se observa en el diagrama de la figura, el asoleamiento, la inercia térmica y la ventilación natural son recursos complementarios a los procesos básicos, principalmente cuando las condiciones de T y HR están cerca de la zona de confort.

Uno de los métodos que trabaja con este principio es el propuesto por Baruch Givoni. Se basa en el del diagrama psicrométrico. Se determina la zona de confort partir de valores de temperatura y humedad y áreas que plantean estrategias destinadas a obtener el confort en el interior de los edificios construidos bajo esas condiciones climáticas.

Diagrama psicrométrico, confort y estrategias de acondicionamiento

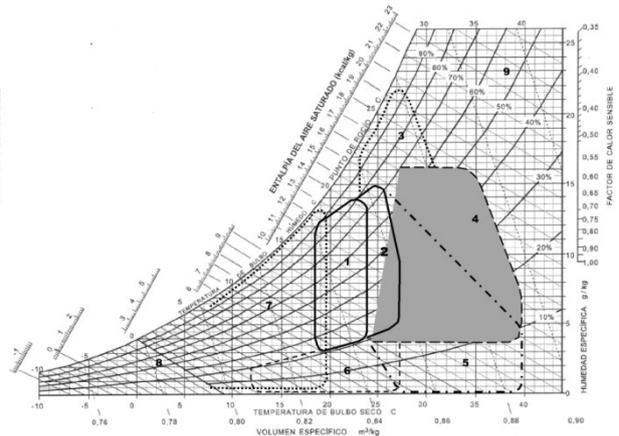
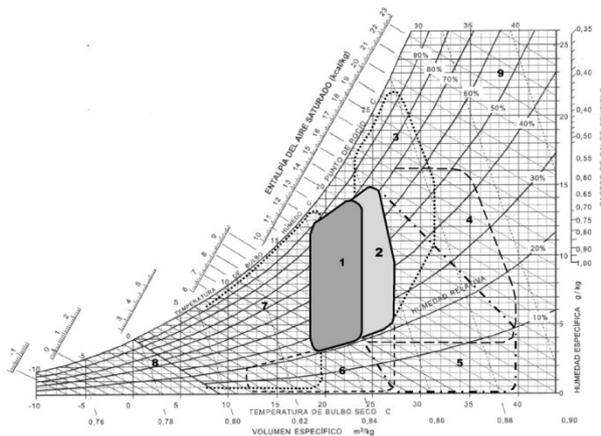
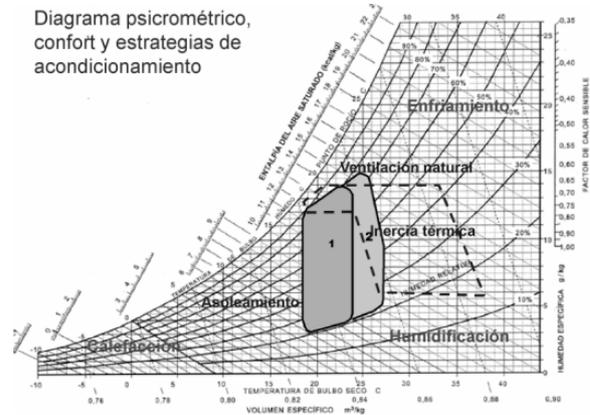


Diagrama "A" Diagrama "B"

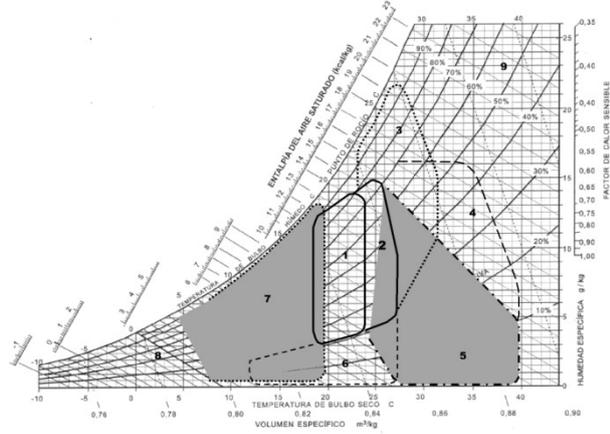
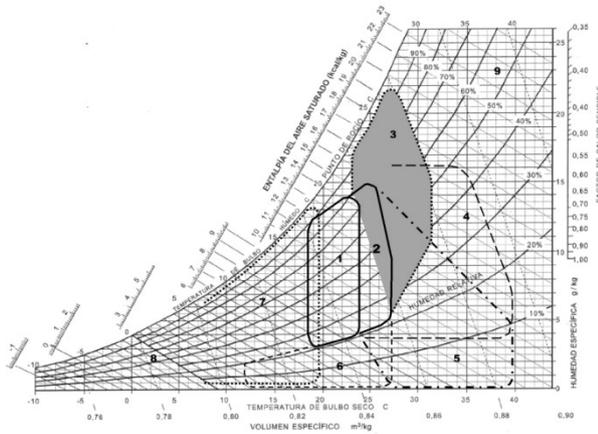


Diagrama "C" Diagrama "D"

En el diagrama "A" se observa la zona de confort de verano (1) o zona neutra para individuos en reposo, en condiciones ambientales naturales y la zona de condiciones soportables (2).

En el diagrama "B" se observa el área en la cual es posible acceder al confort a través del control solo de las temperaturas interiores mediante la inercia térmica y en ausencia de ventilación (4).

En el diagrama "C" se observa el área con condiciones para acceder al confort utilizando la ventilación (3).

En el diagrama "D" se muestran las áreas dónde las características exteriores necesitan de la utilización de un sistema de calefacción (pasivo) (7) y en dónde son factibles los sistemas de enfriamiento por evaporación (3).

Las otras áreas corresponden a condiciones extremas en las cuales es imprescindible el uso de sistemas termo mecánicos de acondicionamiento: calefacción (8), humidificación (6) y refrigeración (9).

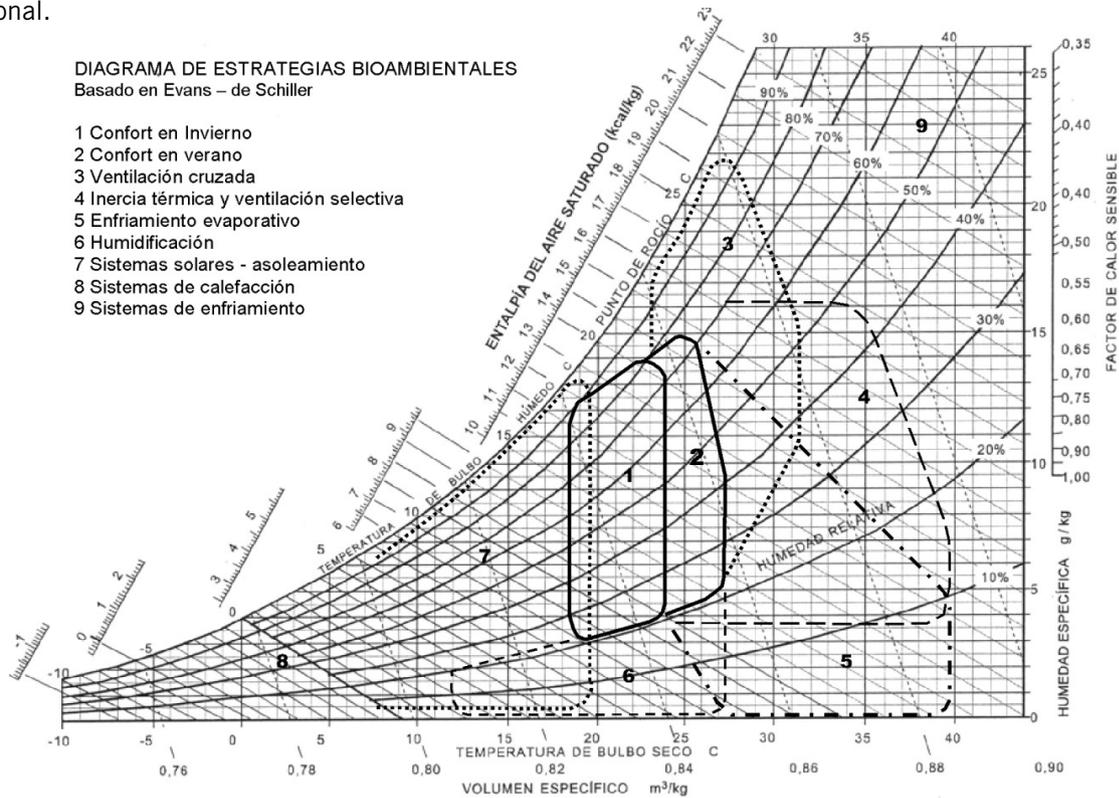
Es posible ingresar al diagrama con datos de temperatura y humedad, horaria, diaria o mensual, y posicionarse en un área determinada y a partir de allí sacar conclusiones sobre la estrategia a emplear con el objetivo de diseñar en función del entorno climático.

Las estrategias que cada zona propone son las siguientes:

1. **INERCIA TERMICA:** El uso de materiales pesados con alta capacidad de almacenar calor en las envolventes permite absorber calor en su masa y cederlo mas tarde. Mediante este proceso se logra que las temperaturas máximas y mínimas se aproximen a las medias y que disminuya la amplitud de temperaturas interiores en el edificio.

2. **VENTILACION:** La ventilación permite extraer el calor del interior de la vivienda como el exceso de humedad. Es un recurso posible en climas con temperatura y humedad relativa alta. En climas de altas temperaturas y baja humedad este recurso no es factible ya que el aire contribuye a aumentar la sensación de disconfort.

3. CALEFACCION SOLAR PASIVA: En esta zona la radiación solar puedelograr la temperatura de la vivienda a niveles de confort. El área establece el límite en 10°C de temperatura, el uso de sistemas pasivos solares por debajo de este valor es importante, pues permite reducir las necesidades de calefacción convencional.



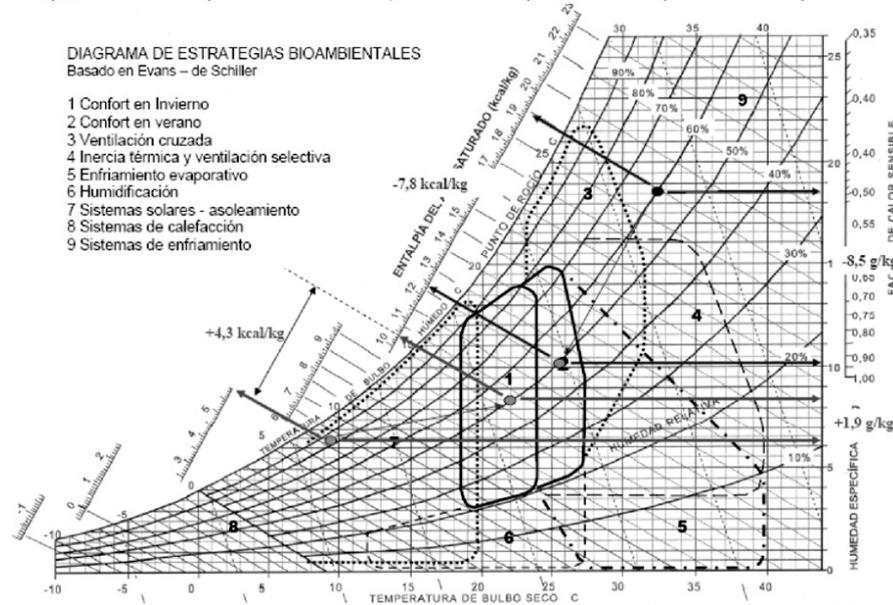
4. CALEFACCION CONVENCIONAL O SOLAR ACTIVA: En esta zona las condiciones exteriores no permiten alcanzar el confort y necesitan de sistemas tradicionales de calefacción o bien sistemas solares activos (colectores, etc.).

5. ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO: En climas con altas temperaturas y humedad relativa baja, mediante la aspersión de agua al ambiente se logra disminuir la temperatura del aire seco y se aumenta la humedad (fuente árabe). Esto ocurre como consecuencia de la gran capacidad de absorber y retener calor que tienen el agua.

6. HUMIDIFICACION: La humidificación del aire es factible para temperaturas y humedades menores a los 27 °C y 20%, ya que el ambiente extremadamente seco provoca disconfort.

### Ejemplo de Aplicación /1

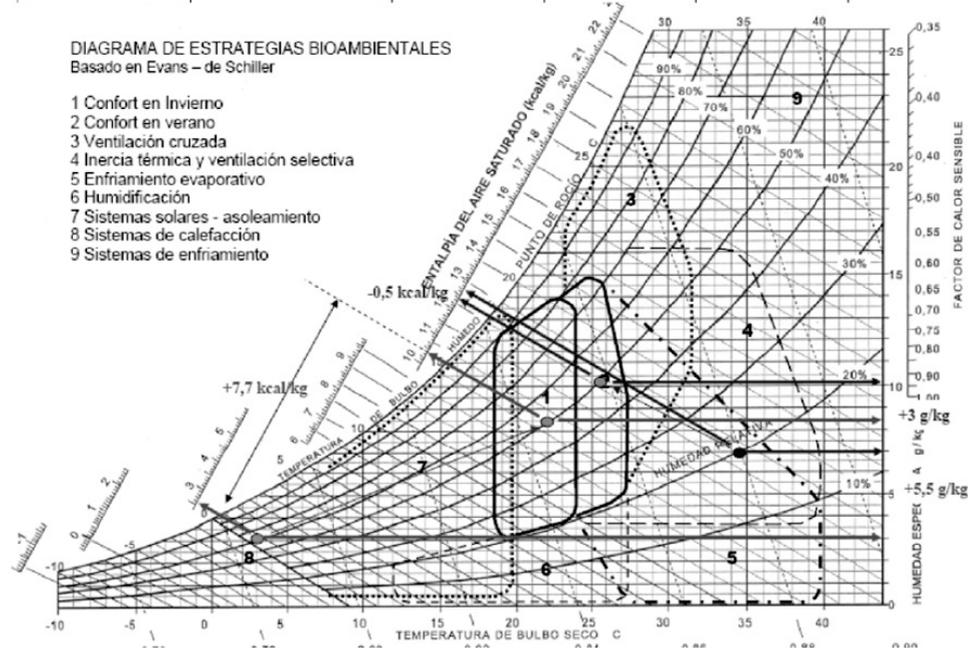
	Estación	Provincia	Invierno		Verano	
			T <sub>Min</sub> °C	HR <sub>Med</sub> %	T <sub>Max</sub> °C	HR <sub>Min</sub> teórica
5	Iguazú	Misiones	9,4	85	32,3	60



Estación:	IGUAZU			
INVIERNO	Cantidad de calor:	+ 4,3 Kcal/kg	Cantidad de agua:	+ 1,9 gr/kg
	Proceso:	Calentamiento con / sin agregado de humedad		
	Estrategia aconsejada:	El calentamiento solar es suficiente. Se puede llegar a situación de confort sin agregado de humedad y por lo tanto menor entalpia (Kcal/kg) con un polo de confort algo inferior.		
VERANO	Cantidad de calor:	-7,8 Kcal/kg	Cantidad de agua:	-8,5 gr/kg
	Proceso:	Enfriamiento con deshumectación		
	Estrategia aconsejada:	Enfriamiento mecánico y deshumectación complementado con ventilación natural		

## Ejemplo de Aplicación /2

	Estación	Provincia	Invierno		Verano	
			T <sub>Min</sub> °C	HR <sub>Med</sub> %	T <sub>Max</sub> °C	HR <sub>Min teórica</sub>
1	San Juan	San Juan	3,0	61	34,5	20



Estación:	SAN JUAN			
INVIERNO	Cantidad de calor:	+ 7,7 Kcal/kg	Cantidad de agua:	+ 5,5 gr/kg
	Proceso:	Calentamiento con humectación		
	Estrategia aconsejada:	Aprovechamiento de la radiación solar complementado con calefacción convencional. El vapor de agua requerido puede ser incorporado por evaporación interna o un sistema de hum.		
VERANO	Cantidad de calor:	- 0,5 Kcal/kg	Cantidad de agua:	+ 3,0 gr/kg
	Proceso:	Enfriamiento adiabático – sin agregado de calor		
	Estrategia aconsejada:	El enfriamiento evaporativo o sin agregado de calor (adiabático) sería suficiente. La inercia térmica con ventilación selectiva permitirá quitar el calor excedente.		



**Comportamiento  
higrotérmico  
de materiales  
y elementos de  
construcción**

CS

*La transmitancia térmica en los cerramientos. Transmisión de calor en un cerramiento. Resistencia de la capa límite de aire . Resistencia térmica del elemento constructivo. Resistencia térmica de capas homogéneas. Capas aislantes. Resistencia Térmica de capas no homogéneas. Resistencia Térmica de Cámaras de Aire sin ventilación. Resistencia térmica de un componente de aire a aire. Cálculo del Coeficiente de Transmitancia térmica total K. Ejemplos. Transmitancia térmica de ventanas. Transmitancia térmica de envolventes con cámaras de aire ventiladas.*

*Norma IRAM 11605 Valores máximos admisibles de transmitancia térmica K.*

*Puentes térmicos.*

*Riesgo de Condensación. Condensación superficial. Método gráfico de verificación de riesgo de condensación superficial. Condensación Intersticial. Método de Cálculo de verificación de riesgo de condensación intersticial. IRAM 11625*

*Simbología. Unidades y Equivalencias. Fórmulas Básicas.*

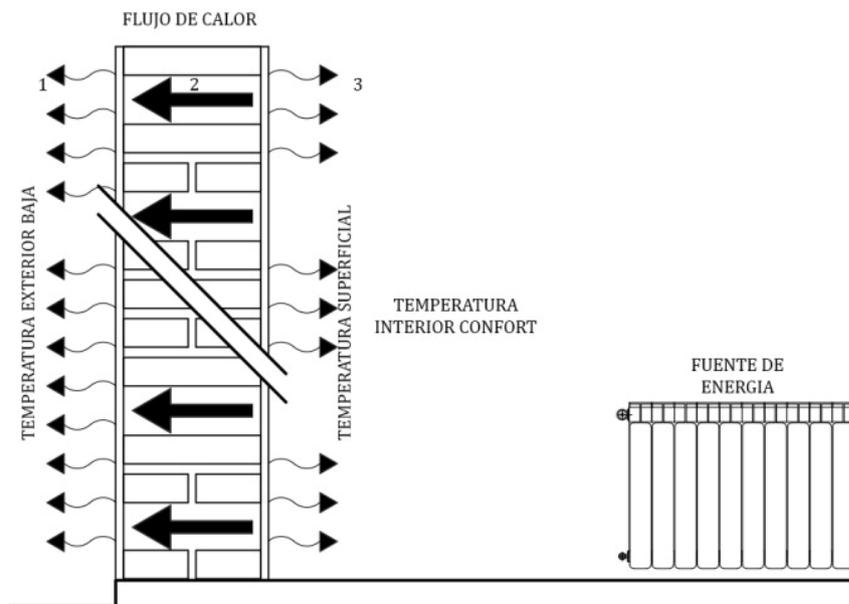
# 3.1 LA TRANSMITANCIA TERMICA EN LOS CERRAMIENTOS

A lo largo de un día tipo se producen variaciones constantes de temperatura, que siguen, en caso de que no existan fenómenos meteorológicos bruscos, un patrón más e menos sinusoidal de comportamiento. Esta situación es lo que se conoce como régimen no estacionario en el cual los flujos de calor se pueden dar alternativamente del interior al exterior o viceversa dependiendo del sentido del salto térmico fluctuante.

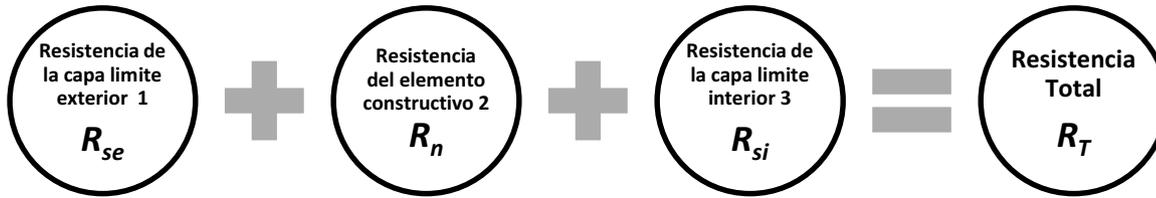
Cuando un elemento constructivo se coloca entre un ambiente a menor temperatura que otro existe un proceso de transferencia de calor desde el ambiente más caliente al más frío. De tal manera que la transferencia de calor por la envolvente de un edificio depende del salto térmico que exista entre ambos lados y la

dirección del flujo de calor puede alternarse hacia el interior (en verano) o hacia el exterior (en invierno), si estamos considerando lo que se conoce como régimen estacionario, situación ficticia donde se estima que las temperaturas exteriores e interiores se corresponden con los valores medio.

De acuerdo a los principios de transferencia de calor el flujo de energía se dará del lado más caliente al más frío en tres etapas diferenciadas: (1) del aire interior, si es el ambiente más caliente, a la cara interna de la pared, (2) a través de la pared y (3) de la cara exterior de la pared al aire exterior. En las etapas 1 y 3 la transferencia se produce por convección y radiación y en la etapa 2 por conducción.



## Transmisión de calor en un cerramiento



Uno de los componentes del edificio por el cual se puede perder o ganar energía térmica en forma de calor son los cerramientos opacos: muros, cubiertas y envolventes en general. Conocer la cantidad de calor que se puede transferir por los mismos es uno de los aspectos fundamentales para determinar la cantidad de calor que debemos suministrar o quitar a un edificio para mantenerlo dentro de las condiciones de confort. Por las características físicas que tiene los materiales que conforman los cerramientos siempre existirá una transferencia de calor cuya magnitud depende exclusivamente de la resistencia que cada una de las capas que componen el cerramiento, incluyendo las capas de aire superficiales, ofrece al paso del calor.

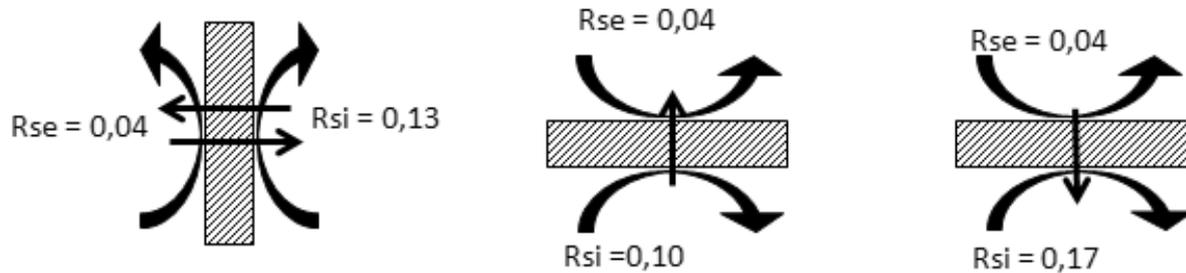
Considerando las tres etapas que definen el calor total que es capaz de atravesar un cerramiento es necesario conocer la resistencia que se produce al paso del calor en cada una de esas tres etapas, es así que la resistencia térmica total ( $R_T$ ) de un cerramiento será:

### Resistencia de las capas límites de aire

Las resistencias superficiales interior y exterior  $R_{si}$  y  $R_{se}$  representan la oposición al paso del calor de las capas de aire adyacentes. En la cercanía de cada superficie se forma una capa de aire en calma (película laminar), cuyo espesor, difícil de definir, decrece a medida que aumenta la velocidad del aire del ambiente (régimen turbulento). El aire tiene una resistividad elevada por lo tanto la capa de aire laminar ofrece una resistencia apreciable al flujo de calor que la atraviesa. El intercambio de calor en la superficie del elemento también está afectado por intercambio radiante que la misma mantiene con el entorno. Desde el punto de vista práctico estas resistencias están definidas para condiciones normales con los valores que se indican en la tabla 1. Considerando que la masa de aire exterior puede poseer un movimiento convectivo forzado importante producto del viento, ese valor de  $R_{se}$  es razonablemente bajo (siempre  $0,04 \text{ m}^2\text{C/W}$ ), mientras que los valores interiores dependen de la dirección del flujo de calor. En las cubiertas en verano el flujo de calor tiende a ingresar de manera contraria al flujo natural del aire caliente que sube, esta situación determina una  $R_{si}$  en verano superior al invierno.

Resistencias Superficiales [ $m^2C/W$ ] fuente: IRAM  
10601

Interior $R_{si}$			Exterior $R_{se}$		
Dirección del Flujo de Calor			Dirección del Flujo de Calor		
Horizontal	ascendente	descendente	Horizontal	ascendente	descendente
0.13	0.10	0.17	0.04	0.04	0.04



Las resistencias superficiales ( $R_{si}$  y  $R_{se}$ ) son las inversas de los respectivos coeficiente de conductividad superficial ( $h_e$  y  $h_i$ ) en  $W / m^2 \text{ } ^\circ C$

$$R_{si} = \frac{1}{h_i}$$

$$R_{se} = \frac{1}{h_e}$$

## Resistencia térmica del elemento constructivo

La resistencia térmica total del elemento constructivo se corresponde con la sumatoria de las resistencias parciales ( $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ ) de cada una de las capas (1, 2, 3, ..., n) que compone el cerramiento. Estas resistencias parciales pueden ser:

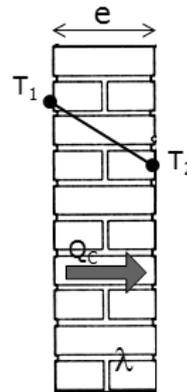
Compuestas por capas de materiales constructivos homogéneos, de elementos constructivos heterogéneos y/o cámaras de aire.

## Resistencia térmica de capas homogéneas

En el componente constructivo la resistencia ( $R_n$ ) depende exclusivamente de la capacidad del material de conducir el calor en su masa, propiedad física que se conoce como conductividad térmica ( $\lambda$ ). Es la propiedad del material que determina el flujo de calor que, por unidad de tiempo, atraviesa una unidad de espesor, para una unidad de superficie, sometido a una diferencia de temperatura de  $1 \text{ } ^\circ C$ .

Conductividad térmica	$\lambda$	$W / m^{\circ}C$	<i>Propiedad del material</i>
-----------------------	-----------	------------------	-------------------------------

La conductividad es una característica del material, independiente de la dimensión y del espesor del elemento constructivo. De tal manera que para conocer la conductancia, o mejor su inverso: la resistencia, es necesario afectarlo del espesor del componente, de tal manera que su resistencia térmica es:



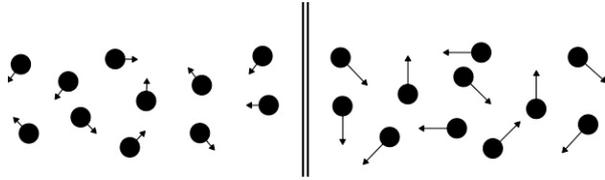
Resistencia térmica	$Rn = \frac{e}{\lambda}$	$m^2^{\circ}C / W$	<i>Propiedad del elemento constructivo</i>
---------------------	--------------------------	--------------------	--

## Capas aislantes térmicas

De acuerdo a la definición de la resistencia térmica vista anteriormente la cantidad de calor que atraviesa un elemento constructivo puede ser regulada con el espesor (+ espesor + resistencia) o con la conductividad (+conductividad ( $\lambda$ ) – resistencia). Las antiguas técnicas de construcción, basadas principalmente en componentes monocapa se valían del espesor para el control del paso del calor, en general de materiales pesados de alta conductividad, donde el aislamiento se veía favorecido, no solo por el espesor, también por la inercia térmica del material o su capacidad de acumular calor. Es lo que se conoce como aislamiento capacitivo. Las técnicas y sistemas actuales de constructivos, condicionadas por la necesidad de disminuir

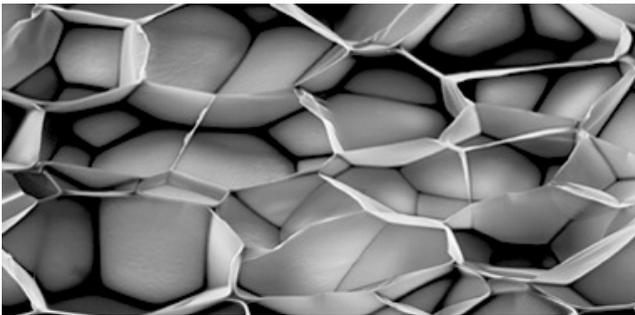
espesores de componentes y peso de los mismos, se basan en sistemas multicapa, donde cada capa o material cumple una función determinada. El aislamiento térmico en este caso se logra casi exclusivamente con la reducción de la conductividad térmica del material que compone la capa destinada a esta función. En este caso el aislamiento se conoce como resistivo, pues se basa en lograr una alta resistencia térmica con poco espesor. No existe un valor de referencia de la conductividad térmica para que un material sea definido como aislante, pero en general se caracterizan por poseer valores entre 0,03 a 0,05 W/m<sup>°</sup>C. Una capa de 5 cm de poliestireno expandido o lana de vidrio (0,03 W/m<sup>°</sup>C) tiene una resistencia al paso del calor de 1,6 W

m<sup>2</sup>°C, para lograr la misma capacidad de aislamiento resistivo con un tabique de hormigón (1,16 W/m°C) es necesario que el mismo tenga 1,9 metros.



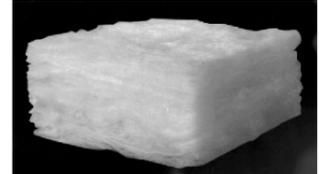
De tal manera que un aislante térmico se puede definir como aquel material que por poseer una alta resistencia térmica se convierte en una barrera entre dos medios que naturalmente tenderían a igualar su temperatura. Los materiales utilizados como aislantes térmicos pueden ser:

- Materiales porosos o fibrosos
- Lana de roca
- Lana de vidrio
- Vidrio celular
- Poliestireno expandido
- Poliestireno extruido
- Espuma de poliuretano
- Aglomerado de corcho
- Aislamiento celulósico
- Mortero de perlita y vermiculita

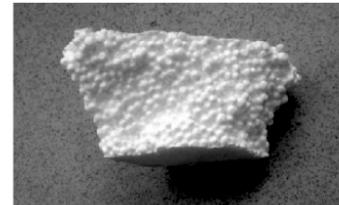
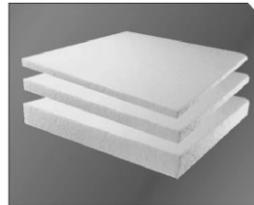


En la tabla se indican algunos materiales aislantes usuales y sus coeficientes de conductividad.

Valores de conductividad térmica de aislantes térmicos usuales [W/m°C)



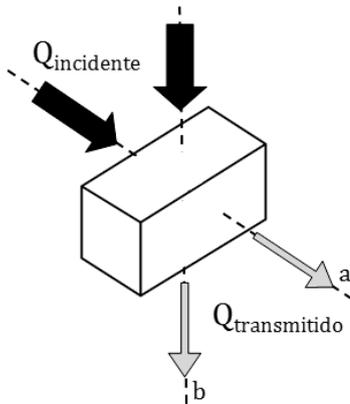
Material	Densidad Aparente kg/m <sup>3</sup>	Conductividad Térmica W/m °C
Lana de Vidrio	8 – 10	0.045
	11 – 14	0.043
	15 – 18	0.040
	19 – 30	0.037
	31 – 45	0.034
	46 - 100	0.033



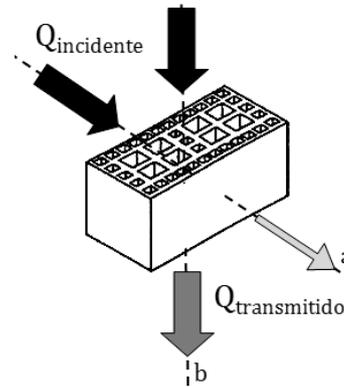
Material	Densidad Aparente kg/m <sup>3</sup>	Conductividad Térmica W/m °C
Poliestireno expandido en planchas	15	0.037
	20	0.035
	25	0.033
	30	0.032

## Resistencia térmica de capas no homogéneas

No siempre la resistencia térmica de una capa puede ser definida a partir de la conductividad térmica del material ( $e/\lambda$ ). Esto solo es válido para materiales de construcción más o menos homogéneos. Los elementos heterogéneos, aquellos cuyo comportamiento térmico depende del sentido del flujo de calor, poseen un valor de resistencia térmica tabulado especialmente para el sentido en el cual normalmente se utiliza el componente. Como elementos de construcción no homogéneos se pueden considerar los ladrillos cerámicos huecos y los bloques de hormigón.



Elemento homogéneo  
Flujo de calor vertical ( $b = a$ ) flujo de calor horizontal



Elemento heterogéneo  
Flujo de calor vertical ( $b \neq a$ ) flujo de calor horizontal

## Resistencia Térmica de Cámaras de Aire sin ventilación

La resistencia térmica de las cámaras de aire cerradas o sin ventilación depende de la emitancia de las superficies límites de la cámara de aire.

La emitancia de una superficie es la relación entre el flujo de calor radiante emitido por la misma ( $W/m^2$ ) y el flujo de calor radiante que emitiría un cuerpo negro con la misma superficie y a la misma temperatura. La mayor parte de los materiales utilizados en la construcción son de mediana o alta emitancia. En la tabla siguiente se clasifican algunos materiales comunes en función de la emitancia.

## Materiales según su emitancia

Superficie de mediana o alta emitancia (no reflectivas)		Superficie de baja emitancia (reflectiva)
Hierro galvanizado	Vidrio transparente	Película de aluminio (muy brillante) Lámina de aluminio Cincpulido Cobre pulido
Fieltro bituminoso	Mampostería de ladrillos comunes y cerámicos (rojos)	
Pintura blanca a la cal	Tejas cerámicas	
Pinturas	Tejas de pizarra	
Hormigón	Tejas asfálticas	
Poliestireno expandido	Mármol blanco	
Tierra	Revestimiento de yeso	
Arena	Granítico (rojizo)	
Madera		

### Resistencia Térmica de Cámaras de Aire sin ventilación fuente: IRAM 11601

Estado de las superficies de la cámara de aire	Espesor de la capa de aire (mm)	Resistencia Térmica en m <sup>2</sup> C/W		
		Dirección del Flujo de calor		
		Horizontal	ascendente	descendente
Mediana o alta emitancia	5 mm	0.11	0.11	0.11
	10 mm	0.14	0.13	0.15
	20 mm	0.16	0.14	0.18
	50 a 100 mm	0.17	0.14	0.21
Una o ambas superficies de baja emitancia	5 mm	0.17	0.17	0.17
	10 mm	0.29	0.23	0.29
	20 mm	0.37	0.25	0.43
	50 a 100 mm	0.34	0.27	0.61

Algunos materiales comercializados como aislantes térmicos se basan en el principio de mejora de la resistencia de las cámaras de aire cuando una de sus superficies es de baja emitancia. Es el caso de las láminas de burbujas o espuma de polietileno recubiertas con foil aluminizado en una de sus caras, con espesores totales que pueden estar en el orden de los 5 a 15 mm. La espuma de polietileno es un muy buen aislante térmico, con coeficientes de conductividad térmica ( $\lambda$ ) del orden de los 0,035 a los 0,045 W/m°C. Aunque su conductividad sea alta, para espesores reducidos la resistencia térmica no es tan importante, como lo es

la mejora de la resistencia térmica de la cámara de aire cuando el material se utiliza como terminación de las mismas, tanto en muros como en cubierta. Al ser una de las caras de aluminio se convierte la cámara de aire de alta emisividad en cámara de aire de baja emisividad, aumentando su eficiencia como aislamiento térmico. La tabla muestra los resultados comparados

## Ejemplo

Cámara de aire de 2 cm con espuma de polietileno de 1 cm recubierta con foil aluminizado.

Conductividad térmica aproximada de la capa de espuma de polietileno: 0,040 W/m°C

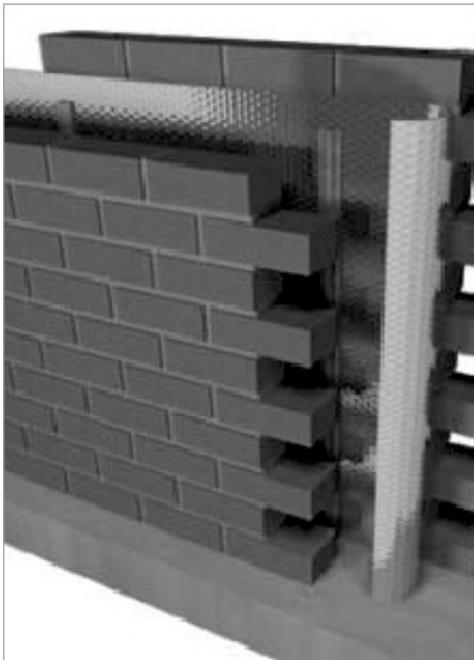
Espesor de la capa de espuma de polietileno: 10 mm

Resistencia térmica de la capa de espuma:  $0,010/0,040 = 0,23 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$

Emisividad 0,03

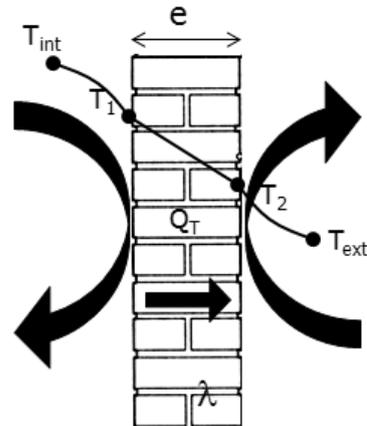
Cámara de aire 2 cm (baja emisividad):  $0,37 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$

Resistencia total de la cámara de aire:  $0,23 + 0,37 = 0,6 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$



## Resistencia térmica de un componente de aire a aire

Integrando estos conceptos la resistencia térmica total de un componente constructivo será la suma de cada una de las resistencias parciales.



Resistencia Térmica Total	$R_T = R_{si} + R_n + R_{se}$	$\text{m}^2\text{C}/\text{W}$
---------------------------	-------------------------------	-------------------------------

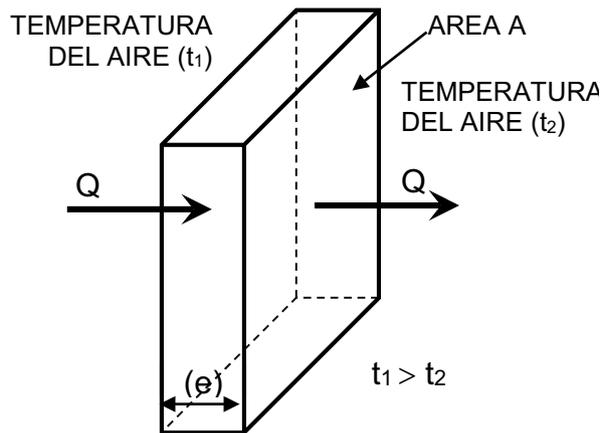
La inversa de la resistencia térmica total es lo que se conoce como coeficiente de transmitancia térmica total "K" que determina el flujo total de calor (W) que atraviesa un elemento de construcción de "aire a aire", por cada metro cuadrado y por cada grado de diferencia de temperatura.

Transmitancia Térmica total	$K = \frac{1}{R_T}$	$\text{W}/\text{m}^2\text{C}$
-----------------------------	---------------------	-------------------------------

Se define entonces al coeficiente K de transmitancia total como la cantidad de calor en W, que se transmite en una hora a través de un elemento constructivo de un m<sup>2</sup> de superficie, existiendo una diferencia de temperatura de 1°C entre una cara y la otra del muro.

Este parámetro permite conocer la cantidad de calor ( $Q_p$ ) que se transmitirá a través del muro que posee una superficie ( $A \text{ m}^2$ ) determinada y en una condición de temperaturas ( $t_1$ ) y ( $t_2$ ) conocidas para ambas caras.

$$Q_T = K A(t_1 - t_2)$$



La IRAM 11601 “Acondicionamiento Térmico de los Edificios – Propiedades Térmicas de los Materiales de Construcción en Régimen Estacionario” Tiene como objeto “Establecer los criterios de cálculo de resistencia térmica de muros y techos y los valores de transmisión térmica a temperatura media de  $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$  y humedad media de  $60\% \pm 10\%$ , de los materiales, espacios de aire y componentes funcionales más usuales en la construcción”.

El coeficiente de transferencia de calor total “K” se utiliza para el análisis de la transferencia de calor de un muro, cubierta u otro elemento de construcción. La norma IRAM 11601 establece un procedimiento de

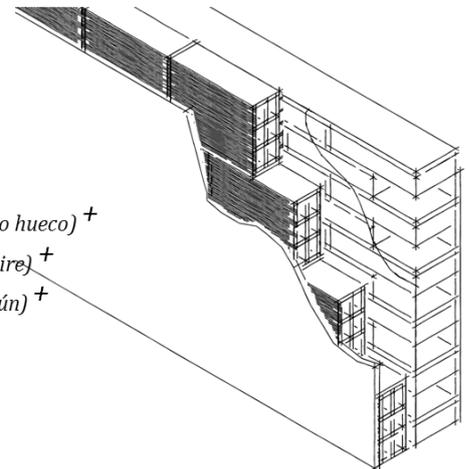
cálculo y algunos valores tabulados de conductividad térmica, resistencias térmicas y transmitancias.

Para los elementos constructivos simples los coeficientes K están tabulados en la IRAM 11601, por lo que no es necesario su cálculo. Para elementos compuestos o de características especiales deben calcularse a partir de los valores de conductividad térmica de los materiales o de las resistencias parciales de cada capa

Por lo general en los sistemas actuales de construcción los elementos constructivos son de múltiples capas o componentes, por lo que es necesario incluir la resistencia de cada capa (de 1 hasta n) en la sumatoria total.

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

$$R_T = R_{si} + R_1 (\text{revoque}) + R_2 (\text{Lad cerámico hueco}) + R_3 (\text{cámara de aire}) + R_4 (\text{ladrillo común}) + R_5 (\text{revoque}) + R_{se}$$



## Calculo del coeficiente de transmitancia total K

Para el cálculo del coeficiente de transmitancia térmica total K, se emplea la siguiente fórmula general.

$$R_T = \frac{1}{K} = R_{si} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{e_n}{\lambda_n} + R_c + R_e + R_{se} \left( \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \right)$$

Donde

$\lambda$ : Coeficiente de conductibilidad térmica W/m<sup>2</sup> °C.

De tablas IRAM 11601 para cada material;

K: coeficiente de transmitancia térmica total (W / m<sup>2</sup> °C)

Rt: resistencia térmica total (m<sup>2</sup> °C/ W);

Rsi: resistencia superficial interior (m<sup>2</sup> °C / W), IRAM 11601;

Rse: resistencia superficial exterior (m<sup>2</sup> °C / W), IRAM 11601;

e: espesor de los materiales (m).

Rc: resistencia cámaras de aire

Re: resistencia componentes o elementos heterogéneos

### Ejemplo 1

Aplicando la IRAM 11.601, calcular la resistencia térmica total de un muro, formado por mampostería de 12,5 cm de espesor y revoque de ambas caras 2 cm.

Se establece según las tablas (anexo):

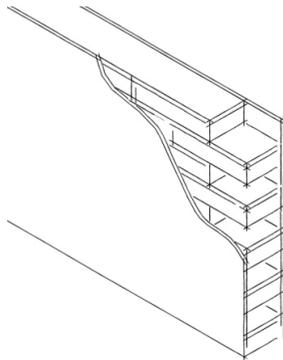
Mampostería de ladrillo macizos (1600 kg/m<sup>3</sup>);  $\lambda = 0,81$  W/m°C

Revoque interior (1900 kg/m<sup>3</sup>);  $\lambda = 0,93$ W/m°C

Revoque exterior (2000 kg/m<sup>3</sup>);  $\lambda = 1,16$ W/m°C

Rsi = 0,13 m<sup>2</sup>°C/W

Rse = 0.04 m<sup>2</sup>°C/W



$$R_t = \frac{1}{K} = 0.13 + \frac{0.02}{0.93} + \frac{0.125}{0.81} + \frac{0.02}{1.16} + 0.04 = 0,36 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \quad K = \frac{1}{0.36} = 2,75 W / m^2 \cdot ^\circ C$$

capa Nro	Especificación	espesor (e) (m)	Conductiv. ( $\lambda$ ) (W/m <sup>2</sup> °C)	Res.térmica (e/ $\lambda$ ) (m <sup>2</sup> °C/W)
1	RSI	--	--	0,13 <small>W/m<sup>2</sup>°C</small>
2	revoque interior	0,02	0,93	0,022
3	Ladrillo Común	0,125	0,81	0,154
4	Revoque exterior	0,02	1,16	0,017
5	RSE	--	--	0,04

Espesor total

0,165

resist. térmica

0,36

K = 2,75

### Ejemplo 2

Aplicando la IRAM 11.601, calcular la resistencia térmica total de un muro, formado por mampostería de 12,5 cm de espesor, cámara de aire de 5 cm, ladrillo cerámico de 8 cm y revoque de ambas caras 2 cm.

Se establece según las tablas (anexo):

Mampostería de ladrillo macizos (1600 kg/m<sup>3</sup>);  $\lambda = 0,81 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

Cámara de aire  $R_c = 0,16 \text{ m}^2\text{C/W}$  (2 cm)

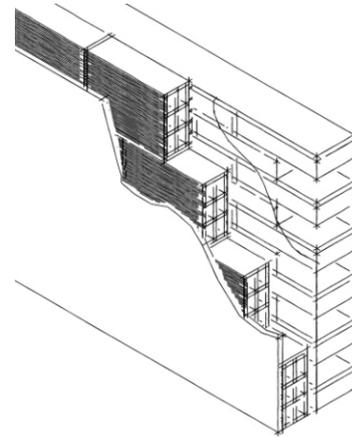
Resistencia ladrillo cerámico  $R_e = 0,23$

Revoque interior (1600 kg/m<sup>3</sup>);  $\lambda = 0,81 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

Revoque exterior (1600 kg/m<sup>3</sup>);  $\lambda = 0,81 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{C/W}$

$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{C/W}$



$$R_{se} = 0.04 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$R_t = \frac{1}{K} = 0.13 + \frac{0.02}{0.93} + \frac{0.125}{0.81} + 0.16 + 0.23 + \frac{0.02}{1.16} + 0.04 = 0,75 \frac{\text{m}^2\text{C}}{\text{W}}$$

$$K = \frac{1}{0.75} = 1,33 \text{ W/m}^2\text{C}$$

capa Nro	Especificación	espesor (e) (m)	Conductiv. ( $\lambda$ ) ( $\text{W/m}^2\text{C}$ )	Res.térmica ( $e/\lambda$ ) ( $\text{m}^2\text{C/W}$ )
1	RSI	--	--	0,13
2	revoque interior	0,02	0,93	0,022
3	Ladrillo cerámico hueco	0,08	--	0,23
4	Cámara de aire	0,05	--	0,16
5	Ladrillo Común	0,125	0,81	0,154
6	Revoque exterior	0,02	1,16	0,017
7	RSE	--	--	0,04

Espesor total

0,275

resist.  
térmica

0,75

En el ejemplo 2 se podría modificar la cámara de aire, reemplazando la capa por un aislante térmico, por ejemplo, poliestireno expandido de 2 cm de espesor.

En el cálculo se deberá reemplazar la resistencia de la cámara de aire por la resistencia del aislante ( $e/\lambda$ ). Se considera un valor de  $\lambda = 0,033 \text{ W/m}^2\text{°C}$ . Al incorporar el aislante se observa la importante mejora en la resistencia térmica del muro.

$$R_t = \frac{1}{K} = 0,13 + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,125}{0,81} + \frac{0,02}{0,033} + 0,23 + \frac{0,02}{1,16} + 0,04 = 1,2 \frac{\text{m}^2\text{°C}}{\text{W}}$$

$$K = \frac{1}{1,2} = 0,83 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

capa Nro	Especificación	espesor (e) (m)	Conductiv. ( $\lambda$ ) ( $\text{W/m}^2\text{°C}$ )	Res.térmica ( $e/\lambda$ ) ( $\text{m}^2\text{°C/W}$ )
1	RSI	--	--	0,13
2	revoque interior	0,02	0,93	0,022
3	Ladrillo cerámico hueco	0,08	--	0,23
4	Poliestireno expandido	0,05	0,033	1,515
5	Ladrillo Común	0,125	0,81	0,154
6	Revoque exterior	0,02	1,16	0,017
7	RSE	--	--	0,04

Espesor total

0,275

resist.  
térmica  
total

1,2

K =

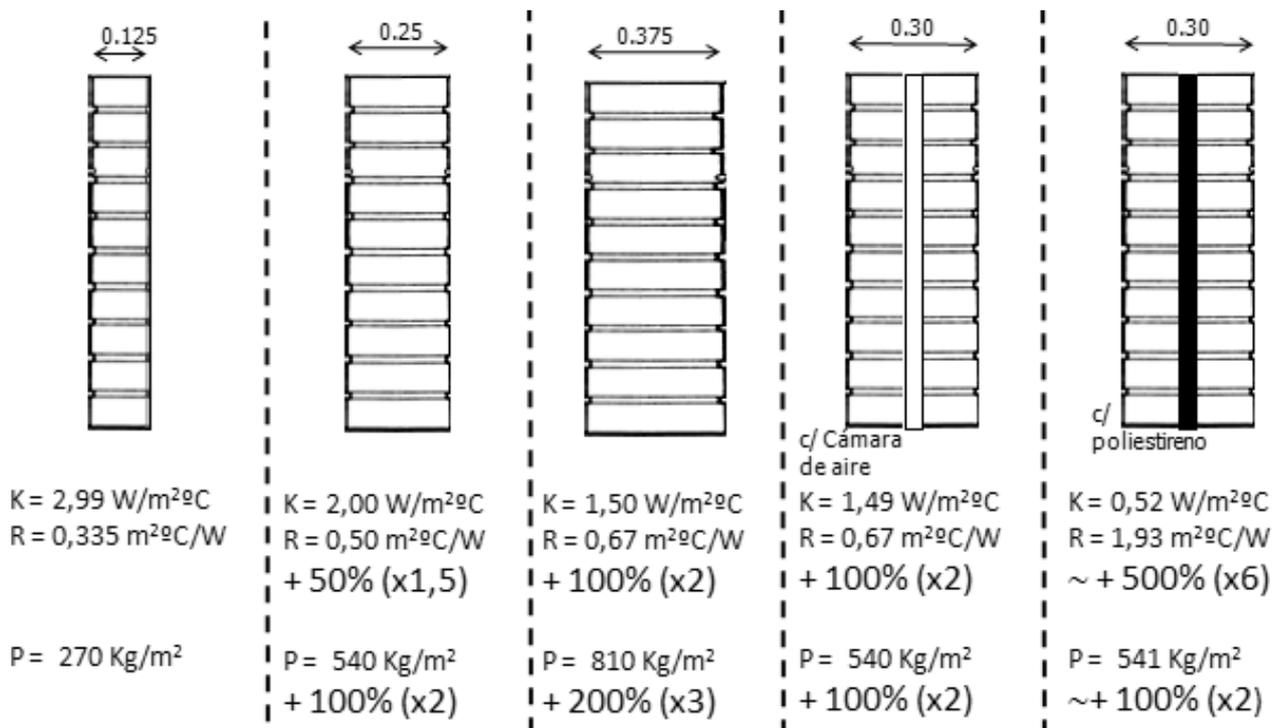
0,83

$\text{W/m}^2\text{°C}$

El aumento progresivo de la Resistencia térmica, que se produce desde el componente monocapa y homogéneo hasta el componente multicapa con aislante térmico, se destaca la relación cada vez más eficiente entre el aislamiento que se logra y la disminución del peso del componente, aspecto de importancia en la construcción actual. En la figura se muestra para una construcción basada solo en ladrillo común el aumento de la resistencia térmica a la par del aumento del peso en diferentes configuraciones. El aumento de la masa como recurso de incremento de aislamiento tiene un límite, duplicar la resistencia térmica implica aumentar tres veces la masa y espesor del muro monocapa. La

opción de dividir la masa con cámara de aire permite también duplicar la resistencia pero con el doble de masa, y en caso de que la capa intermedia incorpore un aislante el peso total sigue siendo el doble, pero la resistencia del conjunto multicapa ha aumentado en 6 veces.

El paso siguiente en el proceso de adaptación de la construcción pesada a liviana, es reemplazar alguno de los muros por componentes o capas de menor peso y/o espesor hasta alcanzar un cerramiento de construcción liviana y eficiente, en donde cada capa cumple con una función predeterminada.



## Transmitancia Térmica de Ventanas (vertical)

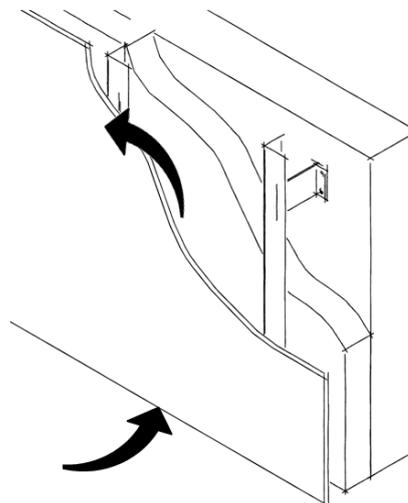
Exceptuando el vidrio común o similares como el policarbonato, cuyos valores de K o resistencia térmica podría ser calculados a partir de la conductividad del material, en general se plantean como elementos compuestos, pues están conformados por elementos adicionales como cortinas de madera, internas o cámaras de aire, para los cuales se informe un valor de transmitancia térmica del conjunto. La IRAM 11601 da valores de K para diferentes configuraciones (tabla 3).

### Transmitancia Térmica de Ventanas (vertical)

TIPO	(K) W / m <sup>2</sup> °C
Vidrio Incoloro	5.82
Vidrio incoloro común con cortina de madera (cerrada)	2.79
Vidrio incoloro común con cortinas internas	5.00
Policarbonato transparente incoloro de 3 mm de espesor	5.46
Doble vidriado hermético con vidrio incoloro común y cortina de madera (cerrada)	2.15
Doble vidriado hermético compuesto por dos vidrios comunes incoloros de 3 mm cada uno y una cámara de aire de 6 mm	3.23
Doble vidriado hermético compuesto por dos vidrios comunes incoloros de 3 mm cada uno y una cámara de aire de 12 mm	3.08

## Transmitancia térmica de envolventes con cámaras de aire ventiladas

Las cámaras de aire ventiladas en un componente constructivo, sea muro o cubierta, significan una variante importante en su configuración, con una influencia decisiva de importancia en el comportamiento higrotérmico. La presencia de un flujo de aire en movimiento en la cámara hace que su resistencia térmica se modifique, no pudiendo ser valorada de acuerdo a

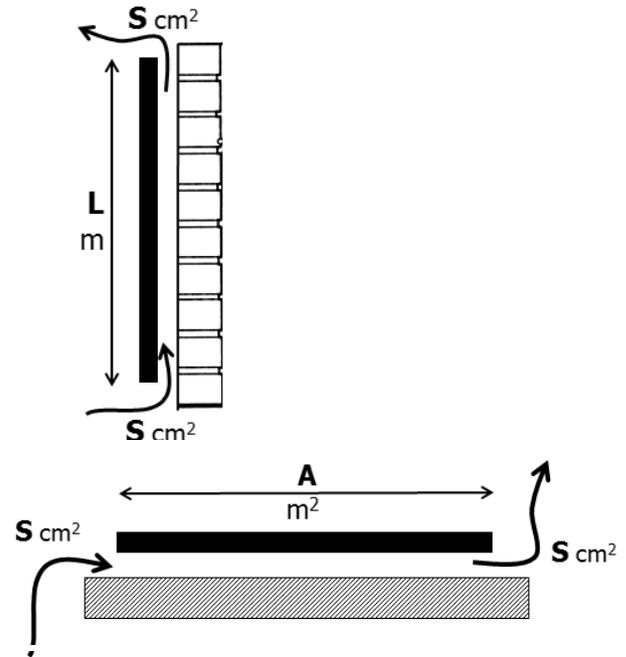


los criterios planteados para cámaras de aire sin ventilación vistas anteriormente. La resistencia térmica del conjunta está influenciada básicamente por la magnitud del flujo de aire que circula por la cámara, que se encarga de disipar o transferir por convección el calor que originalmente se transmitía solo por radiación entre las paredes de la cámara de aire y por conducción de la masa de aire en reposo.

La cámara de aire ventilada implica una configuración del componente constructivo de grandes posibilidades para el control térmico de las envolventes, dando lugar a lo que se conocen como fachadas y cubiertas ventiladas o transventiladas. Esquemáticamente un componente ventilado está compuesto por dos capas: la externa, hacia el exterior de la cámara de aire, y la interna, correspondiéndose con el cerramiento hacia el local habitable. En general cada capa cumple un rol muy diferenciado que debe ser tenido en cuenta al momento de verificar su comportamiento térmico. El aislamiento térmico resistivo principal lo cumple la capa

interna, en la cual se integran los materiales aislantes térmicos y barrera de vapor. Mientras que la capa externa cumple roles diferentes: en principio aumenta la resistencia superficial externa del cerramiento, al disminuir la exposición directa a los agentes ambientales exteriores; mientras que en verano controla la irradiancia solar directa de la capa interna, disminuyendo la carga solar y sobre todo favorece la disipación de calor por convección disminuyendo la carga térmica global.

Estos últimos aspectos deben ser considerados en todo estudio de la envolvente en régimen variable. Mientras que para los balances de régimen estacionario, normalmente utilizados, será suficiente evaluar la influencia de la cámara de aire en la resistencia global del cerramiento. Esto último depende básicamente del grado de ventilación de la cámara de aire, que depende de las relaciones entre las áreas de entrada y salida ( $S$ ) con la altura ( $L$ ), en caso de un muro, y con la superficie ( $A$ ) en caso de una cubierta.



Clasificación de las cámaras de aire ventiladas según IRAM

Componente	A	Sin ventilación o débilmente ventilada	B	Medianamente ventilada	C	Muy ventilada
Vertical		$S / L < 20$		$20 \leq S / L < 500$		$S / L \geq 500$
Horizontal		$S / A < 3$		$3 \leq S / A < 30$		$S / A \geq 30$

Desde el punto de vista de la transmitancia térmica es evidente que mientras mayor ventilación tenga la cámara, menor será la resistencia de la misma al paso del calor. Si la cámara de aire no está ventilada, o lo está débilmente, caso A, la resistencia térmica global de todo el conjunto se calcula normalmente.

Mientras que si la cámara de aire está medianamente o muy ventilada la capa externa no interviene en el cálculo, aunque como se mencionó anteriormente, contribuye a mejorar la resistencia superficial externa del cerramiento, por lo que esta última, en la práctica, puede alcanzar un valor similar al interior.

$$R_T = R_{se} + R_{capa\ extern} + R_{camara\ de\ aire} + R_{capa\ interna} + R_{si}$$

$$R_T = 2 \cdot R_{si} + R_{capa\ interna}$$

Cuando la cámara de aire es medianamente ventilada la resistencia térmica total será un valor intermedio, dependiendo de las relaciones de resistencia de ambas capas y del nivel de ventilación de la cámara. A los fines prácticos se puede recomendar adoptar el criterio de cámara muy ventilada. En caso de que se requiera una precisión mayor se recomienda recurrir al procedimiento de cálculo establecido en la IRAM 11601.

## Valores de transmitancia térmica máximos admisibles

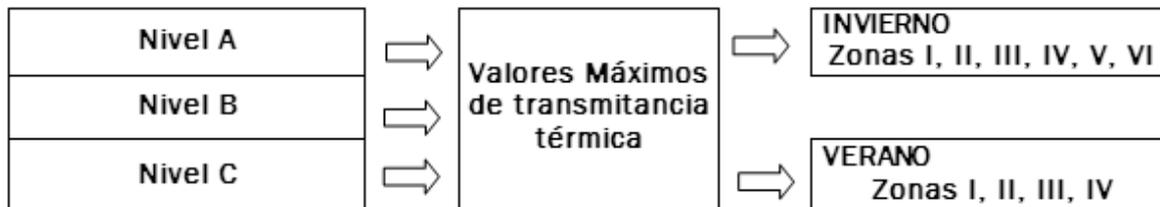
La IRAM 11605 “Condiciones de habitabilidad en viviendas. Valores máximos admisibles de transmitancia térmica en cerramientos Opacos” tiene como objeto “Establecer los valores máximos admisibles de transmitancia térmica K y formas de protección solar para cada

una de las zonas bioambientales en que se ha dividido el país según Norma IRAM 11603, así como los valores admisibles de infiltración de aire para la carpintería exterior y la verificación de puentes térmicos de manera tal de asegurar condiciones mínimas de habitabilidad en las viviendas”. El valor máximo de transmitancia térmica se establece en función de la temperatura exterior de diseño, la zona geográfica de ubicación y de la posición del elemento de cerramiento.

### ***Niveles De Confort Higrotérmico***

La norma define tres niveles de confort higrotérmico, cada uno con un mayor grado de exigencia:

NIVEL A: Recomendado    NIVEL B: Medio    NIVEL C: Mínimo



Los valores máximos de transmitancia térmica para cualquier nivel deberán ser verificados en invierno para todas las zonas bioclimáticas y en verano solo para las zonas I, II, III y IV. En las zonas donde se verifica invierno y verano se deberá adoptar la condición más exigida ( $K_{\text{MAXIMO}}$  menor).

El criterio adoptado para la definición de los tres niveles de confort higrotérmico es buscar que los valores de K verifiquen simultáneamente las alternativas a y b para el invierno y la alternativa b para el verano:

Temperaturas interiores para cada nivel

		<b>NIVEL A</b>	<b>NIVEL B</b>	<b>NIVEL C</b>
a	Temperatura Interior de Diseño para verificar condensación superficial	22 °C	20°C	18°C
b	Diferencia entre la temperatura interior y la superficial de un cerramiento	1°C	2.5°C	4°C

Valores de Kmax admisible para condición de verano

Zona bioambiental	Nivel A		Nivel B		Nivel C	
	Muros	Techos	Muros	Techos	Muros	Techos
I y II	0.45	0.18	1.10	0.45	1.80	0.72
III y IV	0.50	0.19	1.25	0.48	2.00	0.76

Valores de Kmax admisible para condición de invierno

Temperatura Exterior de Diseño	Nivel A		Nivel B		Nivel C	
	Muros	Techos	Muros	Techos	Muros	Techos
-15	0.23	0.2	0.6	0.52	1.01	1
-14	0.23	0.2	0.61	0.53	1.04	1
-13	0.24	0.21	0.63	0.55	1.08	1
-12	0.25	0.21	0.65	0.56	1.11	1
-11	0.25	0.22	0.67	0.58	1.15	1
-10	0.26	0.23	0.69	0.6	1.19	1
-9	0.27	0.23	0.72	0.61	1.23	1
-8	0.28	0.24	0.74	0.63	1.28	1
-7	0.29	0.25	0.77	0.65	1.33	1
-6	0.3	0.26	0.8	0.67	1.39	1
-5	0.31	0.27	0.83	0.69	1.45	1
-4	0.32	0.28	0.87	0.72	1.52	1
-3	0.33	0.29	0.91	0.74	1.59	1
-2	0.35	0.3	0.95	0.77	1.67	1
-1	0.36	0.31	0.99	0.8	1.75	1
> 0	0.38	0.32	1	0.83	1.85	1

## 3.2 PUENTES TÉRMICOS

La envolvente de un edificio es caracterizada, inicialmente y de manera elemental, simplemente a partir del comportamiento del material o elemento constructivo seleccionado para el cerramiento, como una piel ininterrumpida, sin solución de continuidad, en la cual aparentemente se mantienen las condiciones y su comportamiento frente a la transferencia de energía entre el interior y el exterior. Es así como se adopta un determinado muro pues su transmitancia térmica  $K$  cumple con los valores admisibles para la situación en la que se encuentra el edificio.

En la realidad no existe, al menos en la práctica edilicia habitual, una envolvente continua uniforme y homogénea con una misma resolución y comportamiento en toda su extensión.

Un aspecto de especial importancia y cuidado en la transferencia de energía a través de la envolvente de un edificio es la evaluación y estudio de sus discontinuidades: puntos o aéreas singulares o repetidas, donde se modifican las condiciones del proceso de transferencia.

Estas discontinuidades pueden ser:

**Funcionales:** Aquellas que responden a un requerimiento específico. Las aberturas son el ejemplo característico de una discontinuidad funcional, en el caso de las ventanas derivada del requerimiento de iluminación. No se pueden evitar pero si deben ser dimensionadas adecuadamente a los efectos de minimizar sus efectos.

**Constructivas:** son derivadas de las soluciones técnicas adoptadas para la materialización de las envolventes. Por ejemplo: uniones de cerramientos, elementos estructurales, marcos y elementos de sujeción de aberturas, etc.

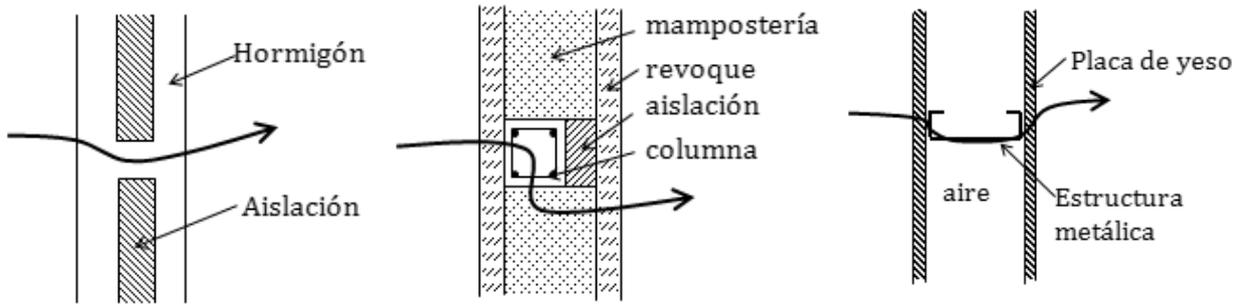
Las discontinuidades afectan de manera directa e importante el comportamiento de la envolvente frente a los procesos de transferencia de energía.

Una discontinuidad funcional por lo general implica un debilitamiento inevitable de la envolvente, que deberá ser dimensionado y equilibrado ( $K$  medio ponderado). Una discontinuidad constructiva mal resuelta es lo que se conoce como “puente térmico” para el paso del calor, una zona en donde la transferencia de la energía es más importante afectando el comportamiento de la totalidad de la envolvente.

De tal manera que, si bien es un paso de gran importancia la verificación de los coeficientes de transmisión global de calor de la envolvente de un edificio en función del  $K$  máximo admisible por zona, muchas veces no es suficiente y se hace necesario la verificación de los posibles puentes térmicos que posea el elemento constructivo.

Si bien los puentes térmicos pueden implicar un aumento de las pérdidas de calor del edificio, la importancia de su verificación se relaciona, principalmente, con el posible riesgo de condensación superficial.

De acuerdo a la IRAM 11549 (Aislamiento térmico de edificios - vocabulario) un “puente térmico (thermal bridge) es la heterogeneidad de un elemento constructivo que forma parte de la envolvente de un edificio (pared, piso, techo, etc.) que ocasiona mayor flujo de calor a través de esta, favoreciendo la condensación superficial”.



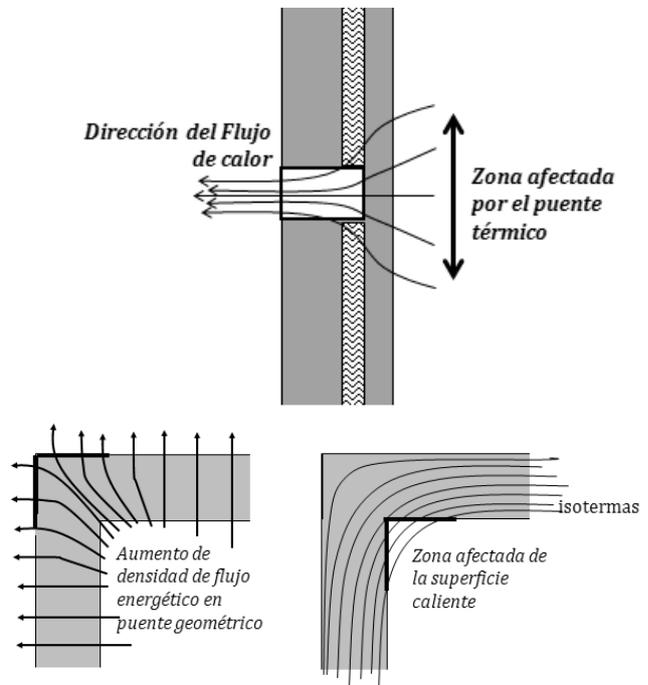
*Ejemplos de puentes térmicos*

Las causas de la producción de condensación superficial en la zona del puente térmico está relacionada con la disminución de la temperatura de la superficie del muro a valores que se encuentran por debajo de la temperatura de rocío de la condición de aire interior. La disminución de la temperatura superficial interior en la zona del puente térmico es la consecuencia directa del incremento de transmitancia térmica resultante.

La heterogeneidad por lo general esta materializada por una zona en donde la resistencia térmica de la misma es inferior a la del resto del cerramiento. Estos puentes térmicos, denominados constructivos, están ocasionados por diversas razones de tipo técnico que no permiten el desarrollo de una continuidad absoluta del cerramiento.

La resistencia térmica global de la pared disminuye de manera muy importante incluso frente a puentes térmicos de reducidas dimensiones. El área de superficie caliente del muro afectada por el puente térmico es mucho mayor que el área de puente propiamente dicho, esta situación aumenta el efecto nocivo del puente.

La forma de la envolvente, con la aparición de bordes y esquinas exteriores, produce en estos puntos singulares del edificio otro tipo de puente térmico conoci-



do como de tipo geométrico, en estos casos existe un aumento de la densidad del flujo térmico, producido por la transformación del flujo unidimensional ideal dentro del cerramiento a un flujo de tipo bi o tridimensional.

Entre los efectos negativos, producto de la aparición de puentes térmicos, se pueden enunciar básicamente dos:

1. Aumento de las pérdidas de calor del edificio. La disminución de la resistencia térmica en la zona del puente térmico implica directamente una posibilidad mayor de pérdidas del flujo de calor del interior al exterior del edificio.
2. Considerando que existe en la zona del puente térmico un flujo de energía mayor que en el resto de la envolvente, es fácil demostrar que en esa zona la temperatura superficial del elemento constructivo será menor, y en muchos casos menor a la temperatura de rocío de la masa de aire interior, con lo cual se favorece la condensación superficial en el área correspondiente al puente térmico.

Afectan el confort interior y producen efectos patológicos en las superficies interiores.



La IRAM 11605 plantea algunas consideraciones frente a la regulación de los puentes térmicos en los elementos constructivos:

Fuente: <https://maestroalarife.files.wordpress.com/2013/04/condensacion1.jpg>  
Fuente: <http://www.dpcon.es/humedadescondensacion/>

<p>En todos los casos la transmitancia térmica para un puente térmico <math>K_{pt}</math> no debe ser más del 50% mayor que el valor de transmitancia térmica del muro opaco <math>K_{mo}</math>, es decir:</p>	$\frac{K_{pt}}{K_{mo}} \leq 1,5$	<p>Si los puentes térmicos lineales se encuentran con una distancia de 1,7 metros o menor entre ellas, deberá reducirse este porcentaje al 35%. Luego:</p>	$\frac{K_{pt}}{K_{mo}} \leq 1,35$
---	----------------------------------	--	-----------------------------------

Se permiten puentes térmicos cuyas transmitancias térmicas sean mayores cuando:

$$K_{pt} < K_{MAX ADMISIBLE} \text{ ó } \frac{t_i - t_{pt}}{t_i - t_{mo}} \leq 1,5$$

# 3.3 RIESGOS DE CONDENSACION

## La condensación superficial

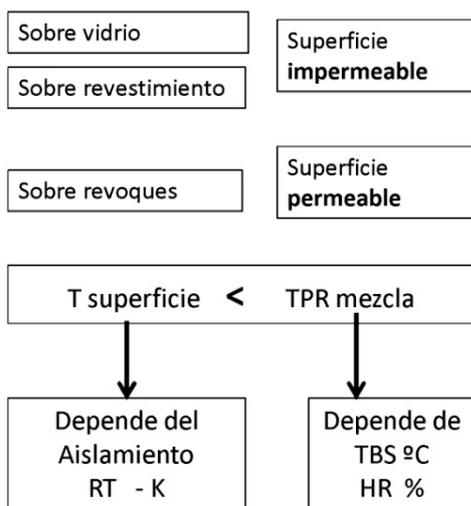
Muchas veces hemos observado, que la humedad del aire contenido en los locales suele condensarse en la superficie de los paramentos, caso típico el de los vidrios que “transpiran”. Ello sucede pues la temperatura superficial interior de dicho paramento (TSI) es menor o igual que la temperatura de rocío (TPR) de la masa de aire.

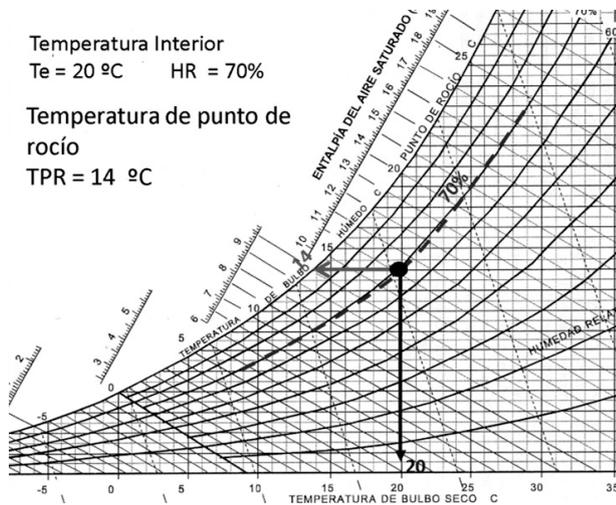
La condensación superficial no solo se produce sobre los vidrios o superficies similares, se produce sobre cualquier superficie cuya temperatura sea inferior a la TPR. En el caso de los vidrios, o los revestimientos sanitarios, la condensación es visible y evidente pues la superficie es impermeable. En otro tipo de superficies permeables, como los revoques, el agua es absorbida



por el material produciendo otros efectos o patologías como formación de hongos, ennegrecimiento, desprendimientos de revestimientos por absorción de humedad, oxidación de componentes metálicos, entre otros.

### ¿Cuándo se produce la condensación?

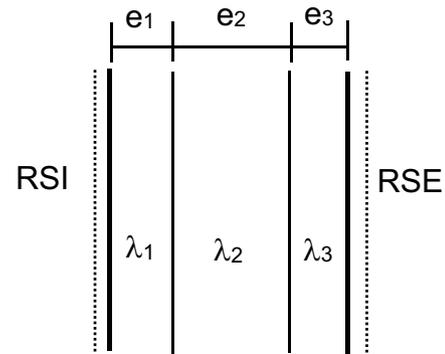




La temperatura de la superficie está directamente relacionada con la resistencia térmica del componente, mientras que la temperatura de punto de rocío TPR depende de la TBS y la HR de la masa de aire interior. La temperatura de rocío (TPR) es aquella a la cual se produce la condensación del vapor de agua que contiene el aire en ciertas condiciones de temperatura y humedad. La TPR es determinada fácilmente con el diagrama psicrometrico.

Para verificar si un paramento posee las condiciones necesarias para que no se produzca dicha condensación podemos valernos de un método gráfico muy práctico. Consiste en determinar la posición de un plano ficticio de condensación en el paramento en cuestión y verificar la posibilidad de condensación según dicho plano esté o no en contacto con el aire.

Supongamos un cerramiento compuesto de la siguiente manera:

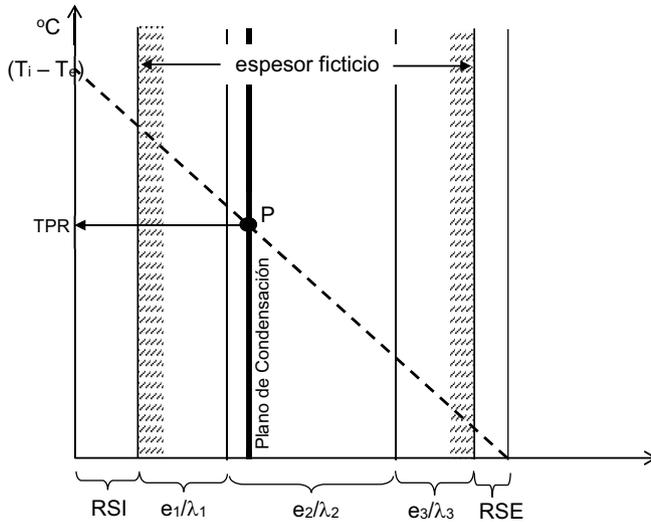


La Resistencia Total ( $R_t$ ) del cerramiento al paso del calor es:

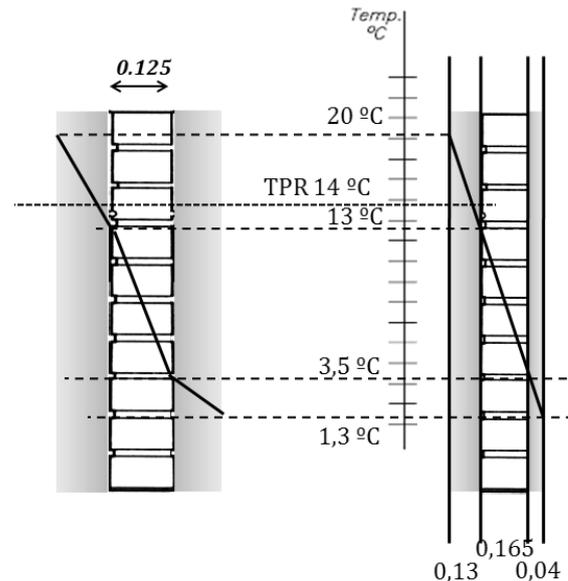
$$R_t = \frac{1}{K} \quad R_t = RSI + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3} + RSE$$

Cada uno de los términos que componen la resistencia total representa la resistencia de cada capa del cerramiento, valores que se representan, en un sistema de coordenadas cartesianas rectangulares en el eje positivo de las abscisas, tal como se indica en el gráfico. Sobre el eje de las ordenadas se lleva la diferencia de temperaturas entre interior y exterior es decir ( $T_i - T_e$ ). Pueden adoptarse escalas diferentes para ordenadas y abscisas.

## Ejemplo 1 / Muro ladrillo común 12,5 cm



Se unen los valores máximos obtenidos en ambos ejes obteniéndose un segmento. Trazamos luego horizontal (paralela al eje de las x) por el valor  $y = tpr$ , que para las condiciones de  $18^\circ\text{C}$  y 75% de humedad relativa corresponde a una  $tpr = 13^\circ\text{C}$ . Donde esta recta corte al segmento trazado anteriormente se obtiene el punto P, que pertenece a la traza vertical del plano de condensación. Esta traza, para que no se produzca condensación superficial, deberá quedar generosamente dentro del espesor ficticio del cerramiento. Si la misma coincide con la superficie interior del muro significa que existe riesgo de condensación superficial.



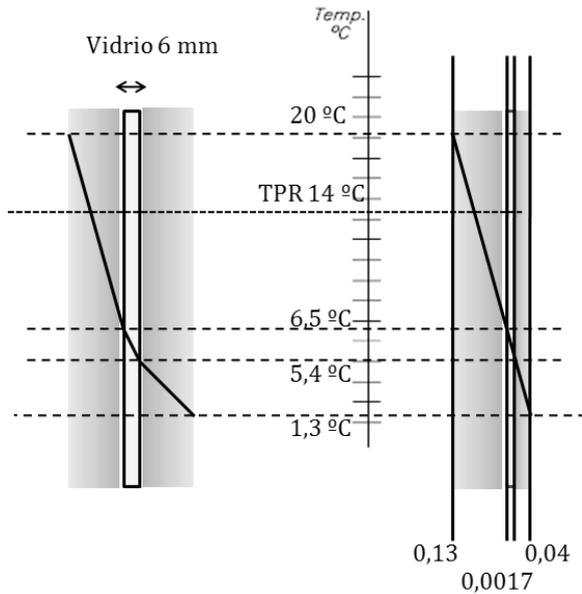
Temperatura Interior  
 $T_e = 20^\circ\text{C}$  HR = 70%

**Córdoba**

TDMN exterior invierno =  $1,3^\circ\text{C}$

SI existe riesgo de condensación superficial

## Ejemplo 2 / Vidrio 6 mm



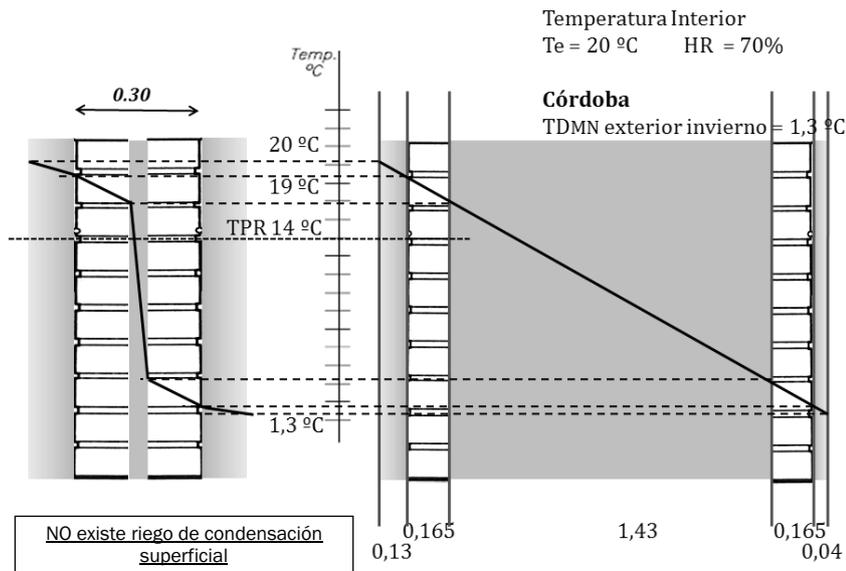
Temperatura Interior  
 $T_e = 20 \text{ °C}$      $HR = 70\%$

**Córdoba**

TDMN exterior invierno = 1,3 °C

Si existe riesgo de condensación superficial

## Ejemplo 3/ Doble muro ladrillo común 12,5 cm con aislante térmico



Temperatura Interior  
 $T_e = 20 \text{ °C}$      $HR = 70\%$

**Córdoba**

TDMN exterior invierno = 1,3 °C

## La condensación intersticial

La IRAM 11625 (Acondicionamiento térmico de edificios. Verificación del Riesgo de Condensación de Vapor de Agua, Superficial e Intersticial, en Muros, Techos y otros Elementos Exteriores de Edificios), establece las condiciones y un procedimiento para la verificación del riesgo de condensación de vapor de agua tanto superficial como intersticial en los paños centrales de muros exteriores. Los paños se consideran centrales hasta una distancia de 0,5 metros de las aristas.

Para evaluar la condensación intersticial es necesario conocer la resistencia a la difusión del vapor de agua ( $R_V$ ) de cerramiento en estudio. En un elemento constructivo de múltiples capas cada una de ellas tiene un comportamiento, o resistencia, diferente al paso del vapor de agua, dependiendo de su permeabilidad ( $\delta$ ) en caso de material constructivos de espesor variable ( $e$ ), o de su permeancia ( $\Delta$ ) cuando se trata de pinturas o películas como hojas de aluminio o polietileno de espesor pequeño.

$$R_V = \frac{e}{\delta} \quad \text{ó} \quad \frac{1}{\Delta}$$

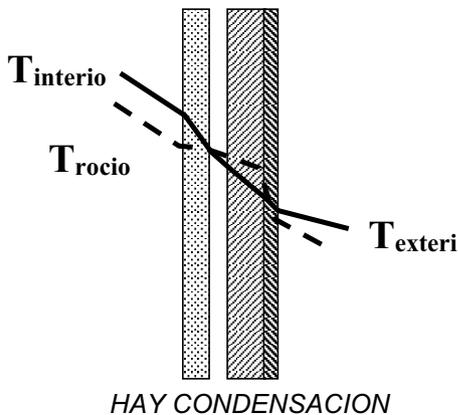
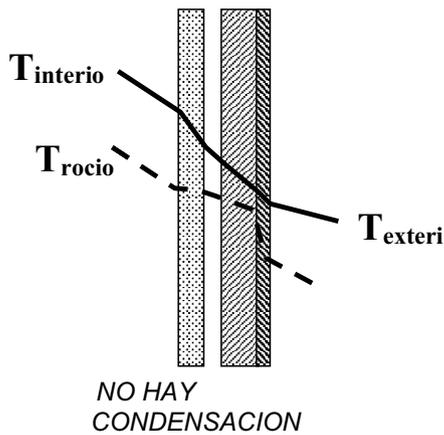
Aquellos materiales como las pinturas impermeables, las láminas de aluminio o los tejidos de polipropileno, que tienen valores altos de resistencia a la difusión de vapor se conocen como barreras de vapor y se utilizan principalmente para el control del riesgo de condensación intersticial. Una barrera de vapor es entonces, de acuerdo a la IRAM 11625, una “capa de material que, generalmente de espesor pequeño, ofrece una alta resistencia al pasaje de vapor, su permeancia debe ser menor que 0,75 g/m<sup>2</sup>h kPa.”

Una permeancia de 0,75 g/m<sup>2</sup>h kPa se corresponde con una resistencia al paso del vapor de 1,33 m<sup>2</sup>h kPa/g. En la tabla se indican algunos valores de  $R_V$ , permeancia o permeabilidad. En el anexo se adjunta una tabla con valores orientativos.

Valores de permeabilidad y permeancia de algunos materiales

Material	Espesor	Permeabilidad al vapor de agua g/m.h.kPa	Permeancia al vapor de agua g/m <sup>2</sup> .h.kPa	Resistencia al vapor de agua m <sup>2</sup> .h.kPa/g
	$e$	$\delta$	$\Delta$	$R_V$
Lana de vidrio	5 cm	0,5		0,10
Poliestireno expandido en planchas	5 cm	0,015		3,33
Mampostería de ladrillos comunes macizos con mortero de asiento y sin revoque	12,5 cm	0,08		1,56
Polietileno	0,2 mm		0,008	125
Tejido de polipropileno	4 mm		0,115	8,7
Hoja de aluminio	0,08 mm		0,011	89

Para verificar la existencia o no de condensación intersticial es necesario comparar la temperatura (TBS) a la cual se encuentra cada capa con la temperatura de punto de rocío (TPR). La TBS de cada capa depende de la resistencia térmica de la misma, mientras que la TPR depende de la resistencia al paso de vapor de agua, que modifica la presión a la cual se encuentra el vapor de agua en cada capa. Si la TPR es superior a la TBS existe condensación intersticial en la capa considerada.



Esta situación es propia de los sistemas constructivos actuales multicapas. La existencia de aislantes térmicos que bajan abruptamente la TBS dentro del muro, pero que ofrecen una baja o nula resistencia al paso del vapor, son potencialmente productores de riesgos de condensación intersticial en la zona del aislante. Esta situación se controla incorporando antes del aislamiento una capa de alta resistencia al paso del vapor (barrera de vapor), que se ocupa de bajar la presión de vapor antes de la capa aislante y por lo tanto disminuir la TPR. Por lo anterior es común que se recomiende colocar siempre una barrera de vapor del lado caliente del aislante térmico.

## Método de Verificación del riesgo de condensación intersticial

*1. Cálculo de las temperaturas sensibles (TBS) de las distintas capas:* Se deben calcular las temperaturas en los distintos planos de un cerramiento mediante las siguientes expresiones:

$$t_1 = t_i$$

$$t_2 = t_i - \frac{\Delta t R_{si}}{R_t}$$

$$t_n = t_e$$

$t_1, t_2, \dots, t_n$  : temperatura de los planos considerados.

$t_i$  : temperatura interior de diseño

$t_e$  : temperatura exterior de diseño

$\Delta t$  : Diferencia de temperatura entre el interior y el exterior

$R_{si}$  : Sumatoria de las resistencias térmicas de las capas ubicadas hacia el interior de la capa considerada.

$R_t$  : Resistencia térmica total.

2. Cálculo de la resistencia a la difusión del vapor de agua del cerramiento: se calcula por la siguiente expresión:

$$R_v = \frac{e_1}{\delta_1} + \frac{e_2}{\delta_2} + \dots + \frac{e_n}{\delta_n} + \frac{1}{\Delta}$$

Rv: Resistencia a la difusión de vapor del componente constructivo

e1, e2, ..., en : espesor de cada capa sucesiva.

δ1, δ2, ..., δn : permeabilidad al vapor de agua de las capas sucesivas

Δ : Permeancia de barreras de vapor

3. Cálculo de las presiones de vapor de agua en los distintos planos del cerramiento.

$$p_1 = p_{vi}$$

$$p_2 = p_{vi} - \frac{\Delta p R_{vi}}{R_v}$$

$$p_n = p_{ve}$$

p1, p2, ... pn : presión parcial de vapor de los planos considerados.

pvi: presión parcial de vapor interior

pve: presión parcial de vapor exterior

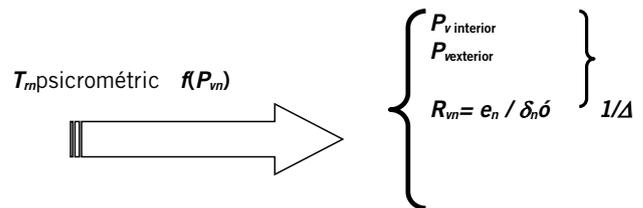
Δp : Diferencia de presión parcial de vapor entre el interior y el exterior

Rvi : Sumatoria de las resistencias a la difusión de vapor de las capas ubicadas hacia el interior de la capa considerada.

Rv: Resistencia a la difusión de vapor del cerramiento.

Las presiones de vapor de agua interior y exterior se calculan con el diagrama psicrométrico a partir de la temperaturas y humedades relativas interiores y exterior.

Conociendo la presión de vapor de cada capa se calcula mediante el diagrama psicrométrico la temperatura de condensación o de rocío para cada capa ( $t_{r1}$ ,  $t_{r2}$ , ...,  $t_m$ ).



Para facilitar este cálculo se facilita una planilla de cálculo (Excel) con la cual se puede realizar la determinación de la transmitancia térmica y del riesgo de condensación superficial o intersticial de manera rápida y simple.

#### Condiciones higrotérmicas exteriores

Temperatura Exterior de Diseño: Por localidad según Norma IRAM 11603. Se adopta la temperatura mínima exterior de diseño.

Humedad Relativa Exterior: se adopta el valor de 90%

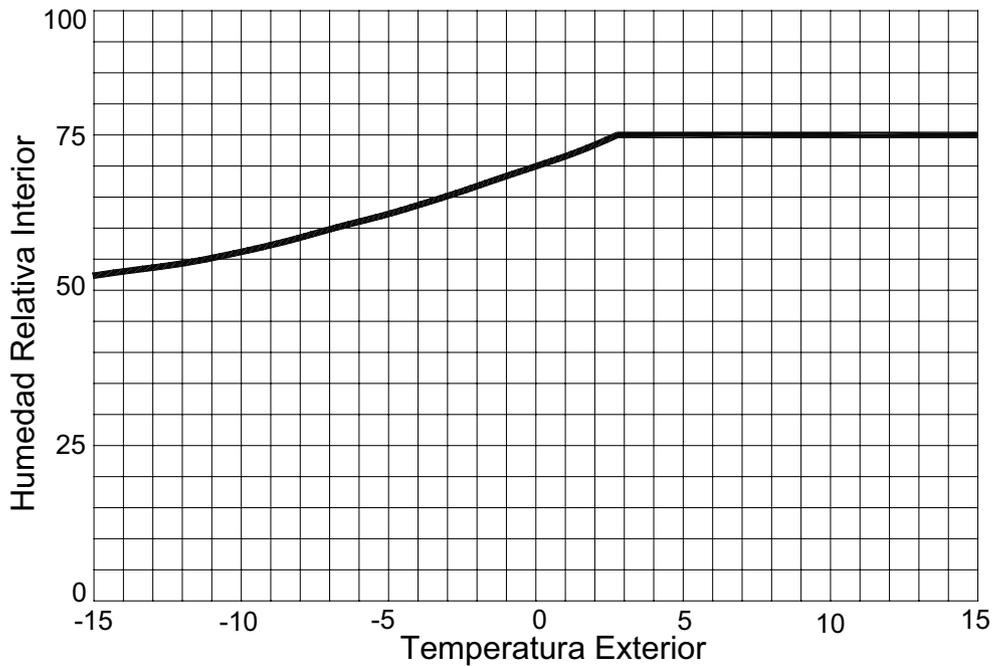
Condiciones higrotermicas interiores

Temperatura Interior de Diseño

Edificio o Local	Temperatura (°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
Espacios para almacenamiento en general	10

**Humedad Relativa Interior**

Se consideran los valores extraídos del siguiente gráfico en función de la temperatura exterior de diseño y considerando hábitos de uso normales.



# 3.4 SIMBOLOGÍA, UNIDADES Y EQUIVALENCIAS

Magnitud	Símbolo	Unidades		Equivalencia
		Sistema tradicional	SIMELA	
Area	A	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	
Espesor de una capa	e	m	m	
Densidad aparente	ρ	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	
Conductividad térmica	λ	Kcal/(m.h.°C)	W/(m.K)	1 Kcal/(m.h.°C) = 1,163 W/(m.K)
Resistencia térmica	R	m <sup>2</sup> .h.°C/kcal	m <sup>2</sup> .K/W	1 m <sup>2</sup> .h.°C/kcal = 0,86 m <sup>2</sup> .K/W
Transmitancia térmica	K*	Kcal/(m <sup>2</sup> .h.°C)	W/(m <sup>2</sup> .K)	1 Kcal/(m <sup>2</sup> .h.°C) = 1,163 W/(m <sup>2</sup> .K)
Permeabilidad al vapor de agua	δ	g.cm/mmHg.m <sup>2</sup> .d	g.m/(MN.s)	1 g.cm/mmHg.m <sup>2</sup> .d = 0,868.10 <sup>-3</sup> g.m/(MN.s) 1 g.cm/mmHg.m <sup>2</sup> .d = 0,3125.10 <sup>-2</sup> g/(m.h.kPa)
Resistencia a la difusión del vapor de agua	R <sub>v</sub>	mmHg.m <sup>2</sup> .d/g	MN.s/g	
Permeancia al vapor de agua	Δ	g/(mmHg.m <sup>2</sup> .d)	g/(MN.s)	

\*También se simboliza con la letra U

NOTA. Las diferencias de temperatura (Δt) medidas en grados Celsius o en Kelvin son exactamente iguales por definición. Por lo tanto tienen el mismo valor numérico si se las expresa en °C o si se lo hace en K.

## Formulas Básicas

Resistencia térmica Capa Homogénea de material sólido	$R = \frac{e}{\lambda}$	$\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$	e: espesor de la capa (m) λ: conductividad térmica del material (W/m°C)
RT de un componente Entre caras	$R_t = R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{c1} + R_{cn}$		R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub> , R <sub>n</sub> : R de capas homogéneas R <sub>c1</sub> , R <sub>cn</sub> : R de cámaras de aire
RT de un componente De aire a aire	$R_T = R_{si} + R_t + R_{se}$		R <sub>si</sub> , R <sub>se</sub> : Resistencias térmicas superficiales
Transmitancia Térmica De aire a aire	$K = \frac{1}{R_T}$	$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$	

# Estimación de Cargas Térmicas

C4

The image displays the characters 'C' and '4' in a stylized, outlined font. The 'C' is a simple, rounded outline. The '4' is a more complex, geometric outline. Both characters are rendered in black outlines. Behind each character is a semi-transparent, light gray shadow of the same character, offset slightly to the right and down, creating a 3D effect. The background is plain white.

***Factores que inciden en el comportamiento térmico del edificio. Factores Tipológicos: Factor forma volumen Influencia de la orientación. Norma IRAM 11603. Relación de aventanamientos***

***Balance Térmico de invierno: Tipos de Pérdidas de calor. Pérdidas por transmisión. Pérdidas por piso. Pérdidas por Infiltración. Pérdidas Totales***

***Balance Térmico de Verano: Tipos de Ganancias. Ganancias por transmisión en cerramientos opacos. Ganancias por Radiación solar. Ganancias Internas: Iluminación. Artefactos. Personas. Ganancias por Renovación de Aire.***

***Límites de ganancias y pérdidas de calor: Coeficiente G de calefacción. Carga Térmica Anual. Coeficiente G de refrigeración.***

# 4.1 FACTORES QUE INCIDEN EN EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL EDIFICIO

El acondicionamiento térmico del aire de un local es un proceso a seguir para tratar la masa aire con el objetivo de conseguir un nivel de confort adecuado en las personas que ocuparán el local. Para el dimensionado del sistema de acondicionamiento es necesario conocer las cargas térmicas de invierno para calefacción y/o verano para refrigeración. El cálculo de la carga de verano e invierno para el acondicionamiento de aire de un local es un problema complejo por la diversidad de factores y variables a tener en cuenta.

Esa sensación de confort varía, indudablemente, según las personas, su metabolismo, edad, sexo, estado físico, ropa que usan y actividad que desarrollan en el local. Las condiciones atmosféricas exteriores están determinadas por la ubicación geográfica de la localidad, lo que determina su clima y la estación del año para la cual se trabaje.

En función de esas condiciones exteriores el edificio en su conjunto se enfrenta a pérdidas y a ganancias de calor en función de condiciones de temperatura y humedad interiores prefijadas que son consideradas constantes. Esta situación es lo que se conoce como régimen estacionario, condición ideal destinada a evaluar el comportamiento térmico de edificios previo al dimensionado de sistemas de acondicionamiento artificial.

## Factores tipológicos

El aislamiento de la envolvente opaca y su adecuación a los estándares mínimos fijados por las normativas, es la principal estrategia desde el punto de

vista de la conservación de la energía. El aislamiento, que depende de los sistemas constructivos y la resolución adecuada de los puentes térmicos, son factores los constructivos esenciales. Paralelamente deben tenerse en cuenta otros factores que también afectan el comportamiento térmico del edificio en relación a la conservación de la energía. Entre estos factores, denominados tipológicos, se destacan el factor de forma y la orientación y la relación de superficies opacas y transparentes.

### **Factor de forma - volumen**

La geometría y proporciones del edificio determinan las superficies de intercambio entre el exterior y el interior. Cuanto más compacto el edificio menor superficies expuestas presenta. Los volúmenes más compactos conservan mejor la energía al disminuir las superficies expuestas al exterior, mientras que los volúmenes más dispersos permiten aumentar ese intercambio haciendo posible una mayor disipación del calor. El factor de forma (F) es la relación que existe entre la superficie de la envolvente exterior del edificio ( $S_e$ ) y el volumen contenido ( $V_c$ ).

$$F = \frac{S_e}{V_c}$$

La forma óptima, considerando el ahorro de la energía, es aquella que minimiza las pérdidas en invierno y las ganancias en verano. De tal manera que la forma óptima sería aquella que logre el mínimo de superficie

de envolvente exterior para un mismo volumen interior, principalmente en climas fríos, donde se puede recomendar un factor de forma de 0,5 a 0,8, buscando edificios compactos, bien aislados y con menores posibilidades de infiltración de aire. Mientras que en climas cálidos y húmedos, suelen ser apropiados edificios más abiertos con factores de forma superiores a 1,2, con aberturas que posibiliten la ventilación. En los climas cálidos y secos también se aconsejan factores de forma bajos, compactos, con construcción pesada de gran inercia.

### ***Influencia de la orientación***

La orientación de las edificaciones tiene una influencia importante en las contribuciones energéticas de los espacios habitados. La buena orientación del edificio permite maximizar las ganancias térmicas en invierno y reducirlas en verano. Sin embargo no siempre es posible lograr una orientación adecuada, por este motivo es fundamental el control y regulación de pérdidas y ganancias a través de las protecciones de las envolventes, sobre todo las más vulnerables: los aventanamientos. En climas templados se debe limitar el área de ventanas y vidrios sin parasoles, la orientación norte es la más favorable ya que permite, con un alero horizontal, la ganancia de sol en invierno e impedir su ingreso en verano. Se debe minimizar y proteger la exposición al este y oeste. La protección solar debe instalarse preferentemente en el exterior, delante del acristalamiento (principalmente en fachadas este y oeste).

A los fines prácticos la IRAM 11603 da recomendaciones mínimas de asoleamiento invernal, destinadas al potencial aporte de energía, mejora en la iluminación natural y los beneficios psicosociales, considerando la altura del sol y la radiación solar transmitida. Para localidades ubicadas al norte de la latitud 47° S, se recomienda un mínimo de dos horas de sol directo

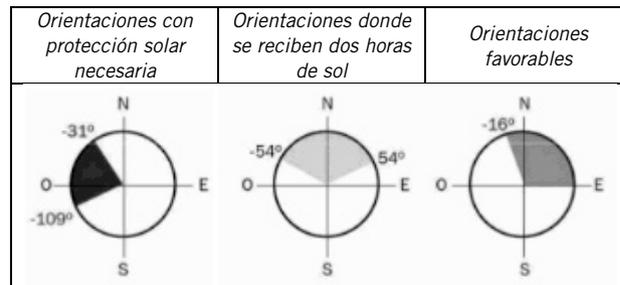
para el 23 de junio (solsticio de invierno) en al menos la mitad de los locales habitables. La tabla Indica las orientaciones de aberturas que permiten las 2 horas mínimas de asoleamiento de acuerdo a IRAM.

Orientaciones de aberturas para obtener 2 horas de asoleamiento mínimo (IRAM 11603)

LATITUD SUR	Fecha de verificación	Orientación respecto del Norte	
		Con edificación <sup>1</sup>	Sin edificación <sup>2</sup>
22° a 28°	23 de junio	260° a 110°	-
28° a 33°	23 de junio	263° a 96°	-
33° a 38°	23 de junio	267° a 93°	-
38° a 42°	23 de junio	270° a 90°	-
42° a 47°	23 de junio	280° a 80°	-
47° a 52°	15 de agosto o 30 de abril	270° a 90°	-
52° a 55°	15 de agosto o 30 de abril	280° a 80°	270° a 90°

1. terrenos con edificación u otros obstáculos de zonas urbanas y suburbanas, con una altura angular menos que 20°. Cuando los obstáculos son mayores que 20° es recomendable realizar la verificación con métodos específicos.  
2. Terrenos sin edificación, árboles u otros obstáculos que disminuyen el asoleamiento. Ángulo máximo de obstáculos igual a 10°

Los gráficos de la figura, extraídos de la IRAM 11603 muestran una comparación grafica para la zona bioambiental IIIb, se consideran los aspectos térmicos basados en la radiación solar y los psicosociales relacionados con el mínimo asoleamiento.



## Relación de aventanamientos

La relación de superficies opacas y transparentes es un factor tipológico de importancia en la conservación de la energía. La superficie de vidrio es el componente de menor aislamiento térmico de la envolvente, si la abertura es móvil implica los riesgos de infiltración de aire y finalmente por ser transparente a la radiación solar es la superficie que transmite el mayor porcentaje de carga térmica solar al interior del edificio.

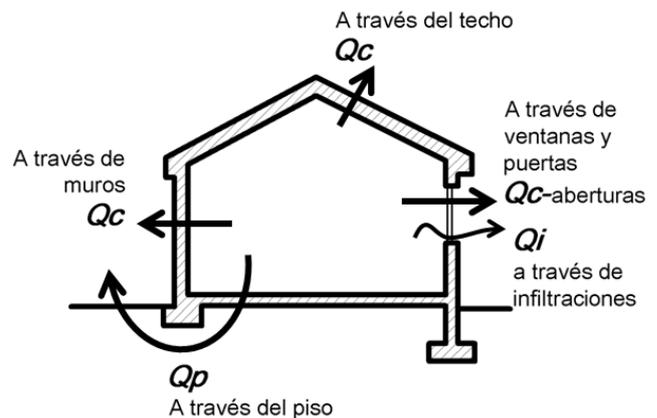
Una forma práctica de tener en cuenta la relación de aventanamiento, considerando el aislamiento, es a partir del cálculo del K medio ponderado de la envolvente, cuyos valores máximos deben ser reglamentados. La transmitancia térmica ponderada ( $K_{mp}$ ) se calcula a partir de las relaciones entre cada una de las superficies y su correspondiente coeficiente K:

$$K_{mp} = \frac{K_1.S_1 + K_2.S_2 + \dots + K_n.S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n}$$

Desde el punto de vista de la ganancia de radiación solar se deberá considerar el impacto porcentual que la carga térmica solar tiene sobre la totalidad del balance térmico de verano. Si el porcentaje es elevado se deberán tomar las previsiones necesarias para reducir las superficies de vidrio o proteger las mismas adecuadamente.

## 4.2 BALANCE TERMICO DE INVIERNO

El acondicionamiento mecánico significa suministrar o extraer el calor del local, por lo tanto, es indispensable conocer esas cantidades de calor que se ganan o pierden en el local en estudio.



El balance térmico de invierno es un procedimiento que permite calcular la cantidad de calor que pierde un edificio o local. Se realiza para la situación más desfavorable, sin ganancias térmicas por personas, ni equipos, ni radiación solar. La comparación de los resultados parciales permite visualizar dónde se dan las mayores pérdidas, teniendo la posibilidad de disminuirlas mediante decisiones de diseño para reducir la demanda y asegurar el uso racional de la energía.

$$BTI = Q_{CAL} = Q_{c/opacos} + Q_{c/aberturas} + Q_p + Q_i$$

El resultado final de pérdidas totales permitirá seleccionar y dimensionar el equipo de calefacción para compensar las pérdidas de calor y alcanzar las condiciones de confort.

## Tipos de Pérdidas de calor

Las pérdidas de calor de un local o edificio se producen a través de la envolvente, opaca y transparente, que constituye su límite con el exterior y con otras edificaciones: muros, techos, pisos, aberturas y puertas; se denominan pérdidas por transmisión. A las que se suman la pérdida por infiltración del aire que ingresa al local o edificación a menor temperatura.

## Perdidas por transmisión

Las envolventes opacas que se encuentra al exterior del edificio, muros, techos, y puertas, pierden calor por transmisión o conducción (QC). La pérdida de las distintas envolventes opacas depende de la transmitancia térmica del elemento constructivo en W/m<sup>2</sup>°C, de la superficie de la envolvente en m<sup>2</sup>, y de la diferencia entre las temperaturas interior y exterior de diseño.

$$Q_c = K \cdot S \cdot (t_i - t_e)$$

K : Coeficiente transmitancia térmica del cerramiento en W/ m<sup>2</sup>°C

S : Superficie del cerramiento en m<sup>2</sup>

$\Delta t = (t_i - t_e)$  : Diferencia de temperatura interior de diseño y temperatura exterior de diseño media mínima en °C

Las envolventes transparentes que se encuentra al exterior del edificio también pierden calor por transmisión. Las pérdidas por los cerramientos transparentes dependen de la transmitancia térmica (K) integral de

la abertura en W/m<sup>2</sup>°C por lo que, a diferencia de la envolvente opaca, en general se utilizan valores referenciales tabulados como los incluidos en las normas (ver tabla 3 del capítulo 3).

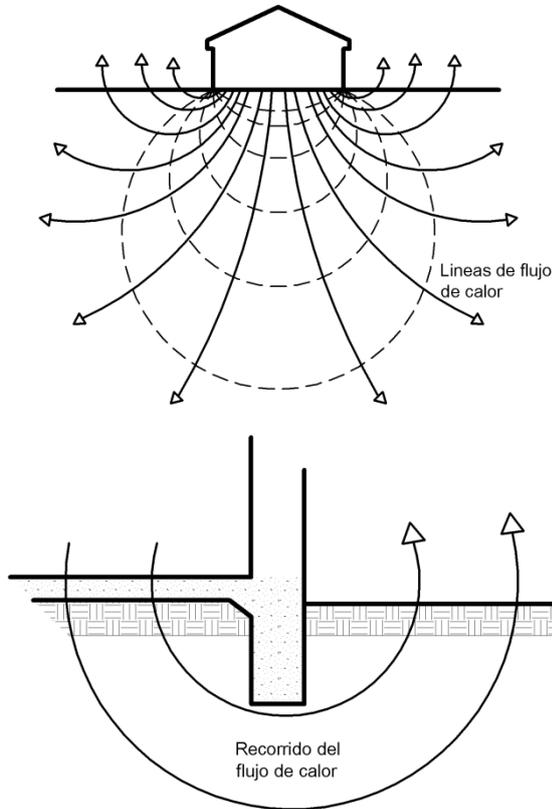
Si el edificio posee alguna envolvente contigua a otro edificio o local y el mismo se encuentra calefaccionado a igual temperatura, no se considera pérdida de calor, ya que no existe salto térmico. Pero si el local contiguo no está calefaccionado se calcula la pérdida de calor como si la envolvente estuviera al exterior y se le aplica un índice de corrección ( $\gamma$ ) que reduce las pérdidas. Dicho factor puede establecerse en un promedio del 50%.

$$Q_c = \gamma K \cdot S \cdot (t_i - t_e)$$

$\gamma$  : factor de corrección para cerramientos que lindan con locales pertenecientes a edificios contiguos no calefaccionados (usualmente = 0,5)

## Pérdidas por piso

Cuando el piso se encuentra en contacto con el terreno las pérdidas también se producen por transmisión con el terreno, pero sigue un comportamiento diferente que la transmisión de aire a aire. El intercambio se produce con el terreno que, a profundidad, se encuentra a una temperatura equivalente a la media anual, determinando un patrón de transferencia de calor no homogéneo en la totalidad de la superficie de piso. Por este motivo la transferencia de calor al exterior se calcula para la franja de piso perimetral del edificio, cercana al exterior. Los procedimientos en este caso fijan un valor de pérdidas en W por metro lineal de perímetro del edificio. Estos valores de pérdidas por el perímetro suelen estar indicadas para diferentes condiciones de aislamiento del piso y según la zona bioambiental donde se encuentre el edificio.



Zona Bioambiental	Sin aislación en el piso	Aislación perimetral en el piso	Aislación total en el piso
I y II	1,28	1.00	0.85
III y IV	1.38	1.08	0.93
V y VI	1.48	1.17	1.00

Perdidas por el piso en contacto con el terreno ( $P_p$ ) en W/m. según IRAM 11603C

Pisos sin aislación: Los valores son promedios de flujos térmicos correspondientes a soluciones constructivas usuales en nuestro país: Terreno, suelo relleno, contrapiso de hormigón pobre más terminaciones varias.

Pisos con aislación perimetral: Los valores corresponden a una capa de aislante térmico en posición horizontal o vertical de un ancho mínimo de 50 cm .

Pisos con aislación total: Los valores corresponden a una capa de material aislante térmico sobre toda la superficie del piso en posición horizontal.

En el caso de locales donde los pisos se encuentren en contacto directo con el aire exterior las pérdidas se calculan como cerramiento opaco al exterior. En el caso de locales cuyos pisos sean adyacentes a otros locales no calefaccionados las pérdidas se calculan como pérdidas por cerramientos opacos y transparentes a espacios contiguos

$$Q_p = \text{Perimetro} \cdot P_p \cdot (t_i - t_e)$$

*Perimetro* : Perímetro de piso en contacto con el terreno en m

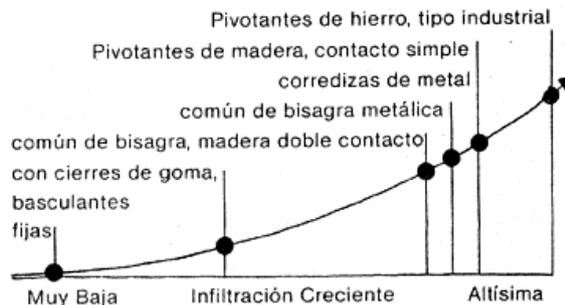
$P_p$  : Pérdidas por piso en contacto con el terreno en W/m

Perdidas por el piso en contacto con el terreno ( $P_p$ ) en W/m. según IRAM 11603

## Pérdidas por infiltración

La infiltración de aire se produce a través de ranuras u orificios en aberturas como puertas, ventanas o conductos de ventilación. Se da fundamentalmente por la presión que ejerce el viento sobre la envolvente y la hermeticidad de la misma. En general la mayor calidad en el cierre de la abertura disminuye las infiltraciones de aire. A su vez es necesario la renovación parcial de aire interior por razones higiénicas. En muchos casos esta renovación se da simplemente por la apertura de aberturas de puertas y ventanas.

La condición ideal para un comportamiento eficiente es tener controladas las infiltraciones de aire por aberturas optimizando el edificio para el máximo ahorro de energía. En este sentido existe una relación directa entre la infiltración y la calidad o tipo de abertura, recomendándose el uso de ventanas con muy baja o baja posibilidad de infiltración.



La cantidad de calor perdido por infiltración ( $Q_i$ ) se calcula a partir del volumen de aire ( $m^3/h$ ) estimado renovado por hora, considerando que por cada metro cúbico y grado de diferencia de temperatura el calor transportado en la masa de aire es de 0,35 W, coincidiendo con la capacidad calorífica específica del aire. De tal manera que las pérdidas de calor por infiltración se pueden determinar con la siguiente expresión:

$$Q_i = 0,35 \cdot V_{inf} \cdot (t_i - t_e)$$

$$Pérdidas Infiltración = 0,35 \times Vol. Inf. \times (t_i - t_e)$$

$0,35$  : Capacidad calorífica específica del aire ( $W/m^3 \cdot ^\circ C$ )

$V_{inf}$  : volumen de aire que se filtra por hora ( $m^3$ ).

$\Delta t = (t_i - t_e)$  : Diferencia de temperatura interior de diseño y temperatura exterior de diseño media mínima en  $^\circ C$

El volumen de aire infiltrado por hora, se puede calcular mediante distintos métodos, siendo los usuales el de las hendiduras y el de renovaciones de aire.

### Método de las hendiduras

Tiene en cuenta al perímetro de las aberturas ( $m$ ) por donde se filtra el aire, y el volumen de aire que se filtra en  $m^3/h \cdot m$  para distintas velocidades de viento y según la calidad y el material de la abertura.

$$Vol_{inf} \text{ ventanas} = ml \cdot m^3/h \cdot m$$

Además la presencia de puertas al exterior permiten el ingreso de aire a través del uso de la misma. Dicho volumen de aire se calcula mediante la superficie de la puerta ( $m^2$ ), el tipo y velocidad del viento.

$$Vol_{inf} \text{ puertas} = m^2 \cdot m^3/h \cdot m$$

El volumen total por este método será la suma de las infiltraciones por hendiduras de puertas y ventanas más infiltraciones por uso de puertas.

### Método por renovaciones

El volumen de aire renovado por hora de aire infiltrado ( $Vol_{inf}$ ) se determina de manera global, en base a un número de renovaciones horarias del volumen del local según sus características. Este método es menos preciso pero más práctico. Se adopta un máximo de dos renovaciones en la situación más desfavorable.

$$Vol_{inf} = N^{\circ} \text{ renovaciones } h \times \text{ Volumen local } m^3$$

Renovaciones de aire por infiltración en invierno

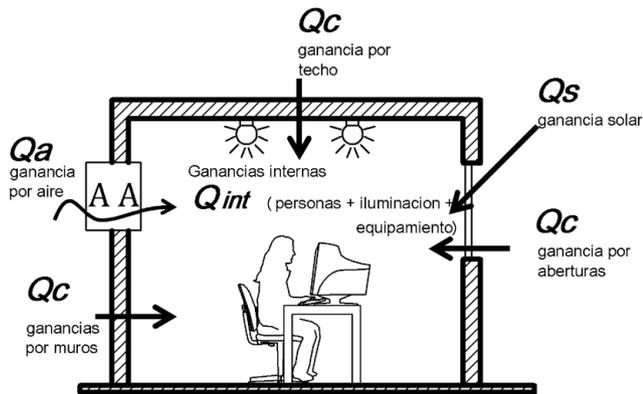
Tipo de local	Nro de renovaciones por hora	
	Sin burlete	Con burlete
locales sin ventanas o puertas exteriores	0,5	--
locales con ventanas o puertas exteriores en 1 lado	1	0,7
locales con ventanas o puertas exteriores en 2 lados	1,5	1
locales con ventanas o puertas exteriores en mas de 2 lados	2	1,4
Locales de circulacion, baños, cocinas, etc	2	1,4

## Pérdidas Totales

Las pérdidas totales son el resultado de la suma de todas las perdidas, las pérdidas por transmisión más las perdidas por infiltración. La comparación de los resultados parciales permite tomar medidas para disminuir las pérdidas.

El resultado del Balance Térmico de Invierno sirve de base para seleccionar y dimensionar el equipo de calefacción. El cual será el encargado de suministrar el calor para compensar las pérdidas y mantener la temperatura de confort.

# 4.3 BALANCE TÉRMICO DE VERANO



El balance térmico de verano (BTV) permite conocer las ganancias de calor de un edificio o local en el momento más desfavorable. La fórmula general describe el intercambio térmico entre el entorno y el edificio. El proyecto con sus orientaciones, protecciones, materialidad y uso determina su comportamiento. Los resultados parciales permiten evaluar el origen de las mayores cargas térmicas y plantear posibles reducciones con medidas arquitectónicas para el uso racional de la energía. La disminución de la carga térmica total impactará directamente sobre las necesidades de refrigeración. El resultado final permite la selección y el dimensionado del equipo.

$$BTV = Q_{REF} = Q_C + Q_S + Q_{int} + Q_A$$

## Tipos de Ganancias

Las ganancias térmicas que afectan a un edificio en verano pueden clasificarse según su origen en ganancias exteriores e interiores. Las ganancias exteriores provienen de la envolventes en contacto con el exterior como techo, paredes, pisos, puertas aberturas, ganancias por radiación solar por aberturas y el aire exterior que ingresa por infiltración y para renovación de aire (ventilación). Las ganancias internas provienen de fuentes como la iluminación, el equipamiento y las personas que ocupan el local o edificio.

A diferencia del balance de invierno, en verano toma importancia considerar no solo las ganancias de calor sensible, también influyen las ganancias de calor latente. Se considera ganancia de calor sensible la que al ingresar al local genera un aumento de temperatura, y ganancia de calor latente la que aporta y modifica el vapor de agua de la mezcla de aire pero que no genera una elevación en la temperatura del local. La fuentes de calor sensible son las ganancias por todas las envolventes, la radiación solar, la iluminación, y artefactos. Las fuentes de calor sensible y latente son las personas (respiración + transpiración) el aire exterior, y algunos artefactos que realizan cocción o calentamiento de agua -cafeteras, freidoras, cocinas y hornos a gas, etc. Es necesario discriminar las ganancias de calor sensible de las cargas de calor latente, ya que serán necesarias para el dimensionado de los equipos de refrigeración por un lado y para dimensionado de los conductos de aire acondicionado por el otro.

## Ganancias por transmisión en cerramientos opacos

Con un comportamiento similar, pero de sentido inverso al visto en el BTI, en el balance verano todas las envolventes que se encuentra al exterior del edificio ganan calor a través de muros, techos, superficies vidriadas y puertas. La carga térmica por transmisión de las distintas envolventes depende de la Superficie Total de la envolvente en  $m^2$  ( $S$ ), la transmitancia térmica de dicha envolvente en  $W/m^2°C(K)$ , y de la diferencia entre la temperatura exterior de diseño ( $\Delta t$ ) y la temperatura de confort interior. La carga térmica por conducción es de calor sensible.

$$Q_c = K \cdot S \cdot (t_e - t_i)$$

$K$  : Coeficiente transmitancia térmica del cerramiento en  $W/m^2°C$

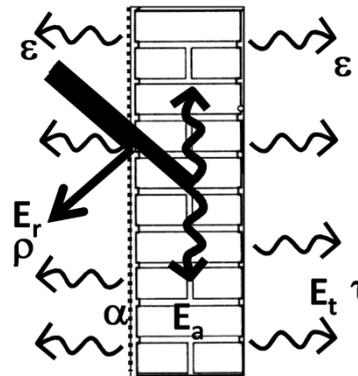
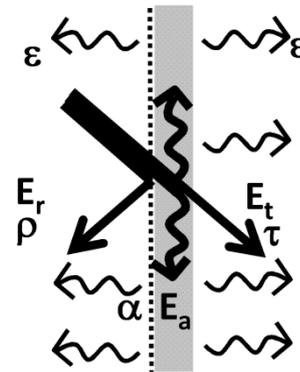
$S$  : Superficie del cerramiento en  $m^2$

$\Delta t = (t_e - t_i)$  : Diferencia de temperatura exterior y temperatura interior de diseño en  $°C$

## Ganancias por radiación solar

La ganancia térmica por radiación solar se produce a través de los elementos transparentes de la envolvente, es decir de las superficies vidriadas. A diferencia de las superficies opacas además de ganar calor por transmisión, las superficies vidriadas permiten el paso de la radiación solar. En el caso del muro opaco la energía radiante puede ser reflejada o transmitida, dependiendo básicamente de los coeficiente de reflexión ( $\rho$ ) y de absorción de la superficie. Mientras que en el caso del vidrio del total de radiación que le llega a la superficie de la ventana, parte es reflejada ( $E_r$ ), parte es absorbida ( $E_a$ ) dependiendo del coeficiente de absorción ( $\alpha$ ) y

parte es transmitida ( $E_t$ ) dependiendo del coeficiente de transmisión ( $\tau$ ). La energía absorbida por el vidrio es disipada hacia el interior y el exterior dependiendo de la emisividad ( $\epsilon$ ) de la superficie del vidrio. Una adecuada protección en verano de los acristalamientos evitará el ingreso de calor, el sobrecalentamiento interior, y la consecuente necesidad de extraer la carga térmica por medios mecánicos para llegar al confort. La carga térmica por radiación solar es calor sensible.



## Valores de transmisividad, reflectividad y absorptividad de diferentes superficies

	Radiación Onda Corta			Radiación Onda Larga		
	$\tau$	$\rho$	$\alpha$	$\tau$	$\rho$	$\alpha$
Cuerpo Negro	-	0	1	-	0	1
Negro de humo	-	0.03	0.97	-	0.05	0.95
Pintura oscura	-	0.25	0.75	-	0.05	0.95
Pintura clara	-	0.75	0.25	-	0.05	0.95
Pintura de aluminio	-	0.45	0.55	-	0.45	0.55
Metales pulidos	-	0.85	0.15	-	0.94	0.06
Chapa galvanizada	-	0.64	0.36	-	0.74	0.26
Ídem en mal estado	-	0.1	0.9	-	0.72	0.28
Fibrocemento nuevo	-	0.6	0.4	-	0.04	0.96
Fibrocemento viejo	-	0.29	0.71	-	0.04	0.96
Mármol blanco pulido	-	0.54	0.46	-	0.07	0.93
Mampostería piedra clara	-	0.43	0.57	-	0.05	0.95
Ladrillo común	-	0.35	0.65	-	0.05	0.95
Revoque blanco	-	0.8	0.2	-	0.08	0.92
Hormigón visto	-	0.35	0.65	-	0.06	0.94
Madera clara	-	0.4	0.6	-	0.05	0.95
Vidrio común claro	0.9	0.07	0.03	-	0.08	0.92
Vidrio absorbente	0.25	0.05	0.7	-	0.08	0.92

La carga térmica solar depende de la superficie vidriada en  $m^2$  ( $S$ ), la radiación solar incidente en  $W/m^2$ , ( $I_s$ ), según localidad, hora de ganancia y orientación de la abertura, y del Factor de Exposición Solar ( $F_{es}$ ), que considera la protección que tiene la abertura ante la radiación solar ej: aleros, pantallas, parasoles, persianas, cortinas.

$$Q_s = S \cdot F_{es} \cdot I_s$$

$S$ : Superficie de la abertura en  $m^2$

$I_s$ : Incidencia Solar en  $W/m^2$

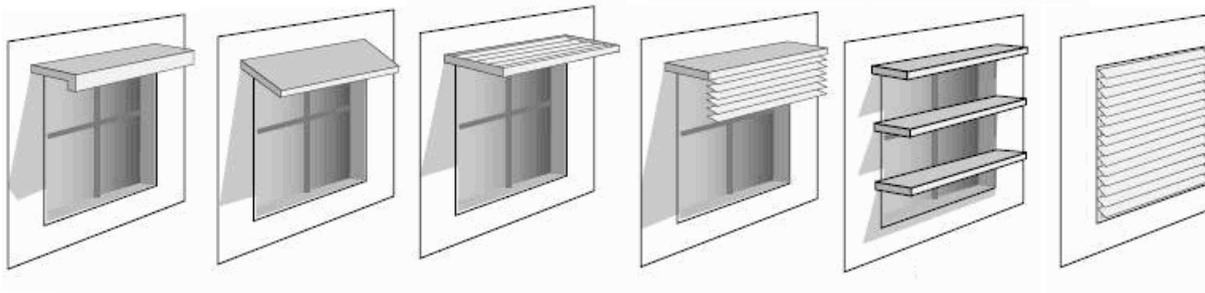
$F_{es}$ : Factor de exposición solar

Los valores que se indican a continuación corresponden a la radiación solar incidente para diferentes horarios y orientaciones en Córdoba.

Valores de radiación solar horaria para Córdoba en Verano  $W/m^2$ . Mediciones y cálculos Centro de Investigaciones Acústicas y Luminotécnicas CIAL FAUD UNC

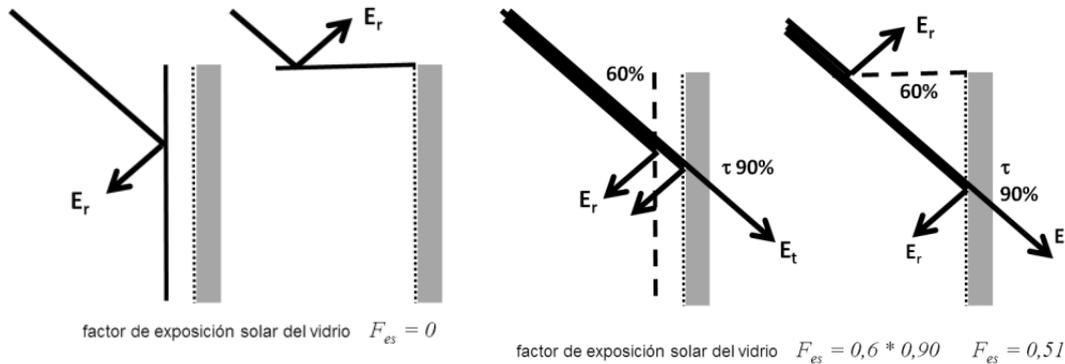
hora	norte	sur	este	oeste	noreste	sudoeste	sudeste	noroeste	Plano horizontal
5	15	42	32	4	35	10	45	4	20
6	24	165	393	10	228	12	370	10	125
7	33	198	650	18	390	13	570	12	380
8	45	152	767	27	477	14	585	15	595
9	56	56	695	40	486	16	493	30	785
10	130	42	551	50	414	25	342	43	937
11	180	33	330	62	305	40	135	55	1035
12	201	30	70	70	162	50	50	162	1057
13	180	33	62	330	55	135	40	305	1035
14	130	42	50	551	43	342	25	414	937
15	56	56	40	695	30	493	16	486	785
16	45	152	27	767	15	585	14	477	595
17	33	198	18	650	12	570	13	390	380
18	24	165	10	393	10	370	12	228	125
19	15	42	4	32	4	45	10	35	20
KJ/m <sup>2</sup>	3401	4836	13311	13311	9310	9475	9475	9310	32000

Los sistemas de protección solar aleros, parasoles, pantallas, estantes de luz (lightself) o persianas, se ocupan de interceptar la radiación solar y disminuir el porcentaje de radiación que incide manera directa sobre el vidrio y por lo tanto la carga termica solar.



Si el sistema de protección solar intercepta totalmente la radiación solar en el horario o intervalo horario establecido se considera que el factor de exposición solar es igual a cero ( $F_{es}=0$ ) y no existe carga solar. Mientras que si por ejemplo el sistema de protección deja pasar un 60% de la ra-

diación incidente y luego el vidrio transmite ( $\tau$ ) un 90% al interior del local, el factor de exposición solar será  $F_{es}=0,6*0,9 = 0,51$ . Lo que significa que del total de la radicion incidente ingresa al local solo un 51%.



### Valores de Factor de Exposición Solar para diferentes configuraciones de vidrio y protección (IRAM 11659-1)

Tipo de vidrio incoloro	Espesor	Solo vidrio	Persianas venecianas interiores			Persianas venecianas exteriores		Persianas exteriores		Cortinas exteriores de tela	
			Listones inclinados 45° o cortina de tela			Listones horizontales inclinados 45°		Listones horizontales inclinados 17°		Circulación de aire arriba y naturalmente	
			Color claro	Color medio	Color oscuro	Color claro	Ext. claro, int. oscuro	Color medio	Color oscuro	Color claro	medio u oscuro
Comun	3	1,00	0,56	0,65	0,75	0,15	0,13	0,22	0,15	0,20	0,25
	4	0,96	0,55	0,64	0,74	0,15	0,13	0,22	0,15	0,20	0,25
	5	0,96	0,54	0,62	0,72	0,14	0,12	0,21	0,14	0,19	0,24
	6	0,95	0,53	0,62	0,71	0,14	0,12	0,21	0,14	0,19	0,24
	10	0,89	0,50	0,58	0,67	0,13	0,12	0,20	0,13	0,19	0,22
DVH con CA 12 mm	3+12+3	0,88	0,49	0,57	0,56	0,13	0,11	0,19	0,13	0,18	0,22
	6+12+6	0,81	0,45	0,53	0,61	0,12	0,11	0,18	0,12	0,16	0,20
DVH baja emisividad	3+12+3	0,81	0,45	0,53	0,61	0,12	0,11	0,18	0,12	0,16	0,20
	6+12+6	0,75	0,42	0,49	0,56	0,11	0,10	0,17	0,11	0,15	0,19

## Ganancias Internas

La ganancia de calor por fuentes internas proviene de la iluminación ( $Q_{ilum}$ ), de los artefactos ( $Q_{art}$ ) y de las personas ( $Q_{pers}$ ) que se encuentren en el edificio.

$$Q_{int} = Q_{ilum} + Q_{art} + Q_{pers}$$

## Iluminación

El sistema de iluminación aporta calor sensible. En el caso que el proyecto tenga definido los artefactos y lámparas dicha carga depende del número de lámparas y el calor que emite cada una de ellas. Si las lámparas son de tipo incandescentes la potencia en W de la lámpara se convierte directamente en el calor emitido por el sistema de iluminación. En caso de sistemas de iluminación que requieran el uso de equipos auxiliares, como balastos para fluorescentes o transformadores, el calor emitido total será la potencia de la lámpara con un incremento de alrededor del 25% por calor emitido por estos equipos auxiliares.

Si no se dispone de datos de la instalación, es posible determinar la carga térmica por iluminación ( $Q_{ilum}$ ) mediante una estimación de ganancias por  $m^2$  según sea el destino del edificio o local. A partir del nivel de iluminación estimado se puede determinar un valor de densidad de carga en  $W/m^2$ , para diferentes sistemas de iluminación. En la tabla se indican valores orientativos, para el caso del sistema fluorescente ya está considerado el 25% adicional por el calor emitido por los equipos auxiliares.

$$Q_{ilum} = A \cdot q_{ilum}$$

A : Área del local  $m^2$

$q_{ilum}$  : densidad de carga térmica por iluminación en  $W/m^2$

## Ganancia Interna estimada por Iluminación artificial

Destino del local	Nivel de iluminación	Carga térmica $W/m^2$	
		Fluorescente	Incandescente halógenas 220V
Vivienda	Bajo	10	20
	Alto	15	30
Oficinas y comercios	Bajo	15	30
	Alto	25	50
Otros destinos	Por cada 100 lux	5	10

## Artefactos

El equipamiento del edificio o local aporta carga térmica sensible y/o latente. Los artefactos pueden aportar solo calor sensible, por ejemplo una computadora, una impresora, una heladera, o calor sensible y latente como por ejemplo una cafetera, una freidora, un secador de pelo. La carga térmica debida al equipamiento depende simplemente de la cantidad de artefactos ( $n$ ) y del calor y tipo de calor que emita cada uno ( $q_{art}$ ). Es importante discriminar las ganancias de calor como sensible y latente.

$$Q_{art} = n \cdot q_{art}$$

n : Número de artefactos

$q_{art}$  = Calor sensible o latente emitido por cada artefacto

## Calor sensible y latente emitido por algunos artefactos

Artefacto	$q_{art}$ en W	
	Calor sensible	Calor latente
Computadora de escritorio	200 a 300	
Equipo de audio	150	
Fotocopiadora	500	
Heladera	310 a 360	
Impresora laser	450 a 1100	
Lavarropas	300	
Cafetera	230	60
Secador de pelo	675	115
Televisor	300	
Plancha	700	
Tostador	800	200

## Personas

Las personas aportan calor sensible y calor latente. El calor metabólico que generan depende de la actividad que realicen. La carga térmica debida a las personas depende del número de personas ( $n$ ) y del calor metabólico que emitan ( $q_{pers}$ ) en W.

$$Q_{pers} = n \cdot q_{pers}$$

$n$  : Número de personas

$q_{pers}$  : calor metabólico sensible o latente producido por las personas

### **Disipación de calor metabólico según distintos tipos de actividad humana.**

Actividad humana	Calor metabólico (W)		
	Total	Sensible	Latente
Sentado en reposo	77	47	30
Trabajo muy liviano sentado	86	47	39
Trabajo de oficina	99	47	52
Trabajo liviano	121	52	69
Trabajo pesado	207	69	138
Trabajo muy pesado	327	103	224

Cuando no se posee la cantidad de personas es posible determinar su número mediante una ocupación orientativa por m<sup>2</sup> según el destino del local o edificio. El número de personas depende de la superficie del local en m<sup>2</sup> y el valor orientativo de ocupación m<sup>2</sup>/pers.

## Ganancias por renovación de aire

La causa más generalizada de alteración de las condiciones del aire interior es el contenido de anhídrido carbónico como producto de la respiración humana, y la consecuente disminución del oxígeno. A su vez la producción de olores y la presencia de fumadores hacen necesaria la renovación de aire interior. El equipo de acondicionamiento de aire es el encargado de introducir el aire de renovación, tratado previamente al local para mantener las condiciones de salubridad confort e

higiene. Se supone al edificio cerrado herméticamente, dónde un porcentaje de aire interior es renovado según las necesidades por el equipo de refrigeración. El aire ingresado para renovación aporta calor sensible y calor latente.

Para obtener la carga térmica por renovación de aire es necesario establecer el caudal de aire a renovar ( $C_{AR}$ ) en m<sup>3</sup>/h. Este valor se determina con la cantidad de personas que ocupan el local o el edificio ( $n$ ) y el caudal de aire de ventilación recomendado por persona. ( $C_{ARp}$ ) según el destino del local.

$$C_{AR} = n \cdot C_{ARp}$$

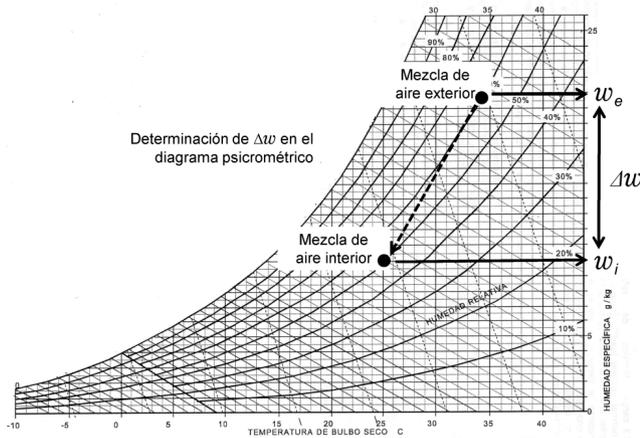
Las cantidades mínimas de renovación de aire por personas suelen ser recomendadas por normas o por diversos autores en función del destino de local, el tipo de ocupación o características particulares de uso. En la práctica se suele tomar un valor medio de 0,5 m<sup>3</sup>/min persona, en locales donde no hay fumadores.

La carga de calor sensible por ingreso de aire exterior en W se obtiene a partir de la siguiente expresión que considera el caudal de aire a renovar ( $C_{AR}$ ), una constante para calor sensible (0,25 W/m<sup>3</sup>°C) que resulta del cociente entre el calor específico del aire húmedo a 21°C de temperatura y 50% de HR y el volumen específico de la mezcla de aire y la diferencia de temperatura exterior y la temperatura interior ( $\Delta t$ ).

$$Q_{As} = 0,25 \cdot C_{AR} \cdot (t_e - t_i)$$

La carga de calor latente por ingreso de aire exterior en  $W$  también se obtiene a partir del caudal de aire a renovar ( $C_{AR}$ ), pero considerando una constante para calor latente (0,61) que resulta del cociente entre el valor medio de la cantidad de calor cedida por condensación de un gramo de vapor de agua y el volumen específico de la misma mezcla de aire, y la diferencia entre humedad específica del aire exterior y la humedad específica del aire interior ( $\Delta w$ ). Ambos valores de humedad específica se obtienen en el diagrama psicrométrico para las correspondientes de mezclas de aire interior y exterior.

$$Q_{As} = 0,61 \cdot C_{AR} \cdot (w_e - w_i)$$



## 4.4 LÍMITES DE GANANCIAS Y PÉRDIDAS DE CALOR

Las normas fijan exigencias de aislamiento mínimo recomendado a los componentes de la envolvente en función de las condiciones interiores de confort, así como condiciones para evitar los riesgos de condensación en los mismos. Estos componentes influyen en la cantidad de energía que pierde y gana un edificio según sea invierno o verano, definiendo de esta manera la cantidad de energía necesaria a suministrar para su acondicionamiento térmico. A partir de este concepto se hace necesario definir estándares que permitan evaluar el consumo y fijar valores de referencia referidos a la eficiencia energética de la construcción. Para esto último las normas proponen valores de pérdidas o ganancias de calor máximos en función de la rigurosidad climática y el volumen del edificio entre otros factores, conocidos como coeficiente global o volumétrico de pérdidas o ganancias de calor.

### Coeficiente $G_{CAL}$ de invierno

El coeficiente volumétrico  $G_{CAL}$  de pérdida de calor determina el flujo de calor que pierde un local calefaccionado por unidad de volumen y unidad de diferencia de temperatura en  $W/m^3 \cdot ^\circ C$ . El mismo se establece como un parámetro destinado a evaluar el ahorro energético. La IRAM 11604 establece las máximas pérdidas de calor admisibles según la localidad, lo que permite entender si el edificio se comporta o no dentro de los límites del consumo de energía. El coeficiente  $G$  orienta a limitar las pérdidas de calor por unidad de volumen del edificio para mantener el nivel de ahorro energético. Es de aplicación en las zonas bioambientales III, IV, V y VI y toda localidad donde se supere

los 900 grados día, es decir climas que necesitan de un sistema de calefacción en algún momento del año. El coeficiente GCAL se puede obtener a partir del BTI del edificio o del local en estudio, dividiendo el resultado en W en los metros cúbicos total de volumen (V) y por el salto térmico ( $\Delta t = t_e - t_i$ ) utilizado para el balance. El valor resultante entonces indica cuantos W de calor pierde el edificio por cada m<sup>3</sup> de volumen y por cada grado de diferencia de temperatura entre el interior y el exterior.

$$G_{CAL} = \frac{BTI}{V \cdot \Delta t} \quad \left( \frac{W}{m^3 \cdot ^\circ C} \right)$$

El valor de  $G_{CAL}$  calculado debe ser comparado con los valores máximos de G establecidos por las normas. La IRAM 11604 fija niveles máximos, denominados  $G_{C-ADM}$ , en función de los grados día de calefacción de la zona donde está implando el edificio y el volumen del mismo. Los grados días son un indicador de la rigurosidad del clima y de los requerimientos de calentamiento necesarios para alcanzar confort. Surgen de relacionar la temperatura media de cada día con una determinada temperatura de confort para calefacción. Es así que para cada localidad son necesarios diferentes cantidades de grados días, para llegar a 18°C, 20°C, o 22°C. Pueden obtenerse de los datos estadísticos sistematizados en la IRAM 11603.

	GD18	GD20	GD22
Córdoba	738 °C	1088 °C	1526 °C

Algunos valores de  $G_{C-ADM}$  para viviendas

Volumen m <sup>3</sup>	Grados día de calefacción		
	900 °C	1100 °C	1500 °C
50	2.72	2.61	2.47
100	2.22	2.13	1.03
200	1.86	1.79	1.72
300	1.70	1.65	1.59
400	1.61	1.56	1.50
500	1.55	1.5	1.45
1000	1.39	1.35	1.31
1500	1.32	1.29	1.25
2000	1.28	1.25	1.21

Debe cumplirse la condición de que el valor calculado no debe exceder el valor máximo admisible fijado para dar cumplimiento con el ahorro energético requerido.

$$G_{CAL} \leq G_{C-ADM}$$

## Carga térmica anual

La carga térmica anual permite calcular las cargas térmicas anuales de distintos edificios de vivienda calefaccionados las 24 horas del día durante toda la temporada de calefacción, posibilitando así la estimación de ahorro derivado de las mejoras sobre las características térmicas de los edificios. La carga térmica anual de calefacción del edificio puede ser determinado por la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{24 \cdot GD \cdot G_{CAL} \cdot V}{1000} \quad (\text{Kilowatt hora})$$

24: tiempo de calefacción por día.

GD : los grados día de calefacción anual en °C

$G_{CAL}$  : el coeficiente volumétrico de pérdida de calor del edificio en W/m<sup>3</sup>°C

V : el volumen interior del edificio en m<sup>3</sup>.

## Coeficiente GREF de verano

Al igual que para el caso del  $G_{CAL}$  de invierno, para obtener el coeficiente  $G_{REG}$  de un determinado edificio se puede partir del BTV. En este caso el coeficiente esta dado en  $W/m^3$ , por lo que al resultado final del Balance Térmico de Verano BTI, solo se lo divide por el volumen del edificio o local considerado.

$$G_{REF} = \frac{BTV}{V} \quad \left( \frac{W}{m^3} \right)$$

La IRAM 11659 establece valores máximos admisibles de Coeficiente GREF de Refrigeración. Los mismos se obtienen en función de la Temperatura de diseño media máxima TDMX de la localidad y el volumen del edificio analizado. Para el caso de Córdoba (Obs) la temperatura de diseño máxima es de 38,2°C.

Algunos valores de  $G_{R-ADM}$  para viviendas

Volumen m <sup>3</sup>	T <sub>DMX</sub>		
	34 °C	36 °C	38 °C
50	39.20	43.28	47,34
100	28.62	31.53	34,43
200	21.52	23.67	25,82
300	18.47	20.31	22,14
400	16.68	18.34	19,99
500	15.48	17.01	18,54
1000	12.52	13.76	15,00

Edificio tipo casa: estructura que contiene un individuo o grupo familiar con un volumen refrigerado entre 30 m<sup>3</sup> y 1000 m<sup>3</sup>.

# **Consideraciones Finales**

CS5

The image features the text "CS5" in a large, stylized font. The letters are rendered as black outlines. Behind the outlines is a semi-transparent gray shadow of the same text, offset slightly to the right and down, creating a 3D effect. The letter 'C' is a simple outline. The letter 'S' is a thick, blocky outline. The number '5' is a thick, blocky outline with a horizontal top bar.

Nuestros edificios constituyen un sistema complejo frente al clima, y las envolventes (muros, ventanas, techos) son los que realizan el intercambio energético frente al clima donde se insertan. Son las envolventes el límite entre un medio que pretende estar controlado y otro que no lo está. Un pormenorizado estudio y dimensionado de la envolvente, en función de los mecanismos de transferencia de energía, define necesariamente el comportamiento energético del conjunto del edificio, condicionando aspectos tales como los balances térmicos estival o invernal, los mecanismos de captación de energía en invierno, de protección en verano, los niveles de iluminación natural y el control del ruido exterior; influyendo por lo tanto en los mecanismos básicos de la conservación de la energía y el dimensionado de los sistemas de acondicionamiento mecánico.

Las características básicas de las envolventes determinan su comportamiento frente a los flujos de calor, de aire, de humedad, de luz, y de sonidos o ruidos. Los aspectos configuradores de la envolvente influyen en el comportamiento higrotérmico: la transferencia de calor y el control de la humedad.

La eficiencia energética puede definirse como el conjunto de acciones que permiten optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos. Si el servicio final es el acondicionamiento ambiental para lograr una determinada condición de confort será más eficiente aquel edificio que lo logre con el menor consumo de energía. “Ahorrar energía ha dejado de ser ya una opción para convertirse en una necesidad para frente al déficit originado por el incesante aumento del consumo y utilizarla eficazmente constituye la alternativa más efectiva para la protección medio ambiental” (Quadri, 2008).

El control del consumo energético debería ser abordado de manera integral y conjunta a partir de los siguientes parámetros:

1. Disminuir los requerimientos de energía desde el proyecto del edificio.
2. Aislamiento y zonificación.
3. Uso de fuentes de energías alternativas renovables.
4. Aprovechamiento de energía residual (cogeneración)
5. Incremento de la eficiencia energética de los sistemas termomecánicos.

Las medidas pasivas permiten reducir la demanda energética de los edificios.

El manejo de la energía es hoy uno de los indicadores comunes y más importantes en todas las certificaciones y calificaciones hacia la sustentabilidad.



