Research Fund for Coal & Steel

Large Valorisation on Sustainability of Steel Structures

Amplia Valorización de Sostenibilidad de Estructuras de Acero

DOCUMENTO DE REFERENCIA:
FASE DE USO – ENERGÍA OPERACIONAL

U C FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Junio 2014

Índice

1) Cuantificación de la energía operacional

- Introducción
- Ubicación del edificio y clima
- Método de cálculo de la demanda energética
- Algoritmo para la cuantificación de energía (fase de uso)

2) Calibración y validación del algoritmo

- Modelo de compartimento (EN 15265:2007)
- Modelo de apartamento (adaptado de la norma EN 15265:2007)
- Caso de estudio para una construcción residencial

3) Consideraciones finales

1) Cuantificación de la energía operacional

Introducción

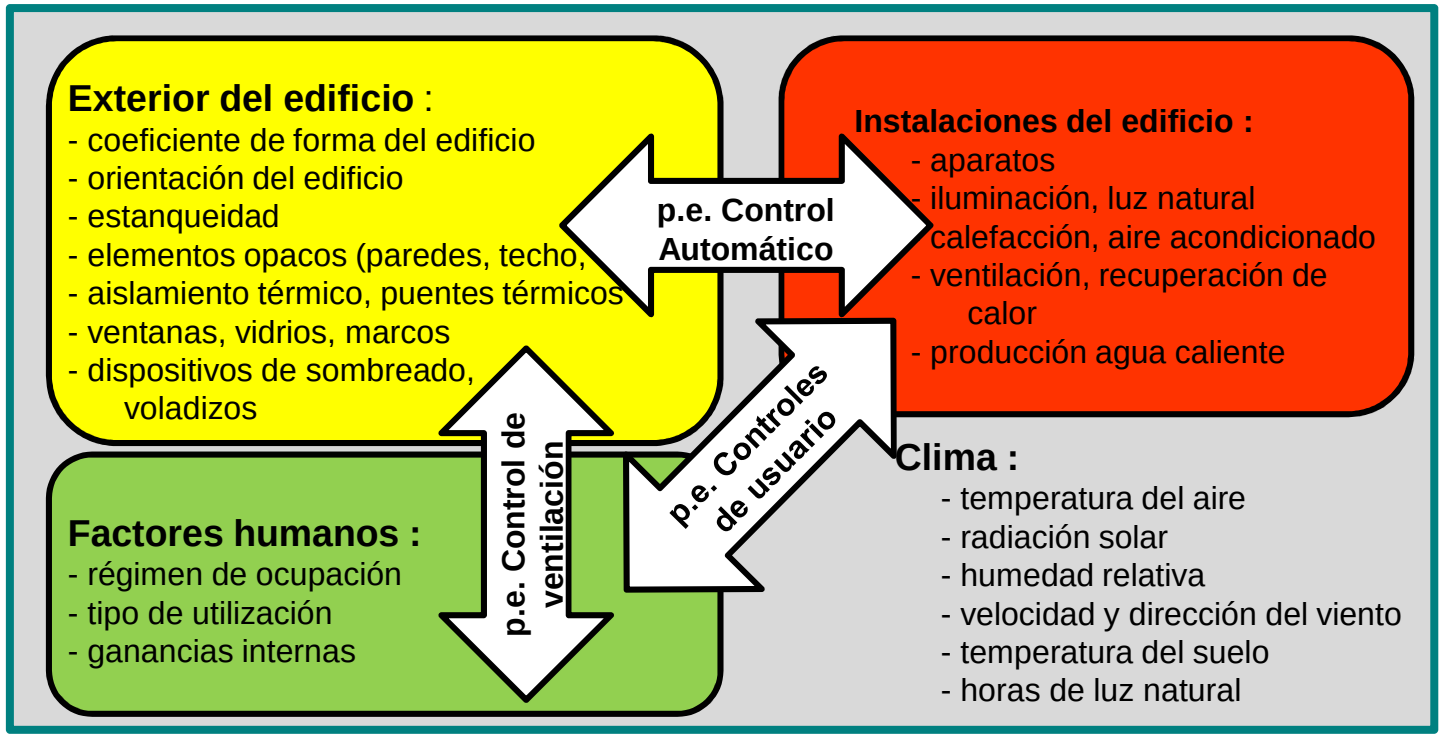
El algoritmo para la cuantificación de la energía durante la fase de uso ha sido desarrollado anteriormente en un proyecto de investigación enmarcado en el programa RFCS

SB_Steel (2014), Sustainable Building Project in Steel. Informe final. RFSR-CT-2010-00027. Programa de investigación del Fondo para la Investigación del Carbón y el Acero (RFCS)

Introducción

El rendimiento y la eficiencia térmica de los edificios depende de muchos parámetros.

Por lo tanto, es muy difícil de predecir con precisión la energía operacional de un edificio.



Esto es aún más complicado en las etapas tempranas de diseño, dada la escasa disponibilidad y la imprecisión de los datos de que se disponen

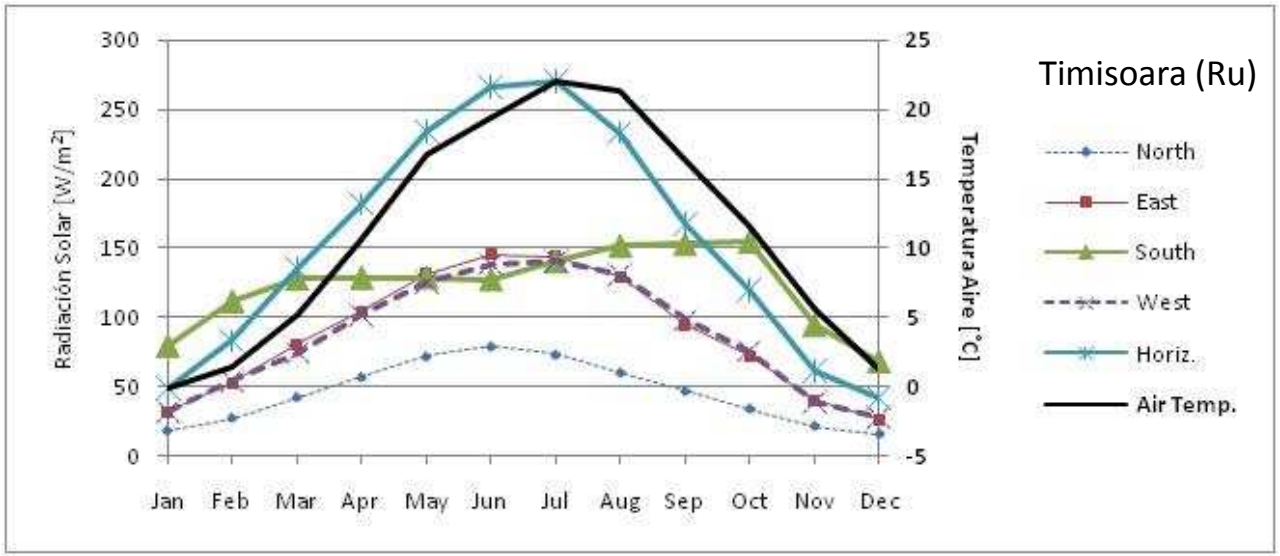
Localización del edificio y clima

La localización del edificio, en cuanto a las condiciones climáticas se refiere, es de vital importancia en los cálculos de comportamiento térmico. En relación a este aspecto, deben ser definidos dos parámetros importantes del clima con el fin de llevar a cabo el cálculo de demandas energética:

- Temperatura del aire;
- Radiación solar en una superficie con una orientación dada.

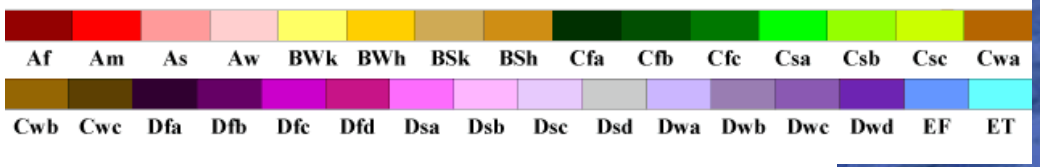
Muchos de estos datos climáticos fueron obtenidos mediante el software de simulación energético EnergyPlus con la base de datos del tiempo (EERE-USDoE, 2014) y los restantes fueron proporcionados por los socios del proyecto de investigación

EERE-USDoE (2014), Página web de Eficiencia Energética y Energías Renovables del Departamento de Energía de Estados Unidos: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data2.cfm/region=6_europe_wmo_region_6

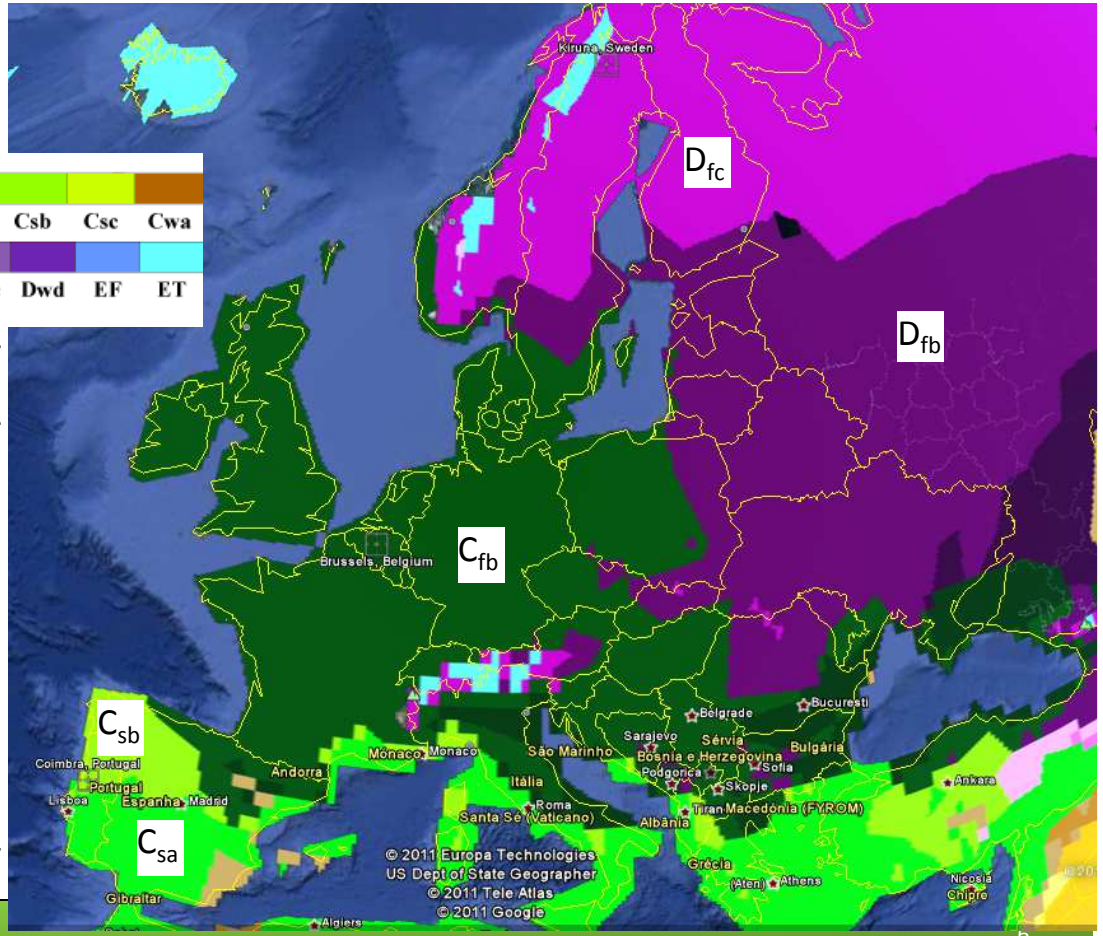


Localización del edificio y clima

La metodología está calibrada actualmente para cinco regiones climáticas, conforme a la clasificación climática Köppen-Geiger: (i) Csa; (ii) Csb; (iii) Cfb; (iv) Dfb; (v) Dfc.



Climas principales:	Precipitación:	Temperatura:	
A: ecuatorial	W: desierto	h: árido caluroso	F: helado polar
B: árido	S: estepa	k árido frío	T: tundra polar
C: templado	F: completamente húmedo	a: verano caluroso	
D: nieve	S: verano seco	b: verano cálido	
E: polar	W: invierno seco	c: verano fresco	
	M: monzónico	d: extremadamente continental	



Localización del edificio y clima

Base de datos con 52 ciudades

Ciudad	País	Región climática	Ciudad	País	Región climática	Ciudad	País	Región climática
Ámsterdam	Países Bajos	Cfb	Kiev	Ucrania	Dfb	Oslo	Noruega	Dfb
Ankara	Turquía	Csb	Kiruna	Suecia	Dfc	Östersund	Suecia	Dfc
Arcángel	Rusia	Dfc	La Coruña	España	Cfb	París	Francia	Cfb
Atenas	Grecia	Csa	Lisboa	Portugal	Csb	Oporto	Portugal	Csb
Barcelona	España	Csa	Liubliana	Eslovenia	Csa	Poznan	Polonia	Cfb
Berlín	Alemania	Cfb	Londres	Inglaterra	Cfb	Prague	Czech Republic	Cfb
Bilbao	España	Cfb	Kiev	Ucrania	Cfb	Praga	Repúblic. Checa	Csa
Bratislava	Eslovaquia	Cfb	Lublin	Polonia	Dfb	Roma	Italia	Csb
Bruselas	Bélgica	Cfb	Madrid	España	Csa	Salamanca	España	Csb
Bucarest	Rumanía	Dfb	Marsella	Francia	Csa	San Remo	Italia	Csa
Coímbra	Portugal	Csb	Milán	Italia	Cfb	Sevilla	España	Dfb
Génova	Italia	Cfb	Minsk	Bielorrusia	Dfb	Estocolmo	Suecia	Dfc
Graz	Austria	Csb	Montpellier	Francia	Csa	Timisoara	Rumanía	Cfb
Hamburgo	Alemania	Dfb	Moscú	Rusia	Dfb	Viena	Austria	Dfb
Helsinki	Finlandia	Cfb	Múnich	Alemania	Cfb	Varsovia	Poland	Dfb
Estambul	Turquía	Dfb	Nantes	Francia	Cfb	Breslavia	Poland	Cfb
Ámsterdam	Países Bajos	Csa	Niza	Francia	Csb			
Katowice	Polonia	Cfb	Opole	Polonia	Cfb			

Método de cálculo de la demanda energética

El algoritmo simplificado que se implementó en AMECO 3 permite predecir la demanda energética del edificio para:

- Calefacción de espacios;
- Refrigeración de espacios;
- Suministro de Agua Caliente Sanitaria (ACS).

Este algoritmo se basa en las prescripciones contenidas en diversas normas internacionales

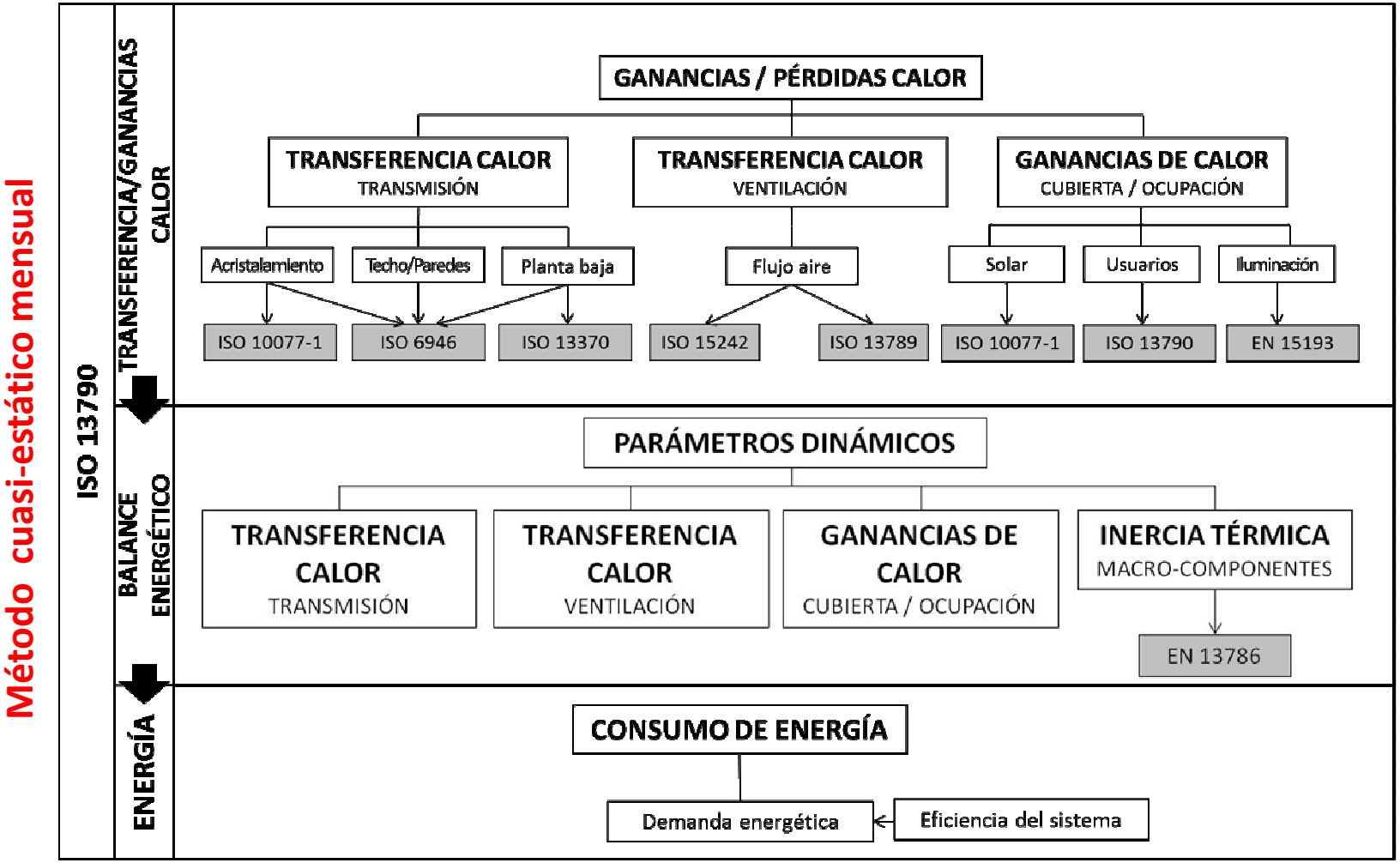
El cálculo de los consumos de calefacción y refrigeración sigue el método mensual cuasi-estático previsto por la norma ISO 13790 (2008).

Las demandas energéticas para la producción de ACS se calculan conforme a la norma EN 15316-3-1 (2007).

ISO 13790 (2008), Eficiencia energética de los edificios – Cálculo del consumo energético para la calefacción y refrigeración de espacios, CEN – Comité Europeo de Normalización.

EN 15316-3-1 (2007), Sistema de calefacción en edificios– Método para el cálculo de los requisitos de energía del sistema y de la eficiencia del sistema – Parte 3.1 Sistema de ACS, caracterización de necesidades (requisitos de acometida), CEN – Comité Europeo de Normalización.

Método de cálculo de la demanda energética



Algoritmo para la cuantificación de energía (fase de uso)

Principales inputs

UBICACIÓN DEL EDIFICIO→ relacionada con el clima (ciudad específica o región climática):

i) Temperatura del aire;

ii) Radiación solar en una superficie con una orientación dada.

TIPO DE EDIFICIO: p. ej. residencial, oficinas, comercial o industrial.

ENVOLVENTE DEL EDIFICIO en base a macro-componentes, (muros, forjados, cubiertas, losas, huecos).

DIMENSIONES DEL EDIFICIO y ORIENTACIÓN (p. ej. longitud, anchura, altura, número de plantas).

CONDICIONES INTERIORES: valores de consigna para calefacción y refrigeración, tasa de flujo de aire respecto a la ventilación.

SISTEMAS DEL EDIFICIO para la refrigeración y calefacción de espacios y producción de ACS

Principales outputs

Energía para la calefacción y refrigeración de espacios y para la producción de ACS.

Balance de calor a través de los principales elementos constructivos de los edificios (p. ej. Muros, cubierta, ventanas).

Algoritmo para la cuantificación de energía (fase de uso)

Principales procedimientos para el cálculo de la Demanda de Energía para la CALEFACCIÓN de espacios, $Q_{H,nd}$:

1) Balance térmico asumiendo calentamiento CONTINUO: → (pérdidas de calor)

a) $Q_{H,ht}$ Calor total transferido (por tansmisión + por ventilación)

b) $Q_{H,gn}$ Ganancias totales de calor (internas + solares)

c) $\eta_{H,gn}$ Factor de ganancia de utilización

$$Q_{H,nd} = Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn}\, Q_{H,gn}$$

2) Corrección para calentamiento INTERMITENTE:

a) Factor de reducción para calentamiento intermitente($a_{\mathrm{H,red}}$)

$$Q_{\mathrm{H,nd,interm}} = a_{\mathrm{H,red}}\, Q_{\mathrm{H,nd,cont}}$$

Algoritmo para la cuantificación de energía (fase de uso)

Principales procedimientos para el cálculo de la Demanda de Energía para la REFRIGERACIÓN* de espacios, $Q_{C,nd}$:

1) Balance térmico asumiendo refrigeración CONTINUA :

a) $Q_{C,ht}$ Calor total transferido (por transmisión + por ventilación)

b) $Q_{C,gn}$ Ganancias totales de calor (internas + solares)

c) $\eta_{C,ls}$ Factor de pérdida de utilización

Comparación con el modelo de calefacción

$$Q_{H,nd} = Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn}\, Q_{H,gn}$$

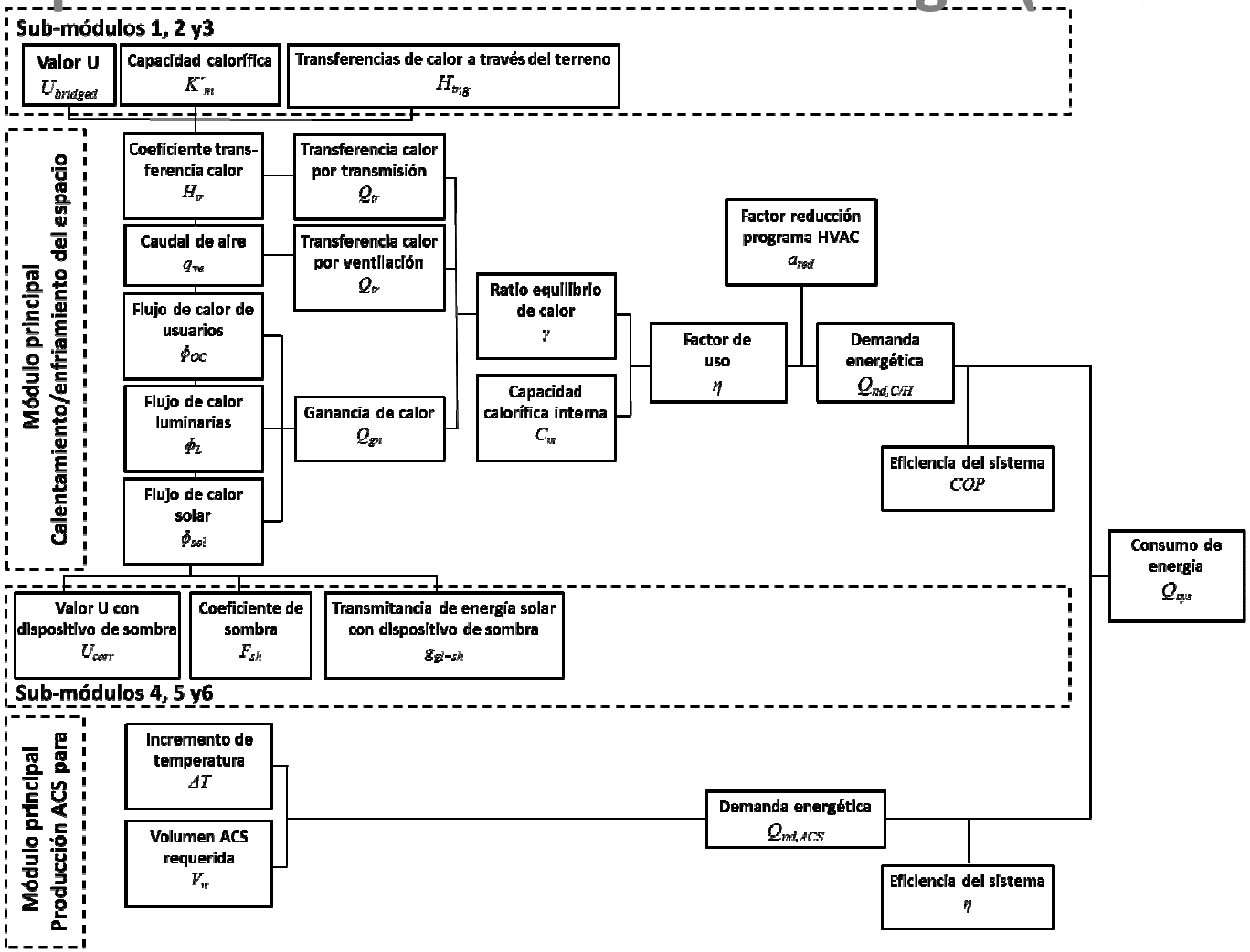
$$Q_{C,nd} = Q_{C,nd,cont} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls}\, Q_{C,ht}$$

2) Corrección para refrigeración INTERMITENTE :

a) Factor de reducción para refrigeración intermitente

* Método similar al utilizado en calefacción

Algoritmo para la cuantificación de energía (fase de uso)



2) Validación de las metodologías adoptadas

Cálculo de la demanda energética

La implementación del algoritmo que predice la demanda energética para la calefacción/refrigeración del edificio ha sido calibrado y su precisión verificada para diferentes niveles (Santos *et al.* 2014):

- Modelo de compartimento (EN 15265:2007);
- Modelo de apartamento (adaptado de la norma EN 15265:2007);
- Caso de estudio de construcción residencial.

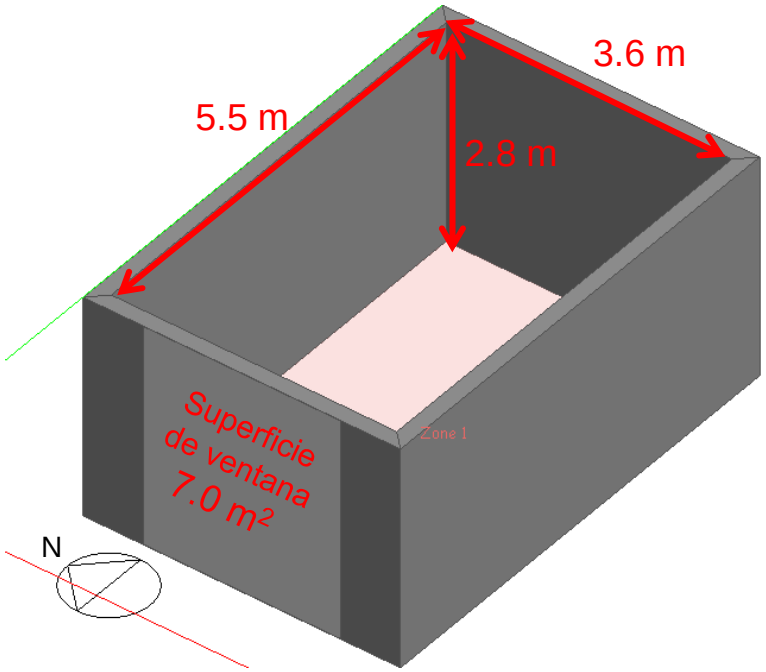
P. SANTOS; R. MARTINS; H. GERVÁSIO; L. SIMÕES DA SILVA, *"Evaluación de la energía operacional de la construcción en las primeras etapas de diseño – Un enfoque método mensual de estado cuasi-estáticos"*, ***ENERGÍA Y EDIFICIOS****(ISSN: 0378-7788)*, vol. 79, pp. 58–73, 2014.

EN 15265 (2007), Eficiencia enegética de los Edificios- Cálculo de las necesidades energéticas para la calefacción y refrigeración utilizando métodolos dinámicos – Criterios generales y procedimientos de validación - CEN - Comité Europeo de Normalización.

Modelo de compartimento (EN 15265:2007)

Esta norma indica una serie de 12 casos de prueba para un compartimento único.

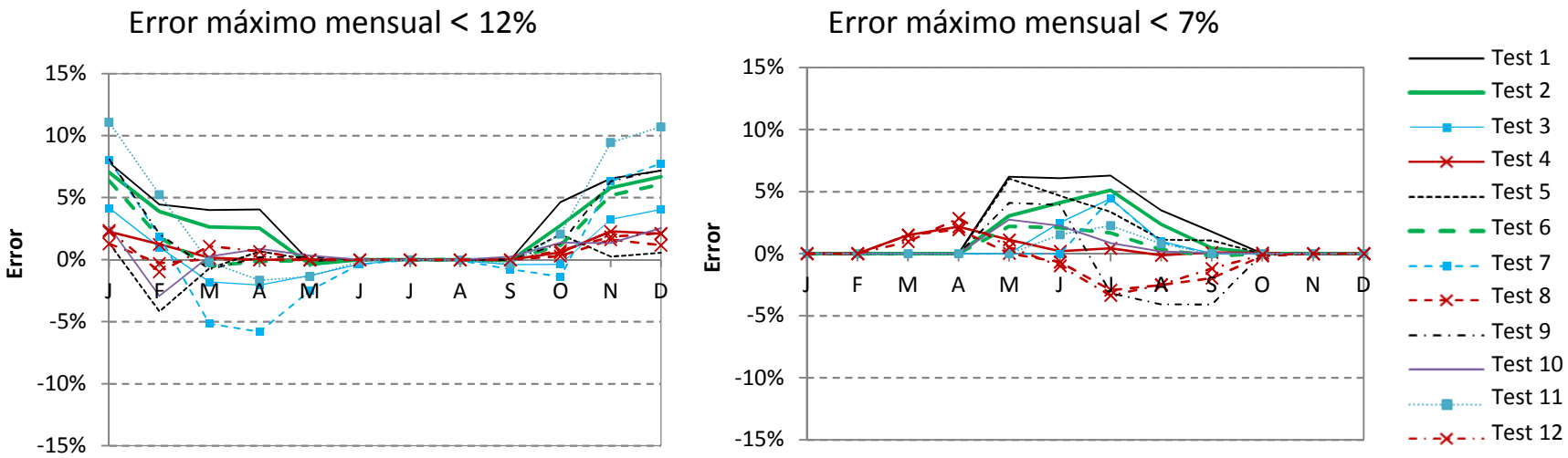
(Informativa)	**Test 1** Caso de referencia **Test 2** Alta inercia térmica **Test 3** Sin ganancias internas **Test 4** Sin protección solar	
HVAC Intermitente (Normativa)	**Test 5** = Test1 + **Test 6** = Test2 + **Test 7** = Test3 + **Test 8** = Test4 +	**HVAC sólo 8h00-18h00 de Lunes a Viernes**
HVAC Intermitente + Cubierta externa (Normativa)	**Test 9** = Test5 + **Test 10** = Test6 + **Test 11** = Test7 + **Test 12** = Test8 +	**Cubierta externa**



Estos casos de prueba permiten ver la influencia de ciertos parámetros clave en el algoritmo del cálculo de energía, tales como: dispositivos de protección solar, inercias térmica, sistemas HVAC intermitentes o continuos, guanacias internas, etc.

Modelo de compartimento (EN 15265:2007)

La precisión del algoritmo depende de: el caso de prueba, el mes y el modelo de calefacción o refrigeración.



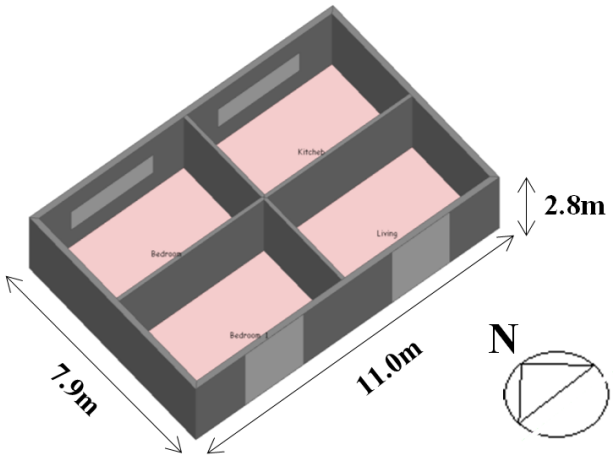
a) Modo calefacción

b) Modo refrigeración

Precisión mensual del algoritmo de calefacción/refrigeración: Doce casos de prueba de la norma EN 15265:2007.

Modelo de apartamento (adaptado de la norma EN 15265:2007)

Dado que el algoritmo mensual tiene como objetivo la predicción de las demandas energéticas de los edificios en lugar de centrarse sólo en el compartimento de un edificio tal y como prescribe la norma EN 15265 (2007), todas las calibraciones se llevaron a cabo con un nuevo conjunto de casos de prueba en base a las características típicas de construcción (apartamento) como se muestra en la figura.



a) Modelo constructivo (dimensiones interiores)

Elemento	U-value [W/m^2.K]	κ_m [J/m^2.K]
Muro exterior	0.493	81297
Pared interior	-	9146
Cubierta	0.243	6697
Planta baja	-	63380

κ_m Capacidad calorífica por área

b) Propiedades térmicas del cerramiento

Caso de prueba	GFR [%]	NGWR [%]	SGWR [%]	Protección solar
T1	35	36	54	ON
T2				OFF
T3	25	20	40	ON
T4				OFF
T5	15	12	24	ON
T6				OFF

GFR: relación de acristalamiento y suelo; NGWR: relación de acristamiento orientado al norte y pared; SGWR: relación de acristamiento orientado al sury pared.

c) Principales variables de los casos de prueba

Edificio de referencia utilizado para calibrar los factores de corrección

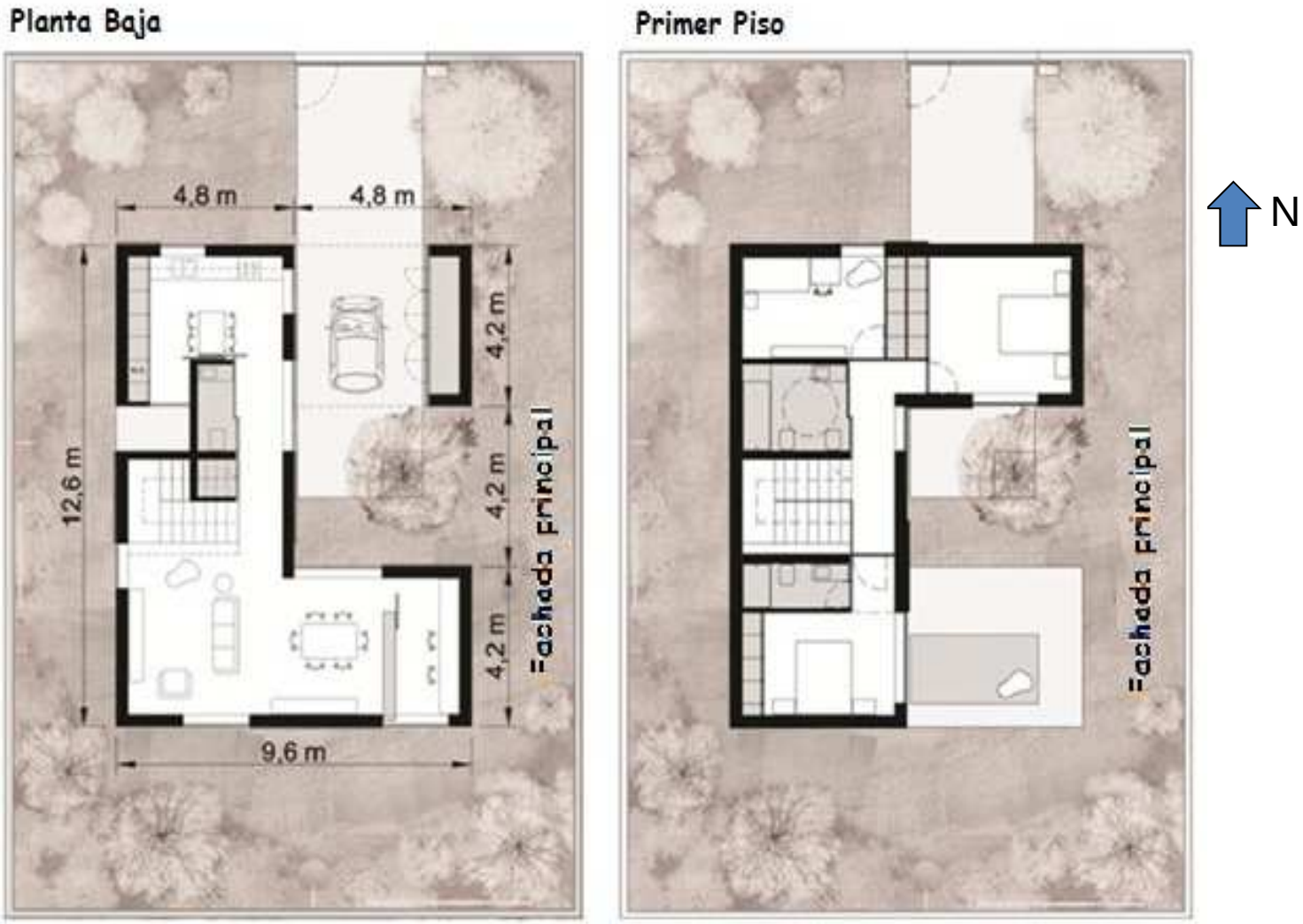
Caso de estudio de construcción residencial

Edificio de dos plantas resuelto con estructura ligera de acero ligero (LSF) de uso residencial situado en Coimbra.

Vista Sur-Oeste

Vista Norte-Oeste

Caso de estudio de construcción residencial

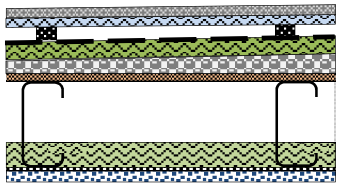


Vista en planta del edificio

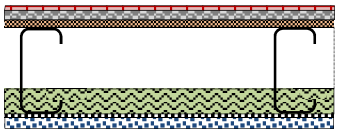
Caso de estudio de construcción residencial

Envolvente Opaca:

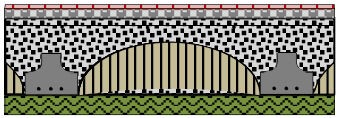
Forjado de cubierta



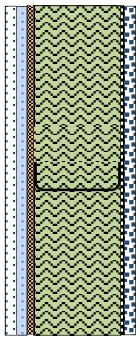
Forjado interior



Forjado en Planta Baja



Muro exterior



Pared interior

Propiedades térmicas:

Elemento	Valor U [W/m^2.K]	κ_m [J/m^2.K]
Forj. Cubierta	0.37	13435
Forj. interior	-	61062
Forj. Planta B.	0.60	65957
Muro exterior	0.29	13391
Pared interior	-	26782

Envolvente acristalada:

Propiedades térmicas:

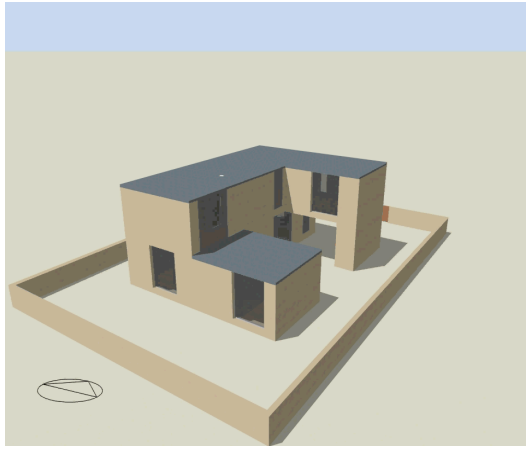
Materiales	Valor U [W/m^2.K]	SHGC
Doble vidrio y perfil de PVC (8+6 mm, cámara de aire de 14 mm)	2.60	0.78

SHGC – Coeficiente de ganancias de calor solar

Caso de estudio de construcción residencial

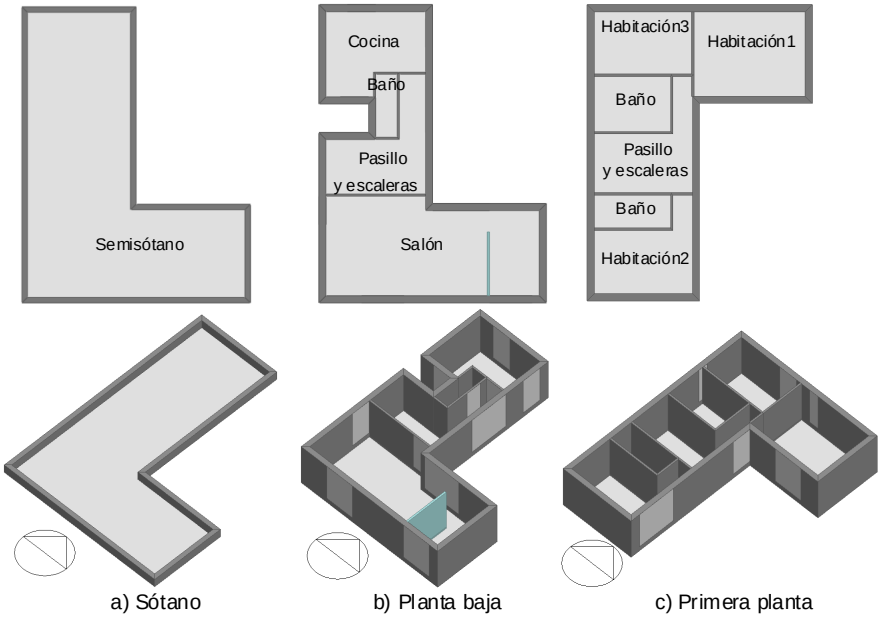
Los resultados de referencia para este edificio se obtuvieron a partir de simulaciones dinámicas avanzadas

Herramientas: DesignBuilder SOFTWARE EnergyPlus

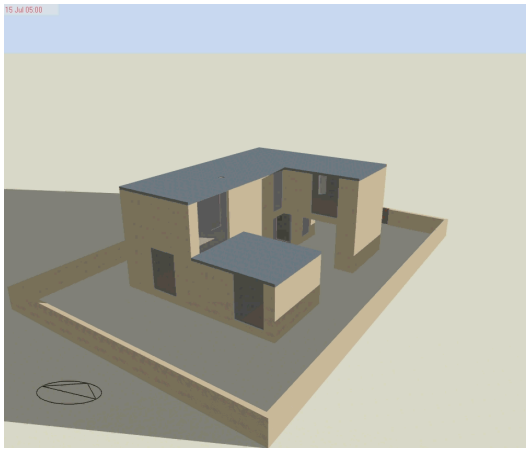


Vista Orbit del modelo DsB

El modelo se ensambló utilizando 10 zonas térmicas



Vista en planta de los 3 niveles

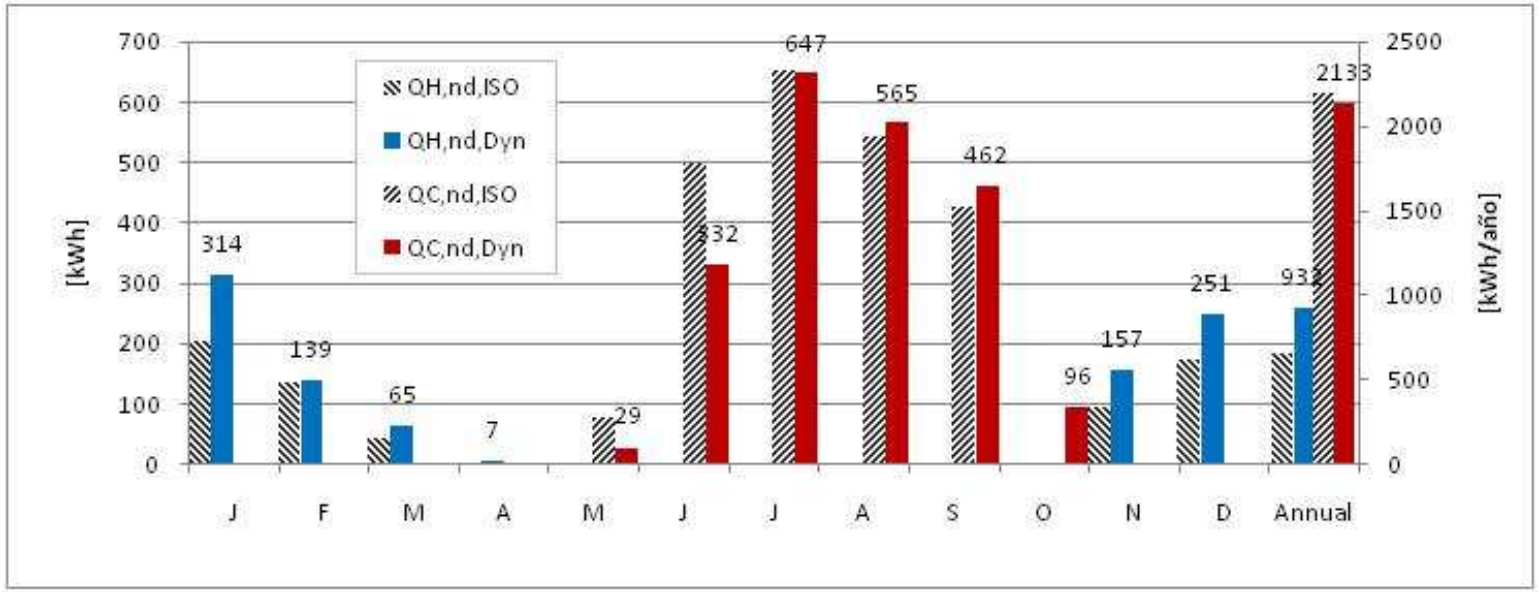


Evaluación de la sombra solar el 10 Ago.

Caso de estudio de construcción residencial

Resultados obtenidos:

Promedio de error: -7.2%



Demanda de energía para refrigeración y calefacción de espacios: simulaciones dinámicas (Dyn) *frente* algoritmo mensual (ISO)

3) Conclusiones finales

- La evaluación de la energía embebida y la operacional resulta imprescindible para realizar un análisis del ciclo de vida.
- Una predicción precisa de la energía para operar un edificio no es una tarea sencilla, ya que depende de muchos parámetros.
- En este caso se ha empleado un algoritmo simplificado para el cálculo de la demanda energética de calefacción y refrigeración así como para la producción de ACS, teniendo en cuenta algunas de normas internacionales.
- Se verificó la precisión del método mensual cuasi-estático provisto en la norma ISO 13790 comparándolo con simulaciones dinámicas avanzadas.
- La comparación de los resultados obtenidos permiten comprobar que la precisión del enfoque adoptado es válido (error medio < 10%).