

# Capítulo 4

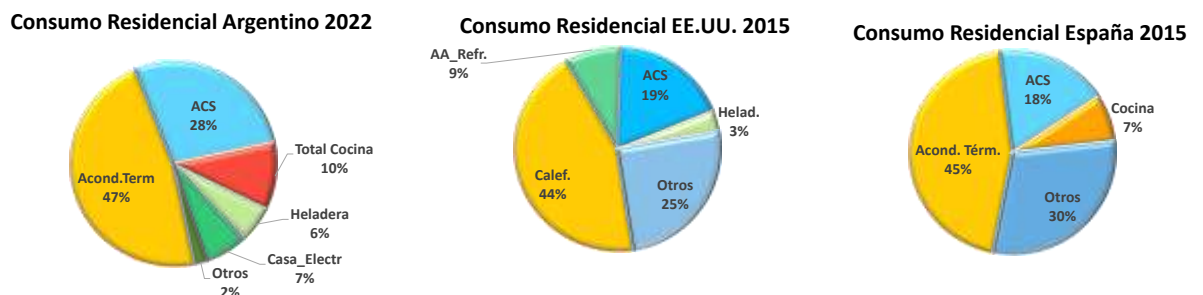
## Acondicionamiento térmico de una vivienda

*Energía y Medio Ambiente - UNSAM*

*22-sep-2024*

En este capítulo, discutimos algunas técnicas sencillas para estimar las pérdidas o ganancias de calor en una vivienda, lo cual es crucial para lograr un adecuado acondicionamiento térmico de viviendas y edificios, lo cual es clave para lograr un acondicionamiento térmico adecuado y eficiente de una vivienda.

Al concluir el estudio de este capítulo, se espera que el estudiante adquiera las habilidades necesarias para calcular los consumos de acondicionamiento térmico de una vivienda en diversas regiones bioambientales.



**Figura 1.** distribución del consumo residencial en varios países. Obsérvese que en general el consumo de acondicionamiento térmico (Calefacción + Refrigeración) es el mayor consumo en las viviendas, seguido del agua caliente sanitaria (ACS).

### 1. Confort Térmico

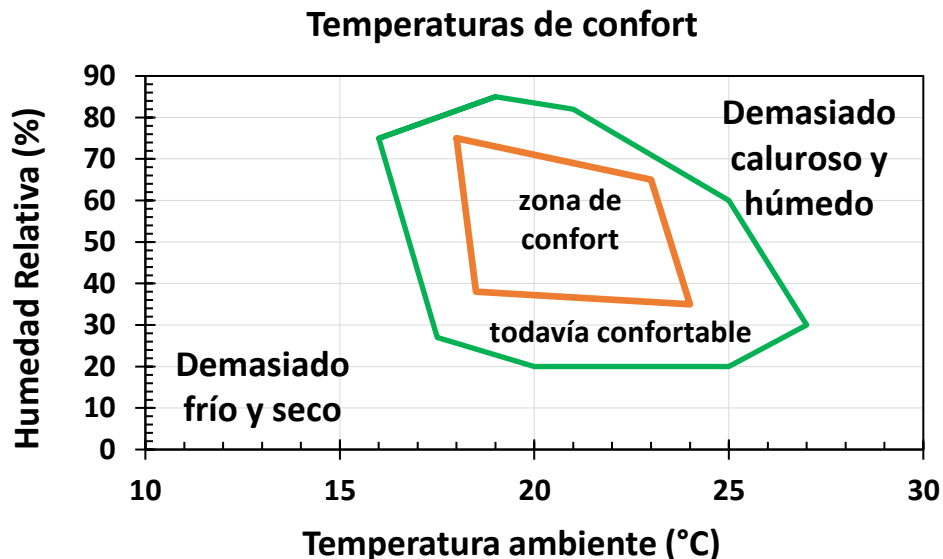
El acondicionamiento térmico de viviendas y edificios es uno de los servicios energéticos de mayor consumo. Este servicio se conoce con la sigla en Inglés de HVAC (por *Heating, Ventilation and Air Conditioning*) que se traduce en Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado o refrigeración de ambientes. El confort térmico es crucial para nuestro bienestar general, nuestra productividad y nuestra calidad de vida, así como para la sostenibilidad ambiental y la eficiencia energética. Más específicamente por razones de:

- ✓ **Salud y bienestar:** Mantener una temperatura adecuada en nuestros entornos residenciales y laborales es crucial para nuestra salud y bienestar. Las temperaturas extremas pueden provocar estrés térmico, fatiga, deshidratación, hipotermia o golpes de calor, lo que puede tener efectos negativos en nuestra salud física y mental.
- ✓ **Productividad y rendimiento:** El confort térmico afecta nuestra capacidad para concentrarnos, tomar decisiones y desempeñar tareas de manera eficiente. Ambientes con temperaturas confortables pueden mejorar la productividad y el rendimiento tanto en el trabajo como en otras actividades diarias.
- ✓ **Calidad del sueño:** La temperatura ambiente también influye en la calidad de nuestro sueño. Ambientes demasiado cálidos o fríos pueden dificultar conciliar el sueño y mantener un descanso adecuado durante la noche, lo que puede tener repercusiones en nuestra salud general y en nuestro estado de ánimo.

- ✓ **Sostenibilidad:** Mantener un confort térmico utilizando la menor cantidad de energía posible puede contribuir a la eficiencia energética de los edificios y reducir los consumos de energía y las emisiones de carbono. Esto es importante tanto desde una perspectiva ambiental como social. Al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, mitigamos el riesgo asociado al calentamiento global, al tiempo que permitimos que más personas, especialmente las de bajos recursos, accedan a condiciones de bienestar y salud.

Las condiciones de confort térmico dependen de *la temperatura y la humedad relativa ambiente*. El contenido de la humedad en la atmósfera se mide por la cantidad de vapor de agua presente en ella. Más específicamente, la presión parcial del vapor de agua en la atmósfera determina lo que podríamos llamar su humedad absoluta. La *humedad relativa (HR)* [1] es la relación entre la presión parcial de vapor de agua y la máxima presión de vapor que la atmósfera puede contener, justo antes que aparezca las primeras gotas de rocío, a esa temperatura. Por lo tanto, una HR=100% indica que la atmósfera tiene la máxima cantidad de vapor que a esa temperatura puede contener.

Junto con la temperatura del aire, la humedad relativa juega un papel crucial en el confort térmico del ser humano y de los animales. Según las pautas internacionales, como la elaborada por la “*The American Society of Refrigerating Engineers*” (ASHRAE) [2], el rango recomendado de humedad relativa en interiores en edificios y viviendas es del 30 a 70% (ver **Figura 2**).

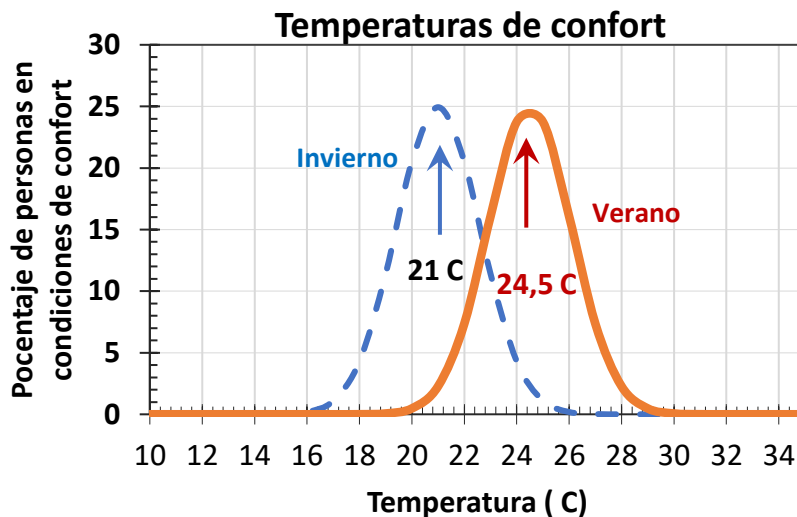


**Figura 2.** Zonas de confort térmico. El rectángulo de aristas naranjas es la zona de confort para la mayoría de las personas. Pero el polígono de bordes verdes es asimismo una zona de confort razonablemente aceptable por muchas personas [3].

En la zona de HR entre 30% a 70% [1], la temperatura de confort para la mayoría de las personas se halla entre 18 °C y 25 °C. Es decir, el área del rectángulo limitado por las líneas naranja de la **Figura 2**. En verano, la mayoría de las personas estarán confortables a una temperatura de unos 24 °C o 25 °C con ropa liviana. En invierno, quizás una temperatura de 18 °C a 21 °C, con un suéter o pulóver, casi todas las personas se sentirán cómodas.

La razón de esta diferencia de temperatura para verano e invierno deviene de varios factores: 1) La vestimenta que usamos en cada estación del año, 2) la disminución y los cambios bruscos de temperatura, 3) el ahorro en el uso de la energía, y su consecuente disminución de los costos de funcionamiento, 4) mitigación de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

- 1) La *vestimenta que usamos en invierno y verano* varía considerablemente. En invierno usamos más abrigos que en verano. Así, con suficiente ropa, en invierno necesitamos de una temperatura más baja en los interiores de viviendas y edificios.
- 2) Es conveniente por *razones de salubridad y confort*, minimizar los cambios bruscos de temperatura al entrar y salir de las viviendas o edificios. Los cambios bruscos de temperatura pueden afectar negativamente al sistema respiratorio y cardiovascular, especialmente en personas vulnerables como los niños, los ancianos y aquellos con condiciones médicas preexistentes. Por lo tanto, reducir los choques térmicos contribuye a mantener un ambiente interior más confortable y seguro para todos los ocupantes de los espacios habitables. Como regla general no es conveniente tener saltos térmicos mayores de 10°C. Una diferencia térmica de aproximadamente 5 a 10 grados Celsius entre las temperaturas interiores y exteriores, se considera apropiado para evitar choques térmicos y a mantener un ambiente interior cómodo y saludable.
- 3) Un cambio de un grado en la temperatura de los termostatos en invierno y verano tiene un efecto muy significativo en el consumo de energía. Elevar 2 °C la temperatura del termostato en invierno, digamos de 20 °C a 22 °C, genera un 30% más de consumo de energía, lo mismo ocurre para la temperatura de verano. [4] Claramente, una disminución del consumo implica una consecuente reducción del consumo y su costo. La reducción del costo monetario puede ser proporcionalmente mayor que el ahorro de energía, ya que, al reducir el consumo, se pasa a categorías de usuarios\* con menores tarifas de energía.
- 4) *Mitigación de las emisiones de GEI*, dado que los combustibles usados en calefacción, gas natural, GLP, gasoil, etc. son derivados de combustibles fósiles y su quema implica la emisión de CO<sub>2</sub>. Igualmente, más del 60% de la electricidad que se usa en Argentina, proviene de la quema de gas y otros combustibles fósiles, por lo tanto, reducir nuestro consumo de energía implica una reducción importante de nuestras emisiones de GEI.



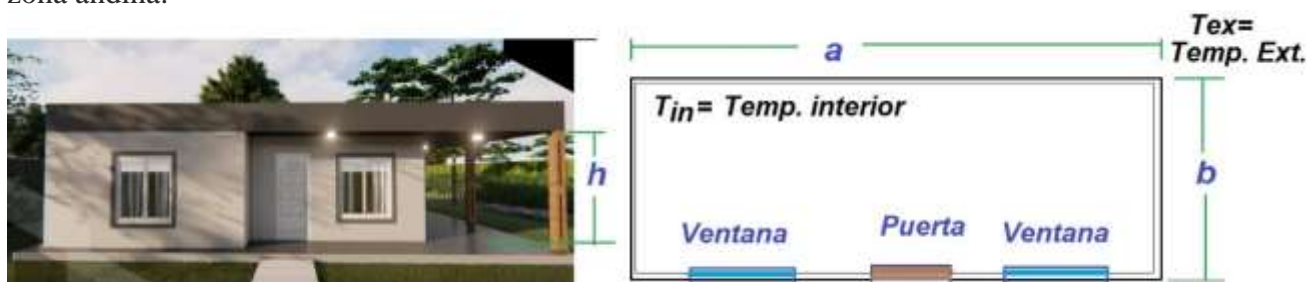
**Figura 3.** Porcentaje de personas en situación de confort en invierno y verano, indicado con curvas azul y roja, respectivamente. Estas curvas indican que distintas personas tienen distinto comportamiento ante la temperatura, pero en general, en invierno, con una temperatura ambiente de 21 °C se puede satisfacer a la

\* Un usuario se refiere a una vivienda conectada a la red. Es decir, un usuario corresponde a un medidor.

mayoría de las personas. De igual modo en verano, la temperatura óptima es de 24,5 °C. El área de estas curvas es el 100%.

Lógicamente, hay variaciones en estas condiciones de confort según las personas, como muestra la **Figura 3**, pero una regla simple y práctica consiste en fijar los termostatos en 20 °C ( o mejor 19°C) en invierno y 25 °C ( o mejor 26°C) en verano.

Reducciones adicionales en consumo de acondicionamiento térmico se pueden lograr en invierno: cerrando bien las ventanas, postigos o persianas como las cortinas si las hubiese, usando una buena frazada y ropa de dormir adecuada, aprovechando la inercia térmica de los edificios, se puede tener confort térmico con la calefacción apagada. En este sentido, es importante reducir las infiltraciones o chifletes de aire de las aberturas. En verano, un buen ventilador de techo o un climatizador evaporativo,<sup>†</sup> que consumen mucho menos energía que un acondicionador de aire, pueden ser opciones muy adecuadas en la mayoría de las ciudades de Argentina, en particular del NOA y la zona andina.



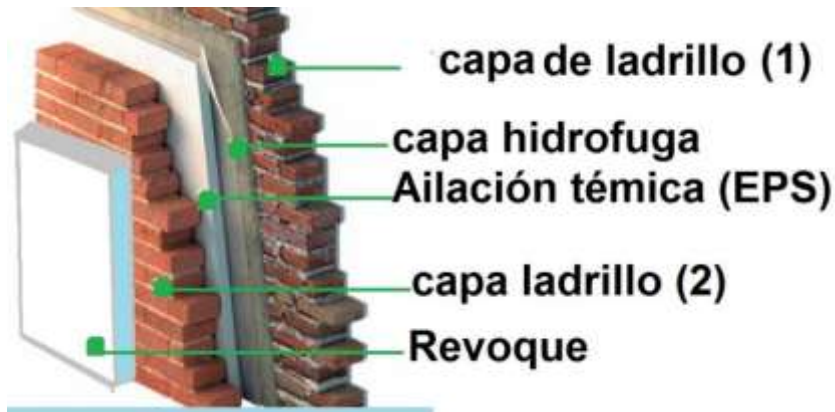
**Figura 4.** Cabaña prismática de lado  $a$  y  $b$ . Su altura es  $h$ . Consta de una puerta y una ventana. Techo plano. Las temperaturas interiores y exteriores se representan por  $T_{in}$  y  $T_{ex}$  respectivamente.

## 2. Calefacción y refrigeración de viviendas

Imaginemos una vivienda simple, que puede servir de modelo de cálculo, consistente en una cabaña prismática de lado  $a$  y  $b$ . Su altura es  $h$ . Consta de una puerta y dos ventanas. Por supuesto techo y paredes. Ver **Figura 4**. Además, vamos a suponer que todo el aire interior se renueva  $n$  veces por hora. Supondremos que la temperatura exterior es  $T_{ex}$  y la interior es  $T_{in}$  ( $> T_{ex}$ ), por lo tanto  $\Delta T = T_{in} - T_{ex}$ .

En general las paredes y el techo están formadas de varias capas, con distintos espesores de materiales (revoque fino, revoque grueso, paredes, capa de aislación, etc. que se disponen en serie como se indica en la **Figura 5**.

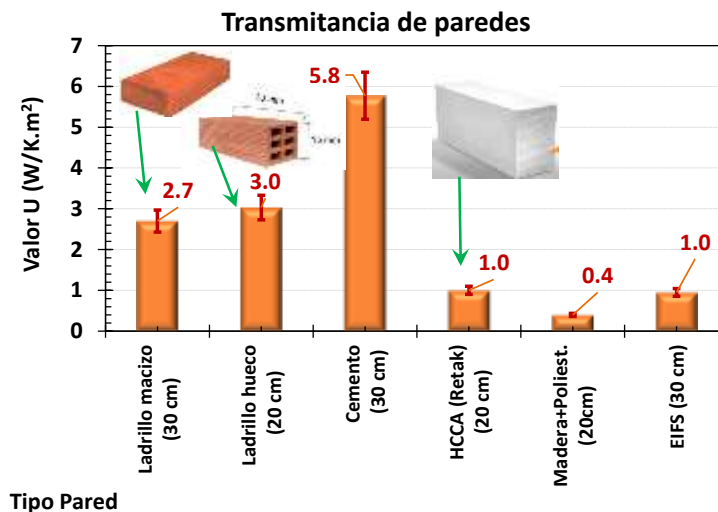
<sup>†</sup> Los climatizadores evaporativos son dispositivos que enfrían la temperatura del aire a través de un ventilador que pasa por un radiador húmedo. Al evaporarse el agua del radiador, el agua toma calor del aire y lo enfría. Estas máquinas bajan algunos grados la temperatura del aire. En climas secos, estos equipos funcionan muy bien. Hay dispositivos portátiles y grandes equipos aptos para aplicaciones industriales.



**Figura 5.** Ejemplo de paredes construidas de diversas capas: Revoque (1), capa de ladrillo (1), capa hidrófuga, aislación térmica (EPS), capa ladrillo (2), revoque (2). En este caso todas las capas están es serie. Por lo tanto, sus resistencias térmicas se suman.

### 3. Transmitancia térmica o valor U o K (*U-Value*)

La *transmitancia térmica* de un material (como el ladrillo, el hormigón, etc.) o un conjunto compuesto (como una pared o una ventana) se expresa como un valor U, a veces K (mayúscula). Como vimos en el capítulo precedente, la transmitancia es igual a la inversa de la resistencia equivalente de un compuesto por unidad de área. En definitiva, es igual a la potencia transmitida de por el sistema, por unidad de área cuando la diferencia de temperatura entre las dos caras externa del mismo es de 1K. Se mide en general en el SI por  $W/K.m^2$ . Las transmitancias térmicas (*U-Values*) de la mayoría de las paredes y techos se pueden calcular utilizando diversas normas internacionales como la ISO 6946 o nacionales *IRAM 11.601*, de modo que, al adquirir una puerta, una ventana o un tabique, mirando el valor U indicado, ya tenemos una idea del nivel de aislación térmica de un material o componente. En la **Tabla 1**, se muestran algunos valores característicos de varios componentes comunes de construcción. En la **Figura 6** se indican algunos valores de U o K para paredes típicas. [5], [6], [7]



**Figura 6.** Ejemplo de paredes típicas usadas en la construcción.

**Tabla 1** Transmitancia de algunos materiales de construcción. Los datos fueron obtenidos de la Ref.( [5], [6]).

	Valor U (W/K.m2)	k (K.m/W)
Ladrillo macizo (30 cm)	2.70	0.9
Ladrillo hueco (20 cm)	3.03	0.33
Cemento (30 cm)	5.77	0.052
HCCA (Retak) (20 cm)	1.00	
Madera+Poliest. (20cm)	0.40	
EIFS (30 cm)	0.95	
Ladrillo macizo 30cm + revoque (4 cm)	2.41	
Ladrillo hueco (20cm) + revoque 4cm	1.54	
Ventana Vidrio Simple	5.82	
Ventana Vidrio Doble (DVH)	3.08	
Ventana Vidrio Simple + Cort. Madera (cerrada)	2.79	

**Nota:** Cuando se indica la transmitancia  $U$  de un elemento por unidad de área, por ejemplo, una pared o un tipo de ventana o una placa de yeso, lo que se brinda es la Transmitancia total, en la que ya se incluyen los efectos de capa de aire. Así, para la pared de la **Figura 6**, el valor de  $U$ (pared sin EPS)= 2,15 W/m<sup>2</sup>.K y  $U$ (pared con EPS)= 0,88 W/m<sup>2</sup>.K.

**NOTA:** tanto la resistencia térmica ( $R_{ter}$ ) como la transmitancia térmica ( $U_{ter}$ ), a veces se expresan por elemento completo (pared, etc.) incluyendo su área. Otras veces se expresan por unidad de área. Una forma de identificarlas, además de lo que se explica en el texto, es observar las unidades. Por ejemplo, la transmitancia por unidad de área se expresa en W/m<sup>2</sup>.K, y la resistencia por unidad de área como m<sup>2</sup>.K/W.

## Ejemplos de cálculo de transmitancias térmicas de paredes compuestas

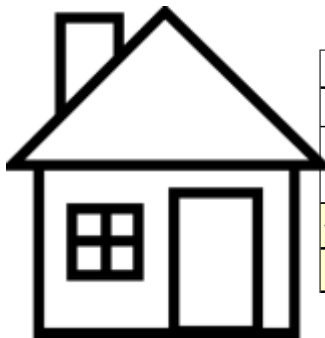
En la **Tabla 2**, se muestra un ejemplo de cálculo de la transmitancia de las paredes y techos.

**Tabla 2**– Cálculo de transmitancia de paredes y techos. Los datos fueron obtenido de la Ref.( [18], [19]). Como vimos en las secciones anteriores, en paredes y techo hechas con capas en serie, las resistencias térmicas parciales se suman para obtener la resistencia total.

Paredes				
Capas		Espesor	k	R
		(mm)	(W/m.K)	(m <sup>2</sup> .K/W)
1	Capa Límite Interior (aire)			0,13
2	Revoque fino	5	0,7	0,007
3	Revoque grueso	15	0,93	0,016
4	Ladrillo macizo	300	0,81	0,370
6	Placa EPS	20	0,037	0,541
7	Revoque grueso	20	0,93	0,022
8	Capa Límite Exterior (aire)			0,05
	Resistencia Total (m <sup>2</sup> ,K/W)	Con EPS		1,13
	Transmitancia (W/K.m <sup>2</sup> )	Con EPS		0,88
	Resistencia Total (m <sup>2</sup> ,K/W)	Sin EPS		0,47
	Transmitancia (W/K.m <sup>2</sup> )	Sin EPS		2,15

Techo				
Capas		Espesor	k	R
		(mm)	(W/m.K)	(m <sup>2</sup> .K/W)
1	Capa Límite Interior (aire)			0,13
2	Revoque fino	5	0,7	0,007
3	Revoque grueso	15	0,93	0,016
4	Loza	300	0,83	0,361
5	Placa EPS	50	0,037	1,351
6	Revoque grueso	20	0,93	0,022
7	Capa Límite Exterior (aire)			0,05
	Resistencia Total (m <sup>2</sup> ,K/W)	Con EPS		1,88
	Transmitancia (W/K.m <sup>2</sup> )	Con EPS		0,53
	Resistencia Total (m <sup>2</sup> ,K/W)	Sin EPS		0,46
	Transmitancia (W/K.m <sup>2</sup> )	Sin EPS		2,19

2,4



			Transm (W/K)
Dimensiones	Lado <i>a</i> (m)=	5	
	Ancho <i>b</i> (m)	6	
	Altura <i>h</i> (m)=	2,8	
Vidrios	A_vidrios (m <sup>2</sup> )	10	5,8
Puertas	A_puertas (m <sup>2</sup> )	1,44	2,77

**Figura 7.** Esquema simple de una vivienda. En este caso, tanto las paredes, como el techo, las puertas y las ventanas, son elementos que transmiten el calor en paralelo. Por lo tanto, sus transmitancias totales se suman.

Si suponemos un techo plano y paredes y techos como los descritos en la **Tabla 2** y **Figura 7**, tenemos:

Tabla 3. Cálculo de transmitancia de paredes y techos. Valores de referencia de la **Tabla 2** y **Figura 7**. Los datos fueron obtenidos de la Ref. ([18]). Los cálculos se realizaron suponiendo EPS en paredes y techos con los espesores indicados en la tabla y sin EPS. Para el caso de la casa con EPS, se usaron ventanas mejoradas (vidrio doble) la puerta es la misma en los dos casos. Nótese la influencia de la Aislación en el consumo anual. Hay un factor de consumo de 2,3. En este caso, tanto las paredes, como el techo, las puertas y las ventanas, son elementos que transmiten el calor en paralelo. Por lo tanto, sus transmitancias totales se suman.

DGD=	850	Sin EPS			Con EPS		
	Sup (m2)	Transm (W/m2.K)	Consumo (kWh/año)	Porcentaje	Transm (W/m2.K)	Consumo (kWh/año)	Porcentaje
Superf.(m2)=	30						
Volumen(m3)	84						
Superf. Later.(m2)	59,2						
Techo	30	2,19	1.341	23%	0,53	325	12%
Pared	59,2	2,15	2.596	44%	0,88	1.068	41%
Aberturas	10	5,80	1.183	20%	2,15	439	17%
Puertas	2,88	2,77	163	2,8%	2,88	169	6,5%
Renov.Aire	1	29,40	600	10%	29,40	600	23%
Total (kWh/año)			5.883	100%	36	2.601	100%
Total (m3/año) GN			545			241	

2,3

#### 4. Consumo de calefacción de una vivienda

Para la casa, tanto las paredes, como el techo, las puertas y las ventanas (aberturas), son elementos que transmiten el calor en paralelo. La discusión realizada en esta sección sigue las pautas de la Norma IRAM 11601/2004 [7]. Por lo tanto, sus Transmitancias totales ( $U_T = U.A = I/R$ ) se suman. Esto es:

$$U_{tot} = \frac{1}{\mathfrak{R}_{12}} = \frac{1}{\mathfrak{R}_1} + \frac{1}{\mathfrak{R}_2} + \dots = U_{T_1} + U_{T_2} + \dots \quad (\text{xx.1})$$

Por lo tanto, para una dada diferencia térmica  $\Delta T$  entre el exterior e interior la potencia que deberemos suministrar a la estufa interior será:

$$P(W) = U_{tot} \times \Delta T. \quad (\text{xx.2})$$

El consumo diario, para una temperatura media diaria externa  $T_{ex}(i)$ , será:

$$\text{Consumo}(Wh) = 24 \times U_{tot} \times (T_{in} - T_{ex}(i)). \quad (\text{xx.3})$$

Para calcular el consumo medio anual tenemos que sumar sobre todos los días en el año que la temperatura media diaria sea menor que la temperatura de referencia  $T_{in}$ . O sea:

$$\text{Consumo}(kWh) = 0,024 \times U_{tot} \times \sum_{T_{in} > T_{ex}(i)} (T_{in} - T_{ex}(i)). \quad (\text{xx.4})$$

O usando en concepto de Déficit Grado Día (DGD):

$$\text{Consumo}_{anual}(kWh) = 0,024 \times U_{tot} \times DGD_{año}. \quad (\text{xx.5})$$

Lo interesante de esta expresión es que, para una vivienda, el **consumo de energía** para calefacción depende de dos factores independientes: la **Transmitancia**  $U_{tot}$  de la envolvente (paredes, techo, aberturas, etc.) que depende de las características constructivas de la envolvente y de las condiciones térmicas del lugar donde está la vivienda a través de  $DGD_{año}$ .

Por otra, para calcular **la potencia** de los calefactores a usar, se toma una temperatura de invierno de referencia, que es representativa de las temperaturas media mínimas  $T_{min\_ref}$  que se esperan acurrar en un día típico de invierno en esa zona. Un criterio practico, puede ser definir el valor de  $T_{min\_ref}$  como la temperatura media de los 10 días más fríos del año en esa zona. Según (xx.2), la potencia requerida sería:

$$P(W) = U_{tot} \times (T_{in} - T_{min\_ref}). \quad (\text{xx.6})$$

*El desafío Energético- 2024 – S.Gil*

Donde  $T_{in}$  es la temperatura de confort de referencia, típicamente  $T_{in}=18^{\circ}C$ . Para Buenos Aires, podríamos tomar  $T_{in}=5^{\circ}C$ , lógicamente si estamos en una ciudad con temperaturas invernales menores, este valor será menor y repetitivo de las temperaturas medias diarias más bajas registrada en ese lugar. Para Buenos Aires,  $(T_i-T_{min\_ref})=(18-5)K=13$  K, tenemos:

$$P(W)|_{BA} = 13 \times U_{tot}. \quad (xx.7)$$

## Perdidas de calor por renovaciones de aire.

Toda vivienda necesita realizar renovaciones de aire permanentemente. Estas renovaciones son necesarias para sacar el aire viciado, olores etc. A veces estas renovaciones ocurren por infiltraciones involuntarias o por efectos buscados a propósito. Vamos a suponer que la vivienda tiene un volumen de aire  $V_{air}$ , cuya densidad llamamos  $\rho_{air}$  y calor específico  $c_{air}$ . Vamos a suponer que hay  $n$  renovaciones de este volumen de aire por hora. Suponemos que el aire nuevo entra a la temperatura exterior,  $T_{ex}$  y la temperatura interior es  $T_{in}(\approx 18^{\circ}C)$ . En calor que se debe aportar por hora por las  $n$  - renovaciones de aire será:

$$\Delta E = n \cdot V_{air} \cdot \rho_{air} \cdot c_{air} \cdot (T_{in} - T_{ex}). \quad (xx.8)$$

En consumo energético diario asociado a un día (de 24 horas)  $i$  en este intercambio será:

$$\Delta E_{día}(Wh) = 24 \cdot n \cdot V_{air} \cdot \rho_{air} \cdot c_{p\_air} \cdot (T_{in} - T_{ex}(i)), \quad (xx.9)$$

donde ( $\rho_{air}= 1,225$  kg/m<sup>3</sup>y  $c_{p\_air}= 1,04$  kJ/kg.K), por lo tanto:  $\rho_{air} \cdot c_{p\_air}=1,27$  kJ/m<sup>3</sup>.K= 0.35 Wh/m<sup>3</sup>.K. Así, el consumo anual será:

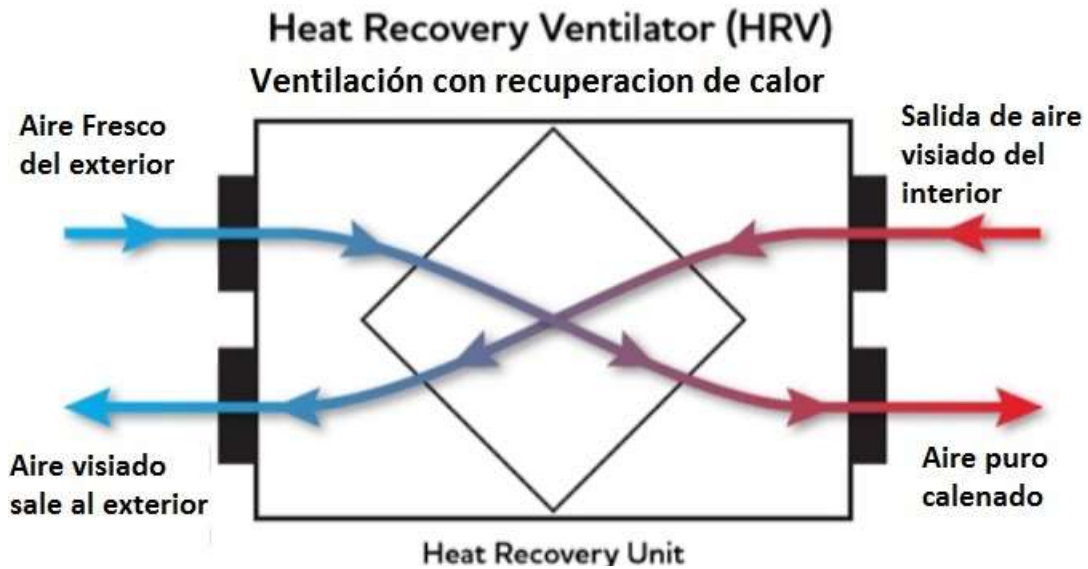
$$\Delta E_{año}(kW) = 0,024 \cdot n \cdot V_{air} \cdot \rho_{air} \cdot c_{p\_air} \cdot DGD = 0,024 \cdot 0,35 \cdot n \cdot V_{air} \cdot DGD_{año}. \quad (xx.10)$$

Para el cálculo de la potencia, suponiendo un salto térmico entre el interior y exterior de  $\Delta T$ , por un razonamiento análogo, tenemos

$$P(W) = n \cdot V_{air} \cdot \rho_{air} \cdot c_{p\_air} \cdot \Delta T = 0,35 \cdot n \cdot V_{air} \cdot \Delta T. \quad (xx.11)$$

Dado que este intercambio de calor por renovaciones de aire, sobre todo en viviendas con buena aislación térmica, es en muchos casos muy importante, se han desarrollado equipos especiales [8], [9], [10] (*heat recovery ventilation* o ventilación con intercambiadores de calor) que al renovar el aire, realizan una intercambio de calor, es decir el aire caliente que sale, entrega parte de su calor al aire frío que entra, como se indica esquemáticamente e la **Figura 8** así si la eficiencia de transferencia de calor del equipo es  $f$ , el aporte de calor por intercambio de aire resulta:

$$\Delta E_{año}(kWh) = 0,024 \cdot 0,35 \cdot n \cdot (1 - f) \cdot V_{air} \cdot DGD_{año} \quad (xx.12)$$



**Figura 8.** Esquema de un sistema de ventilación con intercambiador de calor o *heat recovery ventilation* (HRV). [8], [9], [10]

Combinando esta expresión con la Ec.(xx.5) y la Ec.(xx.9) tenemos que el consumo anual de una vivienda con  $n$  renovaciones de aire por hora será:

$$\Delta E_{año}(kWh) = 0,024 \times (U_{tot} + 0,35 \cdot n \cdot (1 - f) \cdot V_{air}) \times DGD_{año}. \quad (xx.13)$$

Mientras que la potencia será:

$$\begin{aligned} P(W)|_{BA} &= (U_{tot} + 0,35 \cdot n \cdot (1 - f) \cdot V_{air}) \times (T_{in} - T_{min \text{ ref}}) = \\ &= 13 \times (U_{tot} + 0,35 \cdot n \cdot (1 - f) \cdot V_{air}). \end{aligned} \quad (xx.14)$$

## Coeficiente Volumétrico de pérdida de calor de un edificio G

Muchas veces resulta útil disponer de un solo coeficiente que represente las pérdidas globales de calor de un edificio o vivienda. De hecho si partimos de la Ec.(xx.61) definimos el parámetro G como:

$$G = \frac{\Delta E_{año}(kWh)}{0,024 \times V_{air} \times DGD_{año}} = \frac{U_{tot}}{V_{air}} + 0,35 \cdot n \cdot (1 - f). \quad (xx.15)$$

Aquí  $U_{tot}$  es la transmitancia total de la envolvente dada por la Ec.(xx.1). Para viviendas típicas de unos 50m<sup>2</sup> a 100 m<sup>2</sup> de superficie y altura de 2,7m, con una superficie vidriada inferior al 20%, las regiones templadas (como el centro de Argentina) se sugiere un valor de G inferior a 1,8, pero para regiones muy frías como Bariloche, por ejemplo, el valor recomendado de G debe ser inferior a 1,5. Estos valores se discuten en detalle en la Norma IRAM 11604. Alternativamente, conociendo el valor del G, se puede estimar el consumo energético para calefacción como:

$$\Delta E_{año}(kWh) = G \times 0,024 \times V_{air} \times DGD_{año}. \quad (xx.16)$$

Las unidades de G son kWh/m<sup>3</sup>.K.

Esto muestra la potencialidad que tiene la mejora de las envolventes en reducir los consumos energéticos para acondicionamiento térmico de viviendas y edificios. Este valor viene representado por la última columna de la Tabla 4.

Tabla 4 Valores de G

Tabla xx.7 - Valores de G (kWh/m3.K)				
	G_medio	G_desvStd	Dispers.%	Mejora
U.E.	0,49	0,09	18%	3,6
RA_Centro	1,6	0,6	35%	1,1
RA_prom	1,8	0,6	35%	1,0
RA_Sur	2,77	0,04	1%	0,6

## 5. Temperaturas efectivas, Déficit Grado Día (DGD) y Exceso Grado Día (EGD)

Para describir la necesidad de calefacción en una dada ciudad, resulta útil introducir el concepto de *Déficit Grado Día*. Como se comentó previamente demanda de calefacción está fuertemente asociada a la temperatura y esta componente del consumo depende de la diferencia entre la temperatura interior, representada por  $T_{ef}$ , y una temperatura de referencia,  $T_{ref}$ , próxima a la temperatura de confort. Hay gran consenso en que la temperatura de confort [2] se encuentra en el rango de 20°C a 25°C. Se observa que a medida que la temperatura efectiva defiende por debajo de 18°C, la calefacción de las viviendas se va incrementando monótonamente. Por tal razón es usual definir la temperatura de referencia  $T_{ref}=18^{\circ}\text{C}$ . A la diferencia ( $DGD_{(día)} = (T_{ref} - T_{ef})_{día}$ ) la llamamos *Deficiencia Grado Día o Déficit Grado Día*. También es útil definir la  $DGD_{(mes)}$  y  $DGD_{(año)}$  como:

$$DGD_{(mes)} = \sum_i^{mes} (T_{ref} - T_{ex}(i))_{(T_{ref}-T_{ex}(i))} \cdot \quad (xx.17)$$

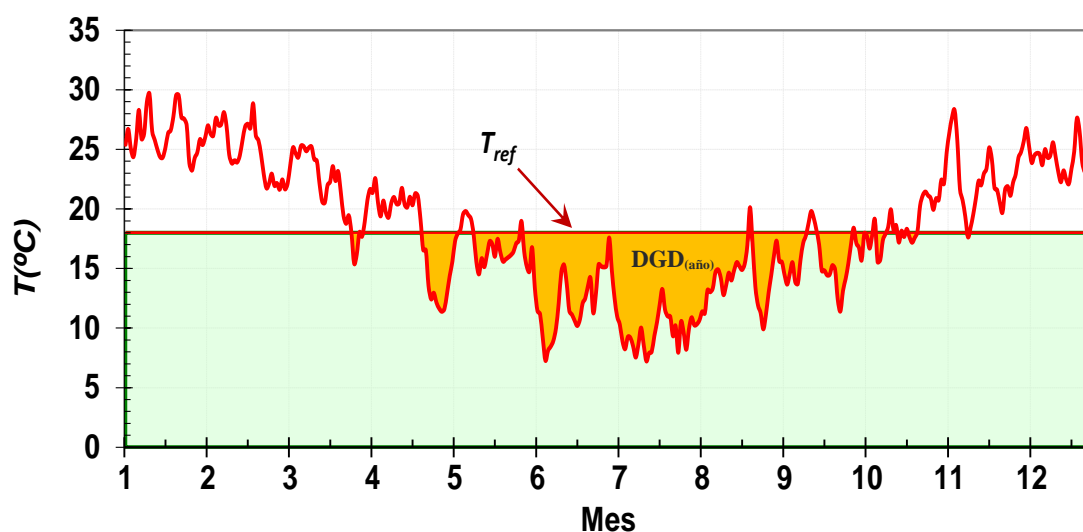
y

$$DGD_{(año)} = \sum_i^{año} (T_{ref} - T_{ex}(i))_{(T_{ref}-T_{ex}(i))} \cdot \quad (xx.18)$$

de cada zona para cada mes o año.

De este modo el consumo anual de calefacción resulta:

$$E \left( \frac{kWh}{año} \right) = 0,024 \times U_{tot} \times DGD \quad (xx.19)$$



**Figura 9.** Representación de la temperatura efectiva,  $T_{ef}$ , diaria a lo largo de un año, la línea horizontal, representa la temperatura de referencia,  $T_{ref} \approx 18^{\circ}\text{C}$ , la  $DGD_{(año)}$  viene dada por el área sombreada de esta gráfico. Los datos consignados corresponden a la Ciudad de Buenos Aires (CABA). La temperatura media anual es de 17,7 °C y la media invernal de 12,6 °C.

Así la calefacción para una vivienda, *sin intercambiador de calor* o *heat recovery ventilation* será:

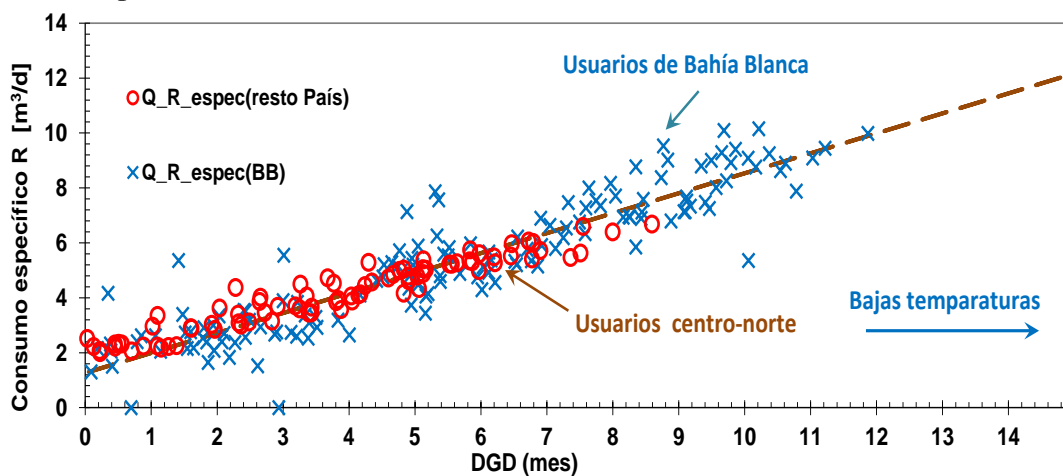
$$\Delta E_{año}(kWh) = 0,024 \times (U_{tot} + 0,35 \cdot n \cdot V_{air}) \times DGD_{año}. \quad (xx.20)$$

Si se grafican las temperaturas efectivas diarias a lo largo de un año, ver **Figura 9**, el valor de  $DGD_{(año)}$  viene dado por el área sombreada entre la temperatura de referencia y la curva que describe la temperatura media diaria. Dado que los números de usuarios varía a lo largo del tiempo, arrastrando consigo el consumo total, para analizar el comportamiento del consumo, resulta adecuado estudiar la variación del consumo por usuario, es decir el consumo total de cada día, mes o año, dividido por el número de usuarios. Este parámetro, llamado en consumo específico por usuario, permite analizar mejor en comportamiento del consumo a lo lardo de varios años, independientemente de la variación del número de usuarios. En general el consumo residencial se simbólica con (R) en Comercial (C) y el de Entes Oficiales con (EO).

Asimismo, es posible para cada región definir una deficiencia media diaria para cada mes del año ( $DGD_{(mes)}$ ). De hecho, como las temperaturas medias mensuales varían fuertemente a lo largo del año, como así también los consumos específicos medios de cada mes, es posible analizar cómo varían los consumos de gas Residencial+ Comercial y Oficial (R+C+EO) con  $DGD_{(mes)}$ , como se muestra en la **Figura 10**. [11]

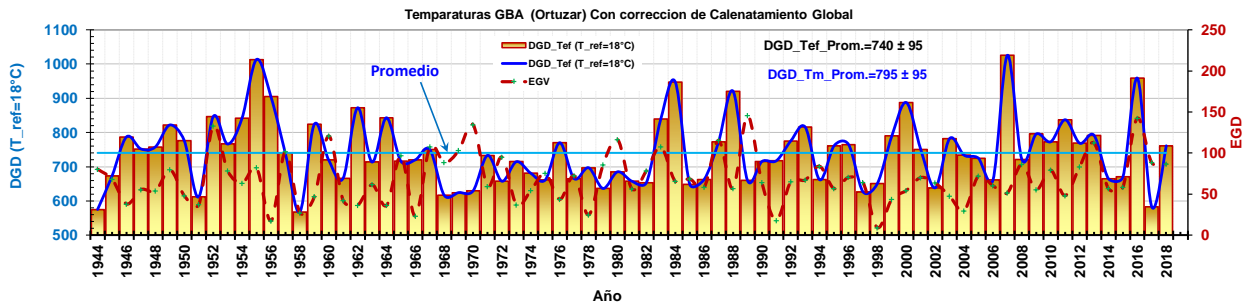
La **Figura 10** muestra que los consumos asociados a la calefacción, son proporcionales a la  $DGD_{(mes)}$ . La ordenada en el origen está relacionada con el *consumo base*, es decir el consumo de gas asociado al calentamiento de agua sanitaria y a la cocción. De igual forma puede mostrarse que los consumos anuales asociados a la calefacción son, asimismo, proporcionales a las  $DGD_{(año)}$ . Esta relación entre *consumo* y  $DGD$  se observa que es válida para todas las ciudades y regiones de Argentina, pero presentando una variación en su comportamiento en el sur del país [25] debido a los mayores subsidios al gas que se aplican en esta región. La relación entre consumo de calefacción y  $DGD$  nos permite conocer en promedio los consumos de gas de distintas ciudades y regiones del país para las que podemos conocer el  $DGD_{(año)}$ .

El concepto de Déficit Grado Día ( $DGD$ ) es utilizado en muchos lugares del mundo para caracterizar los consumos por calefacción. De hecho, en las normas IRAM de acondicionamiento térmico de edificios (IRAM 11604) utilizan este parámetro para el diseño y cálculo de los de la aislación térmica en cada región bioclimática de Argentina. Las Ecs. xx.19 y xx.20, son la justificación física de este comportamiento.



**Figura 10.** Variación de los consumos específicos diarios R, promediados para cada mes, en función del DGD (mes) de cada mes. Los círculos rojos indican los datos de consumo de los usuarios R para la zona norte y central de Argentina. Las cruces corresponden a la zona de Bahía Blanca, que por tener temperaturas relativamente más bajas, presenta valores de DGD (mes) más altas. Como puede verse, el consumo varía linealmente con DGD (mes). La ordenada en el origen corresponde al consumo base.

En la **Figura 11**, se muestra la variación de los parámetros DGD ( $T_{ref}=18^{\circ}\text{C}$ ) para los años 1944 hasta 2018 y el EGD, referido a  $T_{ref}=24^{\circ}\text{C}$ , que mide la necesidad de refrigeración en verano.

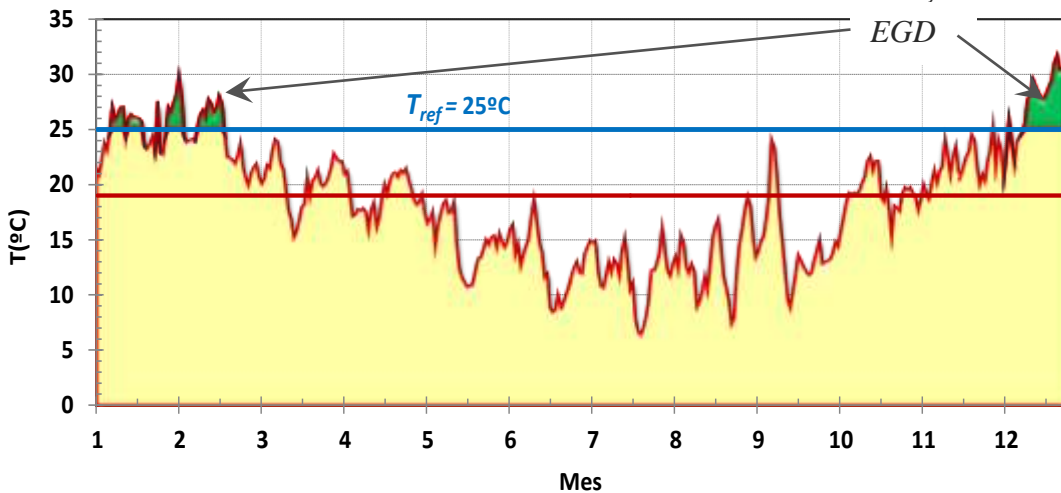


**Figura 11.** Variación de los coeficientes DGD para los años 1944 a 2014, el DGD, representado por la curva azul barras, está referido al eje vertical izquierdo. El EGD, que mide la necesidad de refrigeración está representado por la curva roja de trazos, referida al eje vertical derecho.

Un análisis de los resultados mostrados en la **Figura 11**, se ve que escenarios térmicos comparables al año 2007, tiene una probabilidad de ocurrencia de 2 veces en 70 años o sea del 3%. Por otro lado, eventos de frío intensos, como los ocurridos en el año 2000 tiene una recurrencia de 11 veces en 70 años o sea del 16%.

De modo análogo, se puede estimar el ahorro producido por aumentar en un grado la temperatura de los acondicionadores de aire. Para este análisis, es útil definir el Exceso de grado día anual como:

$$EGD(\text{año}) = \sum_{i=1}^{365} (T_{media} - T'_{ref}) \Big|_{T_{media} > T'_{ref}}, \quad (\text{xx.21})$$



**Figura 12.** Representación de la temperatura media diaria a lo largo de un año, la línea horizontal, representa la temperatura de referencia,  $T_{ref} \approx 25^{\circ}\text{C}$ , el  $EGD(\text{año})$  viene dada por el área sombreada en verde de este gráfico. Estos datos corresponden a la ciudad de Buenos Aires.

El área sombreada en verde de la Figura xx.20 ilustra el valor del EGD para el caso de Buenos Aires en 2013. En este caso, la temperatura de referencia  $T'_{ref}$  se toma  $\approx 25^{\circ}\text{C}$  a veces se usa  $T'_{ref} \approx 24^{\circ}\text{C}$ . De este modo, el EGD indica la magnitud de la necesidad de refrigeración y es de esperar que sea proporcional a la energía utilizada en refrigeración de ambientes interiores. Dado análogo a las Ec.(xx.67), podemos escribir que las necesidades de refrigeración se pueden escribir como:

$$E_{refr} \left( \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \right) = 0,024 \times U_{tot} \times EGD \quad (\text{xx.22})$$

O incluyendo las renovaciones de aire:

$$E_{refr} \left( \frac{kWh}{año} \right) = 0,024 \times (U_{tot} + 0,35 \cdot n \cdot (1 - f) \cdot V_{air}) \times EGD \quad (xx.23)$$

Así vemos que una casa con buena aislación puede ser adecuada tanto para verano como invierno. Sin embargo, esta ecuación no incluye un aspecto muy importante cómo el buen diseño, la buena orientación, etc. que pueden hacer una casa mucho más sustentable energéticamente y con mayor confort. Pero caramente la aislación térmica de la envolvente, determinada por  $U_{tot}$ , juega un rol clave.

Por último, en la Figura 13 se muestran los  $DGD_{año}$  promedio para varias ciudades de Argentina y Europa, que dan una idea de las diferentes necesidades de calefacción es esto lugares y por lo tanto diferentes necesidades de aislación termina de las envolventes en cada lugar. Este grafico por si mismo sugiere lo poco efectivo que resulta trasladar modelos arquitectónicos de una región a otra si una muy cuidadosa adaptación a las distintas regiones bioclimáticas.

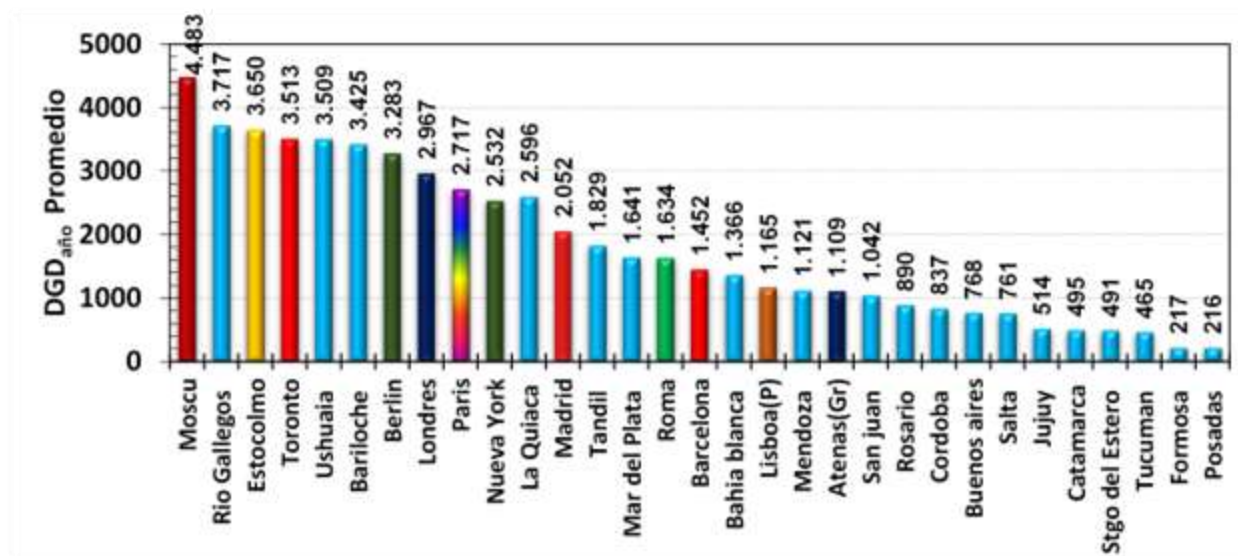


Figura 13. Representación de las  $DGD_{año}$  promedio para varias ciudades de Argentina, América y Europa [26].

Por último, en la Figura 14 se muestra la relación entre los requerimientos de calefacción en diferentes ciudades del mundo, medidas en  $kWh/m^2 \cdot año$  en función del  $DGD_{año}$ . Como se ve los efectos de una buena aislación térmica de la envolvente, es decir el coeficiente  $U_{tot}$  de la Ec.(xx.64), es crucial para determinar los niveles de consumo en calefacción.

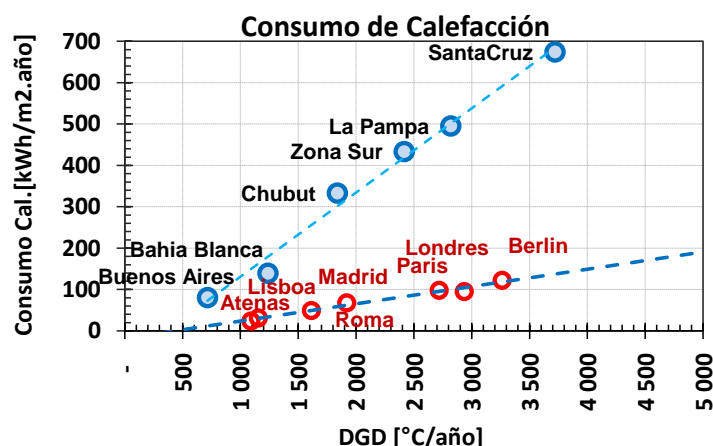


Figura 14. Relación entre los requerimientos de calefacción en diferentes ciudades del mundo, medidas en  $kWh/m^2 \cdot año$  en función del  $DGD_{año}$  para varias ciudades de Argentina y Europa. El hecho de que nuestros consumos sean tan altos, abre una importante oportunidad para la innovación en Argentina. [11]

**Ejemplo 1:** A) Calcular las necesidades de calefacción en kWh/año y m<sup>3</sup>(gas Nat.)/año de una vivienda de  $a=6$  m x  $b=10$  m, y altura  $h=2,7$  m, en Buenos Aires. Con 12 m<sup>2</sup> de aberturas, que suponemos de vidrio simple (VS), de 4mm de espesor ( $U_{VS}=5,82$ W/m<sup>2</sup>.K). Las paredes de ladrillo hueco, de 30 cm de espesor, con revoque grueso (7,5 mm) y fino (2,5 mm) de los dos lados. El techo lo suponemos plano de las mismas características que las paredes. B) Lo mismo con capa de EPS de 7 cm en paredes y techo. Suponga en este caso que las aberturas tienen vidrio doble (DVS) en las aberturas. Suponga en ambos casos un  $n=1$  de renovación de aire por hora. Además suponga Para las aberturas:  $U_{VDS}=2,15$  W/m<sup>2</sup>.K;  $U_{Puerta}=2,77$  W/m<sup>2</sup>.K.

**Solución.** Siguiendo el mismo procedimiento de la Tabla xx.5 tenemos para las paredes y techo:

**Tabla 5.** Cálculo de transmitancia de paredes y techos. Los datos fueron obtenidos de la Ref. [6].

Paredes					Techo				
Capas		Espesor	k	R	Capas		Espesor	k	R
		(mm)	(W/m.K)	(Unidad de área) (m <sup>2</sup> .K/W)			(mm)	(W/m.K)	(Unidad de área) (m <sup>2</sup> .K/W)
1	Revoque fino	5	0,7	0,007	1	Revoque fino	5	0,7	0,007
2	Revoque grueso	15	0,93	0,016	2	Revoque grueso	15	0,93	0,016
3	Ladrillo macizo	300	0,81	0,370	3	Loza	120	0,83	0,145
5	Film Plástico				4	Placa EPS	70	0,037	1,892
6	Placa EPS	70	0,037	1,892	5	Revoque grueso	20	0,93	0,022
7	Revoque grueso	20	0,93	0,022					
Resistencia Total (m <sup>2</sup> .K/W)			Con EPS	2,31	Resistencia Total (m <sup>2</sup> .K/W)			Con EPS	2,08
Transmitancia (W/K.m <sup>2</sup> )			Con EPS	0,43	Transmitancia (W/K.m <sup>2</sup> )			Con EPS	0,48
Resistencia Total (m <sup>2</sup> .K/W)			Sin EPS	0,42	Resistencia Total (m <sup>2</sup> .K/W)			Sin EPS	0,19
Transmitancia (W/K.m <sup>2</sup> )			Sin EPS	2,41	Transmitancia (W/K.m <sup>2</sup> )			Sin EPS	5,28

**Tabla 6.** Cálculo de transmitancia consumo asociado a cada elemento de la casa.

DGD=	850	Sin EPS			Con EPS	
	Sup (m2)	Transm (W/m2.K)	Consumo (kWh/año)	Porcentaje	Transm (W/m2.K)	Transm.T (kW)
Superf.(m2)=	60					
Volumen(m3)=	162					
Superf. Later.(m2)=	84					
Techo	60	5,28	6.464	49%	0,48	588
Pared	84	2,41	4.128	31%	0,43	743
Aperturas	12	5,80	1.420	11%	2,15	526
Puertas	1,44	2,77	81	0,61%	2,77	81
Renov.Aire	1	56,70	1.157	9%	56,70	1.157
<b>Total</b>			<b>13.250</b>	<b>100%</b>	<b>63</b>	<b>3.095</b>

Con estas Transmitancias, podemos calcular los consumos de energía usando las Ec.(xx.64)

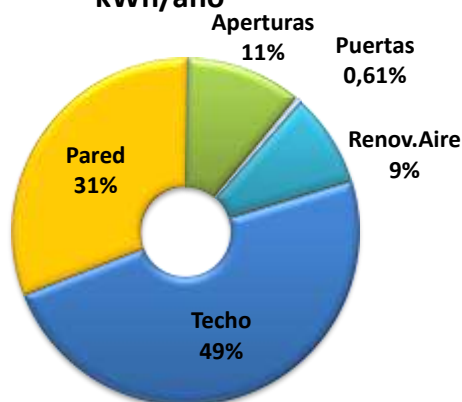
El consumo de gas se lo puede obtener a partir del hecho que 1 m<sup>3</sup>(GN)= 10,8 kWh. En la Fig.xx.22 se muestra la distribución de consumo de la casa en las dos situaciones. Se ve claramente que para hacer más efectiva la aislación térmica lograda en el segundo caso, es necesario instar algún sistema de recuperación del calor como el discutido en la Fig. xx.15, para reducir las pérdidas por renovaciones de aire.

En la Tabla 7 se indican valores típicos de transmitancia máximas de ventanas admitidas en varios países de Europa y en la última línea valores representativos de Argentina. Claramente, la eficiencia de una ventana depende de muchos otros factores que se deben tener en cuenta como, porcentajes de superficie vidriada, niveles de insolation, infiltraciones de aire, iluminación, etc. Las normas más recientes tanto Europeas como nacionales tratan de acomodar estas complejidades. [12]

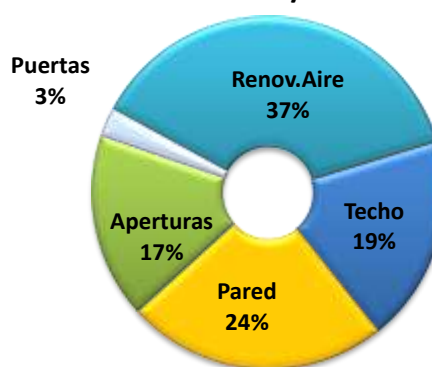
Tabla 7. Valores *máximos de transmitancia* térmica completa (vidrio y marco en W/m<sup>2</sup>K) admisibles en Europa, Adaptado de Sack (2014), [13] última línea surge de la norma IRAM 11601 y Ref([14]) Sin embargo, en Argentina, la norma IRAM 11507-4 (2010) establece un valor máximo de 4 W/m<sup>2</sup>K (ventana completa) para certificar a la transmitancia térmica, por lo que en principio la mayoría de las ventanas que se usan en el país no cumplen esta norma!

País	U (W/m <sup>2</sup> .K)	País	U (W/m <sup>2</sup> .K)	País	U (W/m <sup>2</sup> .K)
Finlandia	1	Irlanda	1,6	Croacia	1,8
Noruega	1,2	Reino Unido	1,6	Francia	2
Alemania	1,3	Países Bajos	1,6	Suiza	2
Rumania	1,3	Hungría	1,6	Portugal	2,4
Dinamarca	1,4	Bulgaria	1,7	Macedonia	2,6
Austria	1,4	Polonia	1,7	Chipre	2,8
Eslovaquia	1,4	República Checa	1,7	Grecia	3
Luxemburgo	1,5	Bélgica	1,8	Italia	4,6
Lituania	1,6	Letonia	1,8	Malta	5,8
Ventana vidrio Simple 4mm	5,8	Ventana vidrio doble (4mm c/u)	2,15	Ventana vidrio doble (4mm c/u)	2

Sin EPS - Consumo= 13250 kWh/año



Con EPS - Consumo= 3095 kWh/año



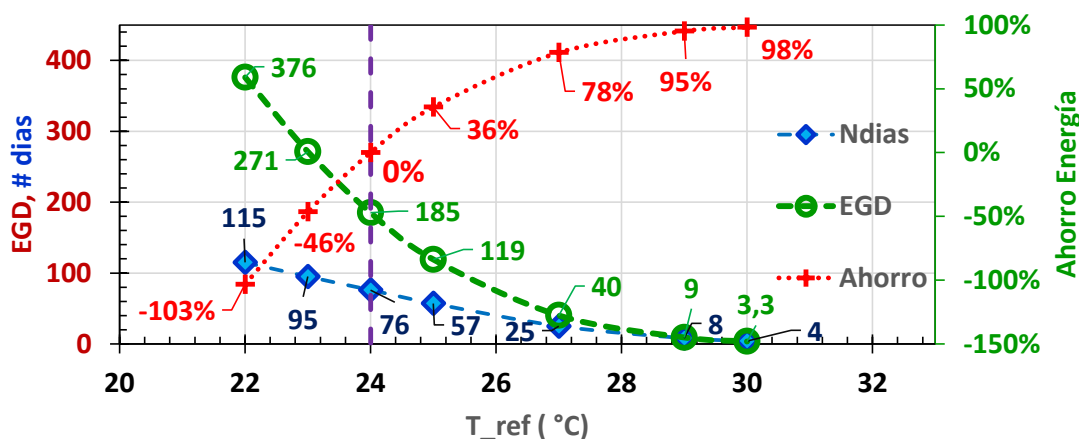
**Figura 15.** Distribución del consumo de la vivienda del ejemplo 1, en las dos situaciones descriptas: A) con poca aislación térmica (sin EPS) y con Buena aislación térmica (con EPS). Se ve que en el segundo caso el consumo se reduce en un factor 4,3 respecto del primero. Pero para reducir el consumo aún más, se requiere un equipo de ventilación con recuperación del calor como el discutido en la Tabla 6, para reducir las pérdidas por renovaciones de aire, que en el segundo caso son las más grandes (37%).

## 6. Consumo de calefacción y Refrigeración (HVAC)

Para describir la necesidad de calefacción en una dada localidad, resulta útil introducir el concepto de *Déficit Grado Día (DGD)* como vimos en las secciones previas, **Figura 9**. Como vimos antes el consumo de energía para calefacción depende del *DGD* y es válido para la mayoría de las ciudades del mundo. En forma análoga, el consumo de refrigeración depende del parámetro análogo, el Exceso Grado Día (EGD), para la refrigeración se toma como temperatura de referencia estival  $T_{ref} = 24^{\circ}\text{C}$  o  $25^{\circ}\text{C}$ , Ec. (xx.23) y **Figura 12**.

*El desafío Energético- 2024 – S.Gil*

### Consumo en AA en GBA



**Figura 16.** Variación del EGD como función de la temperatura de referencia ( $T_{ref}$ ), símbolos circulares y líneas de trazos verdes. Los rombos azules, referidos al eje vertical izquierdo, indican el número de días al año en que la temperatura media diaria supera la temperatura de referencia. Las cruces rojas, referidas al eje vertical derecho, indican los niveles de ahorro en energía, variando la temperatura de referencia a la cual se encienden los acondicionadores de aire. Se toma como referencia para estimar los ahorros el valor de  $T_{ref} \approx 24$  °C.

Como muestra la **Figura 16**, el valor del EGD varía fuertemente con el valor de la  $T_{ref}$ . Que correspondería la temperatura a la cual se comienza a encender la refrigeración. En esta figura se indican también los días al año en los que se necesita refrigeración y los potenciales ahorros de energía que pueden lograrse aumentando el umbral al cual se comienza a encender la refrigeración. Asimismo, la temperatura del termostato a la cual se ajusta la temperatura interior tiene mucha importancia, por lo que es aconsejable usar la temperatura de regulación interior:  $T_{int} \approx 25$ °C (o mejor 26°C) en verano y  $T_{int} \approx 19$ °C en invierno.

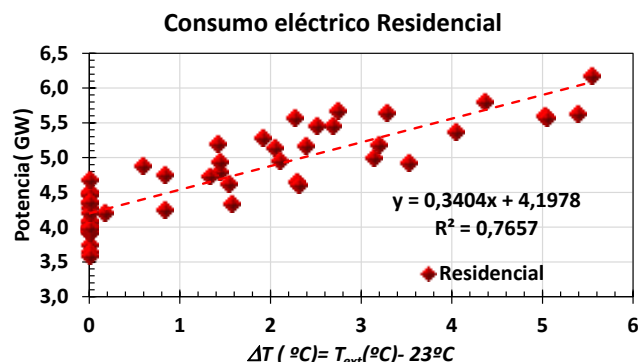
Los resultados mostrados en la **Figura 16** justifican la estrategia de *usar en verano un ventilador*, cuando la temperatura es inferior a 30°C y el aire acondicionado cuando la temperatura supera 30°C. Dado que un ventilador en general tiene un consumo del orden de 1/10 a 1/15 al de un Aire Acondicionado estándar, con los cual podrían alcanzarse valores de ahorro en refrigeración cercanos al 80 % o 90 % en la zona central de Argentina, sin perder condiciones de confort. Otra alternativa muy buena, para días en que las temperaturas no son extremadamente calurosas ( $T_{ext} < 32$ °C), es utilizar un climatizador evaporativo, ver **Figura 17**, que en esencia son ventiladores con una rejilla por la que circula agua, que con el flujo de aire, se evapora y por lo tanto enfría el aire que es forzado al exterior por el ventilador. Sus consumos energéticos son similares a un simple ventilador, [30], [31] es decir un décimo de un aire acondicionado típico. Estos equipos son particularmente adecuados para climas secos, como gran parte del centro y noroeste de Argentina, pero aún en Buenos Aires o Santa Fe funcionan muy bien. Además, *pueden funcionar en el exterior como en el interior de una vivienda*, el salto térmico que producen oscila entre unos 2°C a 6°C, [30] pero con la corriente de aire que produce, la sensación de confort es muy notable. Para la zona secas con temperatura entre 25°C y 32°C, es muy adecuado. Para viviendas de bajos recursos, esta característica hace que sean particularmente adecuados, ya que muchas veces esas viviendas no tienen buena aislación térmica, con lo que los aires acondicionados, además de consumir mucho, no tienen su mejor comportamiento y rendimiento.



**Figura 17.** Climatizador evaporativo para refrigeración. A la izquierda se ilustra su funcionamiento, por una rejilla húmeda, se fuerza con el ventilador una corriente de aire caliente de medio. El agua de la rejilla se evapora absorbiendo calor, por lo que el aire se enfría y es impulsado al exterior. Así se genera un flujo de aire algunos grados más fríos que el entrante. Muy adecuado para climas de humedad relativa baja (secos).

A nivel individual, es decir a un nivel de familia, es clara la ventaja de usar estas pautas de uso racional de la energía en refrigeración; o sea usar ventiladores o climatizadores evaporativos para temperaturas inferiores a 30°C, por su impacto en las facturas de energía.

A nivel nacional y global estos ahorros son importantes y significativos como se ve en la **Figura 18**. El incremento de demanda por el incremento de 1°C, es de 340 MW/°C. Esto es equivalente a encender una central eléctrica como Atucha I por cada grado de incremento de temperatura por encima de los 23°C.



**Figura 18.** Variación del consumo eléctrico (potencia demandada) residencial nacional con la variación de temperatura. Aquí el exceso de temperatura se tomó respecto de  $T_{ext}=23^{\circ}C$ , es decir  $\Delta T = T_{ext} - 23^{\circ}C$ . Como se ve, el incremento de demanda por el incremento de 1°C, pendiente de la recta de ajuste, es de 340 MW/°C. O sea equivalente a la potencia de una central eléctrica como Atucha I por cada grado de incremento de temperatura. Fuente de datos: CAMMESA. [15]

Claramente, medidas de eficiencia en el uso de la refrigeración, como las mencionadas anteriormente, tendrían una ventaja muy significativa para asegurar el suministro eléctrico en los días más calurosos cuando la demanda es mayor. Asimismo, como una fracción importante de la demanda residencial es subsidiada por el estado, una reducción en el consumo de las familias sería de mucho interés para el erario. Desde luego, las reducciones en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) también serían muy significativas.

A nivel individual, es decir a un nivel de familia, es clara la ventaja de usar estas pautas de uso racional de la energía en refrigeración; o sea usar ventiladores o climatizadores evaporativos para temperaturas inferiores a 30°C, por su impacto en las facturas de energía.

## Referencias

- [1] Wikipedia, «Humedad Realtiva,» Wikipedia, 2019. [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Humedad\\_relativa](https://es.wikipedia.org/wiki/Humedad_relativa).
- [2] ASHRAE, « American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.ashrae.org/about>.
- [3] «Arquitectura & Energía,» [En línea]. Available: <http://www.arquitecturayenergia.cl/home/el-confort-termico/>.
- [4] R. Prieto y S. Gil , «Regulación del termostato: un modo simple y racional de ahorrar energía en calefacción y refrigeración,» *Petrotécnia (Revista del IAPG)* , Vols. %1 de %2LV, N05, n° Dic.2014, pp. 102-114, 2014.
- [5] A. Esteves, *Arquitectura Bioclimática y Sustentable*, Vols. %1 de %2ISBN:978-987-42-5102-2, A. Esteves, Ed., Mendoza, 2018.
- [6] P. Azqueta, «Manual Práctico Del Aislamiento Térmico,» Buenos Aires, 2017.
- [7] IRAM, «Normas IRAM sobre aislamiento térmico de edificios térmico de edificios,» 2004.
- [8] LG, «High efficiency Heat Exchanger,» LG, 2018. [En línea]. Available: <https://www.lg.com/in/hrv-system/lg-LZ-H0806BA0-eco-v>.
- [9] LG, «Ventilation Solution (ERV),» LG, [En línea]. Available: <https://www.lg.com/global/business/ventilation-solution-erv>.
- [10] Wikipedia, «Intercambiador de calor,» 2018. [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Intercambiador\\_de\\_calor](https://es.wikipedia.org/wiki/Intercambiador_de_calor).
- [11] R. Prieto y S. Gil, «¿Cómo se distribuye el consumo residencial de gas? Modos de promover un uso más eficiente del gas,» *Petrotecnia*, vol. LIV, n° 6, pp. pag. 81-92, Dic. 2013.
- [12] F. Bordachar, F. Furno y . A. P. Lattuca, «Incorporación de exigencias sobre eficiencia energética edilicia. Normativa caso Rosario. Acta del I Encuentro Nacional sobre Ciudad, Arquitectura y Construcción Sustentable,» de *Acta del I Encuentro Nacional sobre Ciudad, Arquitectura y Construcción Sustentable*, Rosario, 2016.
- [13] N. Sack, «Comparison of energy labeling schemes for windows in Europe,» 2014. [En línea].
- [14] OVCIS Eficiencia Energética, «Manual de Transmitancias de ventanas,» Univ. de Castilla la Mancha, 2022. [En línea]. Available: <https://ovcis.castillalamancha.es/OVCISEficienciaEnergetica/manuales/ventanas/CalculoTransmitancia.pdf>.
- [15] CAMMESA, «CAMMESA - DEMANDA TOTAL PASO MENSUAL,» 2020. [En línea]. Available: <https://portalweb.cammesa.com/>.
- [16] Department of Energy USA, «Evaporative Coolers,» DOE, 202. [En línea]. Available: <https://www.energy.gov/energysaver/home-cooling-systems/evaporative-coolers>.
- [17] P. Dutt y T. Thamme Gowda, «An Investigative Review on Recent Developments in Refrigeration by Evaporative Cooling,» *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, vol. 23, n° 6, pp. 289-292, May 2015.
- [18] J. D. Wilson, *College Physics (7th Edition) 7th Edition*, N.Y.: Pearson, 2009.
- [19] D. Giancoli, *Physics Principles with Applications 7th Edition*, NY: Pearson, 2014.
- [20] F. Sears, M. Zemansky, H. Young y R. Freedman, *College Physics*, NY: Pearson Ed., 2009.
- [21] NASA, «Todo sobre Venus,» 2021. [En línea]. Available: <https://spaceplace.nasa.gov/all-about-venus/sp/>.
- [22] . M. Zemansky, «Calor y Termodinámica ( Trad. de: Heat and Thermodynamics - 5th Ed. McGraw Hill N.Y. 1968 ).,» Madrid 1975, Aguilar , 1975.
- [23] Wikipedia, «Thermal transmittance,» 2022. [En línea]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal\\_transmittance](https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_transmittance).
- [24] Wikipedia, the free encyclopedia, «Wiedemann–Franz law,» 2022. [En línea]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Wiedemann%E2%80%93Franz\\_law](http://en.wikipedia.org/wiki/Wiedemann%E2%80%93Franz_law).

- [25] Y. Çengel, *Transferencia de Calor* – Y. A. Çengel- 2da. Ed., Mexico DF, Excelente y muy completa presentación de la transferencia de calor, incluyendo conducción, radiación y convección.: Mc Graw Hill , 2004.
- [26] D. Pitts y L. Sissom, *Transferencia de Calor*, Bogotá, Excelente y muy completa presentación de la transferencia de calor, incluyendo conducción, radiación y convección. Nivel intermedio: Mc Graw Hill (Trad. de: Heat Transfer. McGraw Hill N.Y. 1977 ), 1979.
- [27] Government of Canada, «Safe Temperature Cooking,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/general-food-safety-tips/safe-internal-cooking-temperatures.html> .
- [28] S. Gil, «Clase interactiva de cosmología,» UDESA, 2003. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/359774151\\_Introduccion\\_a\\_la\\_Cosmologia\\_-\\_Para\\_Principiantes](https://www.researchgate.net/publication/359774151_Introduccion_a_la_Cosmologia_-_Para_Principiantes).
- [29] Wikipedia, «Svante August Arrhenius,» 2022. [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Svante\\_August\\_Arrhenius](https://es.wikipedia.org/wiki/Svante_August_Arrhenius).
- [30] Wikipedia, «John Tyndall,» 2022. [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/John\\_Tyndall](https://es.wikipedia.org/wiki/John_Tyndall).
- [31] Wikipedia, «Joseph Fourier,» 2022. [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Joseph\\_Fourier](https://es.wikipedia.org/wiki/Joseph_Fourier).
- [32] L. M. Krauss, «The History and Fate of the Universe,» *The Physics Teacher* , vol. 41, p. 146, 2003.
- [33] Bizzle DegreeDay, «Los DGD de casi todas las ciudades del mundo se pueden obtener de la Página de Bizzle DegreeDay:,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.degree-days.net/>.
- [34] M. LoPresto y N. Hagoort , «Determining Planetary Temperatures with the Stefan-Boltzmann Law,» *The Physics Teacher*, vol. 49, p. 113, 2011.
- [35] O. Karabanov, J. C. St. John y W. Chameides, «Planets on the table: A laboratory experiment on radiation and planetary effective temperature,» *Am. J. of Phys.*, vol. 76, p. 692, 2008.
- [36] Wikipedia, «Albedo,» 2022. [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Albed>.
- [37] Secretaria de Vivienda de la nación Argentina, «Guía para el cálculo de transmitancia Térmica Para Sistemas Constructivos Tradicionales, Cálculos de Transmitancia Térmica (Factor K) y Riesgo de Condensación.,» 2018. [En línea].
- [38] Wikipedia, «Confort higrotérmico,» 2022. [En línea]. Available: [http://es.wikipedia.org/wiki/Confort\\_higrot%C3%A9rmico](http://es.wikipedia.org/wiki/Confort_higrot%C3%A9rmico) .
- [39] The FREE online science and technology book, «Heat-reflecting low-E glass,» Explainthatstuff, 2023. [En línea]. Available: <https://www.explainthatstuff.com/how-low-e-heat-reflective-windows-work.html>.
- [40] Wikipedia, «Anti-reflective coating,» 2023. [En línea]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Anti-reflective\\_coating](https://en.wikipedia.org/wiki/Anti-reflective_coating).
- [41] P. David, «HRV Maintenance, Heat Recovery Ventilator in Air-Tight House,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=-SS88teioOQ>.

## Problemas y ejercicios

- Una casa de 10m x 6m y 2.8.m de altura, está construida de ladrillo de 30cm de espesor y revoque de 1 cm de cada lado. Tiene 4 aberturas de vidrio de 4mm de espesor y superficie es de 2,5m<sup>2</sup> cada una. Si se desea que la temperatura de la casa sea de 20°C (en el interior) cuando la temperatura exterior es de 10°C. Por ahora ignore las pérdidas por el suelo. a) Estime la potencia de la estufa en kW y kcal/hora que se necesitará para lograr esta temperatura, Estime en forma separada la energía disipada por el techo, las paredes y las aberturas (Nota:  $k_{\text{vidrio}} \sim k_{\text{ladrillo}} = 0.84 \text{ W/m} \cdot \text{°C}$ . y considere que el coeficiente de convección interna  $h_{\text{in}} = 8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  y el exterior es  $h_{\text{ex}} = 28 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ . b) ¿Cuál será la potencia de la estufa si se usa vidrio doble con un espaciado de 1 cm entre los dos paneles de 4mm cada uno. ¿tiene sentido colocar vidrio doble en este caso? Justificar c) ¿Cómo se comparan las pérdidas de la abertura con las de la pared? d) ¿cuál será el costo mensual de mantener esta temperatura con una estufa eléctrica, si el kWh cuesta 0,1 U\$S y la misma está encendida 10 horas/día? e) ¿cuál será el costo mensual de mantener esta temperatura con una estufa a gas natural, si el m<sup>3</sup> cuesta 0,3 U\$S y tiene un poder calorífico de 9300 kcal/m<sup>3</sup>?

2. Imagine la misma casa del problema anterior, en diferentes situaciones: I) ventanas simple y ladrillo y revoque simple y techo de losa (de igual propiedades que las paredes. II) con aislación de EPS de 10 cm en paredes y techo, y vidrio doble en sus ventanas. En ambos casos suponga una renovación de aire por hora. Para esta casa calcule: a) necesidades de calefacción al año en CBA (DGD=800 Grados.día a 18 °C) Construya un gráfico de barras y otro de torta del consumo de los dos modelos de viviendas I) y II) que muestre los consumos en cada componente de la casa (paredes, techo, aberturas y renovaciones de aire), cual es el consumo de calefacción por m<sup>2</sup> (es decir kWh/m<sup>2</sup>) de cada modelo de casa? b) si se usa gas natural con estufas de eficiencia de 75%, cual es el costo de calefacción anual? De los modelos I y II, suponga que el costo del gas es de 0.3 USD/m<sup>3</sup>. C) calcule los costos de calefacción con estufas eléctricas a resistencias, costo del kWh: 0.1 USD/kWh y eficiencia del 100%. D) costo de calefacción con bombas de calor (aire acondicionado Frío/Calor) eficiencia 400% (COP=4). Para cada uno de los casos b), c) y d) calcule las emisiones de CO<sub>2</sub> por años de esta vivienda asociada a la calefacción. Busque la Intensidad de Carbono del gas y la electricidad en el Cap.1 o en su país.
3. Una casa de 10m x 10m y 2 m de altura, está construida de ladrillo de 30cm de espesor. Tiene 6 aberturas de vidrio de 3mm de espesor y superficie es de 1 m<sup>2</sup> cada una. Si se desea que la temperatura de la casa sea de 20°C (en el interior) cuando la temperatura exterior sea de -10°C:
- Estime la potencia de la estufa en kW y kcal/hora que se necesitará para lograr esta temperatura, suponiendo que las pérdidas de calor sólo tienen lugar en las aberturas.
  - ¿Cuál será la potencia de la estufa si se tiene en cuenta también las pérdidas que ocurren en las paredes? Suponga que el piso y el techo se comportan como una pared.
  - ¿Cómo se comparan las pérdidas de la abertura con las de la pared?  $k_{\text{vidrio}} \sim k_{\text{ladrillo}}=0.84 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$ .
  - ¿cuál será el costo mensual de mantener esta temperatura con una estufa eléctrica, si el kWh cuesta 0.1 USD/kWh y la misma está encendida 12 horas/día?
  - ¿cuál será el costo mensual de mantener esta temperatura con una estufa a gas natural, si el m<sup>3</sup> cuesta 0.15\$ y tiene un poder calorífico de 9300 kcal/m<sup>3</sup>?
  - En Buenos Aires el DGD=850 °C.día/año (Tref=18°C) y el EGD= 120 °C.día/año.(Tref=25°C). Calcule las necesidades de calefacción y refrigeración si la eficiencia de su estufa a gas es de 75% y la del Aire Acondicionado del 300%
  - Cuáles son las emisiones de CO<sub>2</sub> por años de esta vivienda asociada a la calefacción. Y cual las asociadas con la refrigeración. Busque la Intensidad de Carbono del gas y la electricidad en Argentina o su país.
4. Calcule el cociente de los flujos de calor, o sea el cociente de las pérdidas de calor por la ventana para el caso de una ventana simple de 8 m<sup>2</sup> de área y un vidrio de 4 mm de espesor comparada con la misma ventana de vidrio doble con dos vidrios de 4 mm de espesor separados por 1 cm de aire. Suponga un DT=12 °C. Incluya los efectos de convección en las superficies. (Nota: considere que el coeficiente de convección interna  $h_{in}=8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  y el exterior es  $h_{ex}=28 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ . b) ¿Cuál es la mayor barrera al flujo de calor en el vidrio simple y doble: el vidrio, o las capas límites de aire exterior o interior, o el aire entre los vidrios? c) Conviene que la separación sea de 1 cm o 2 cm en el vidrio doble? Discuta ventajas y desventajas. D) Por qué se usa estos coeficientes de convección  $h$ ? ¿Por qué son distintos en el exterior e interior? E) ¿Este resultado vale tanto para la calefacción como la refrigeración, suponiendo la misma diferencia térmica entre el interior y exterior?  $k_{\text{vidrio}} \approx k_{\text{ladrillo}}=0.84 \text{ J/s}\cdot\text{m}^2\cdot\text{°C}$ .  $k(\text{aire})=0.023 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
5. Una **estufa a gas** (GN) de tiro balanceado de 5000 kcal/h tiene un rendimiento del 75% (el 25% del calor sale al exterior). A) calcule el consumo energético trimestral (182 días) para mantener la estufa encendida 5 horas por día. B) Si se desea lograr el mismo efecto de

calentamiento usando una estufa eléctrica, que tiene una eficiencia del 100%, calcule cual debería ser su potencia. C) Si utilizara una bomba de calor de  $COP = 4$ , ¿cuál debería ser su potencia calórica y su consumo eléctrico en kW para lograr los mismos efectos de calefacción? D) Construya una tabla con cada una de estas alternativas de calefacción, indicando en una columna el consumo energético trimestral, otra columna para las emisiones de carbono y una tercera para sus costos de funcionamiento trimestral. E) ¿Qué modo es más conveniente para calefaccionar desde el punto de vista económico? ¿Qué modo de calentamiento tiene mayores emisiones de carbono? F) ¿Qué modo calefacción recomendaría a su familia y por qué? Use toda la información disponible G) Construir sendos gráficos de barras de costo trimestral y emisiones de carbono para los tres modos de calefaccionar. H) Explique brevemente, como es que una Bomba de Calor produce más calor de la energía que consume.  $COP > 1$ , no estaría violando el primer principio de la termodinámica?

6. El costo del kWh eléctrico en el AMBA es de 9\$ y el del gas natural. 28 \$/m<sup>3</sup>,  $PC_{Sup}(GN) = 9300 \text{ kCal/m}^3 = 10.8 \text{ kWh/m}^3$ . Intensidad de Carbono =  $IC(GN) = 202 \text{ kg (CO}_2\text{)/MWh}$ ,  $IC(\text{Eléctrico. RA}) = 297 \text{ kg(CO}_2\text{)/MWh}$

1.