

CODI TÈCNIC 2013 I ENVOLUPANTS AVANÇADES

Investigación en fachadas avanzadas: Casos prácticos

Eva Cuerva – Dra. Ingeniera Industrial
Carla Planas – Ingeniera Industrial

Càtedra UPC - JG
Sostenibilitat en l'enginyeria dels edificis



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Càtedra UPC-JG
UPC. Enginyeria de la Construcció

Auditori Pompeu Fabra, 18 de desembre de 2013

Enginyers
Industrials de Catalunya

CONTENIDO

▪ Introducción

▪ Diseño y análisis de fachadas

▪ Diseño y análisis de fachadas avanzadas

▪ La simulación en la edificación

▪ Casos prácticos

▪ Conclusiones

CONTEXTO

- El sector de la construcción es responsable del 40% del consumo total de energía y del 30-40% de emisiones de gases de efecto invernadero (Isover, 2010).
- El 64% de la energía consumida por el edificio se da en la fase de uso (COAC, 2008).
- En España, el 92% del parque inmobiliario está edificado sin ningún criterio de eficiencia ni sostenibilidad (González, 2010).
- Aproximadamente el 55% del consumo de energía de los edificios terciarios se destina a climatización. De éste, el 60%-70% es de refrigeración (JG Ingenieros, 2013).

NECESIDAD

Diseñar edificios siguiendo criterios de sostenibilidad y eficiencia energética



Directiva europea 2010/31/UE sobre Eficiencia Energética en los Edificios

Zero-emission buildings

CONTENIDO

▪ Introducción

▪ Diseño y análisis de fachadas

▪ Diseño y análisis de fachadas avanzadas

▪ La simulación en la edificación

▪ Casos prácticos

▪ Conclusiones

La envolvente del edificio



Principal vínculo energético edificio-entorno

Fachadas convencionales

- Exigencias establecidas por el CTE
- Cumplimiento condiciones se comprueba mediante la opción General o la opción Simplificada

Fachadas no convencionales (avanzadas)

- Fachadas ventiladas
- DFAV (natural o forzada)
- Fachadas verdes
- Fachadas con materiales avanzados (cambio de fase, vidrios especiales, etc.)
- Fachadas con protecciones solares móviles/variables
- Sistemas arquitectura bioclimática: muros Trombe, etc.

¿Cómo las diseñamos?

**En teoría son más eficientes, pero
¿Cómo evaluamos su funcionamiento?**

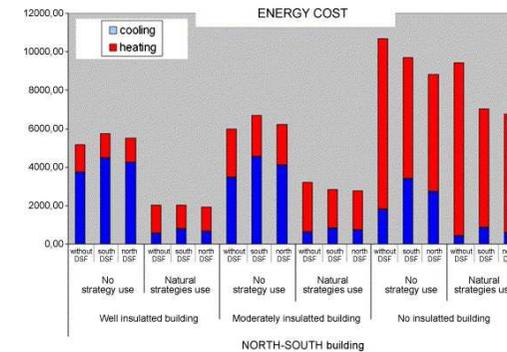
CONTENIDO

- Introducción
- Diseño y análisis de fachadas
- Diseño y análisis de fachadas avanzadas
- La simulación en la edificación
- Casos prácticos
- Conclusiones

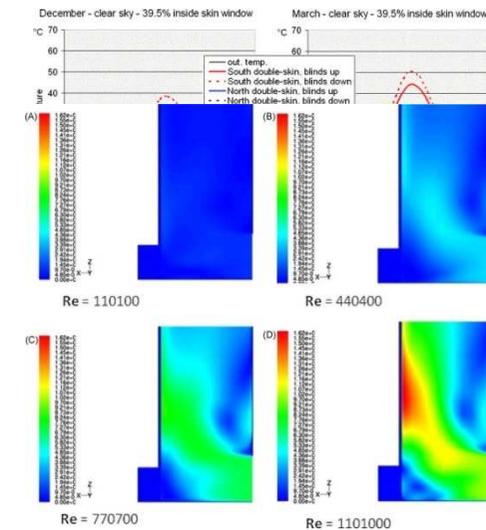
¿CÓMO ANALIZAR EL COMPORTAMIENTO DE FACHADAS AVANZADAS?



Análisis termoenergético



Análisis fluidodinámico



CONTENIDO

- Introducción
- Diseño y análisis de fachadas
- Diseño y análisis de fachadas avanzadas
- La simulación en la edificación
- Casos prácticos
- Conclusiones

MÉTODOS DE ANÁLISIS

Métodos experimentales

Experimentación in-situ:

- Campañas costosas
- Dificultades para medir los parámetros de influencia de la fachada

Modelos a escala, módulos de prueba:

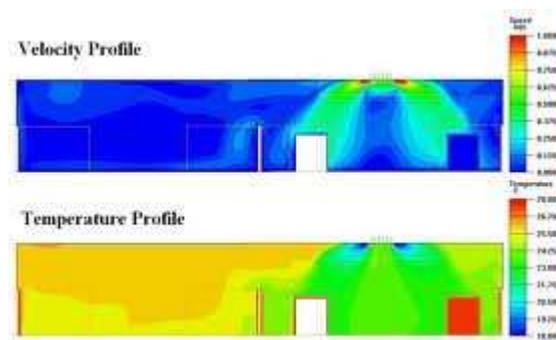
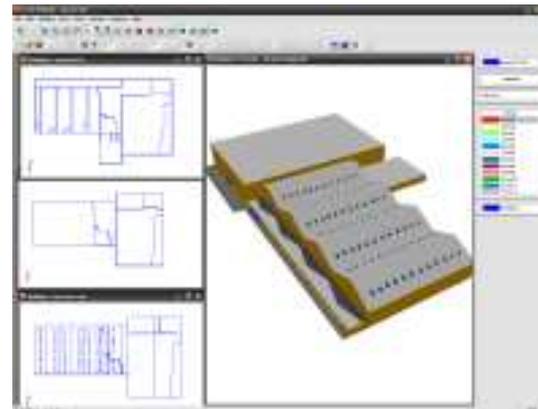
- Ambiente totalmente controlado
- Dificultad para determinar cómo se comportará el elemento ensayado en el edificio real



CONTENIDO

- Introducción
- Diseño y análisis de fachadas
- Diseño y análisis de fachadas avanzadas
- La simulación en la edificación
- Casos prácticos
- Conclusiones

MÉTODOS DE ANÁLISIS



Métodos analíticos y numéricos

Modelos matemáticos que simplifican el modelo real

Programas simulación térmica zonal y multizonal

Programas de CFD

Permiten obtener: distribuciones de temperatura, temperaturas medias (aire y superficie), velocidades del aire, flujos de calor, demanda energética edificio, etc

CONTENIDO

▪ Introducción

▪ Diseño y análisis de fachadas

▪ Diseño y análisis de fachadas avanzadas

▪ La simulación en la edificación

▪ Casos prácticos

▪ Conclusiones

¿Qué es la simulación informática en la edificación?

- Es una herramienta de análisis para el estudio del comportamiento **energético, térmico, lumínico y de protección contra incendios** de los edificios, los sistemas que lo componen y su interacción con el entorno.
- Mediante estas herramientas es posible disponer de los datos adecuados para proyectar y diseñar correctamente las instalaciones en espacios complejos desde el punto de vista del diseño térmico y de la optimización de recursos, obteniendo como resultados una reducción del consumo energético o una mejor eficiencia energética del edificio.
- El objeto es el de la utilización de herramientas informáticas para simular y validar diferentes opciones de la conceptualización del edificio y poder cuantificar la mejora obtenida en relación a diversas actuaciones propuestas en materia de ahorro y eficiencia energética en edificios de nueva construcción y existentes.

CONTENIDO

▪ Introducción

▪ Diseño y análisis de fachadas

▪ Diseño y análisis de fachadas avanzadas

▪ La simulación en la edificación

▪ Casos prácticos

▪ Conclusiones

Tipologías de simulación aplicables a la edificación

- **Consumos energéticos:** Obtención de los consumos energéticos del edificio derivados de uso a partir de las demandas de calefacción, refrigeración, ACS, iluminación y equipos. Dimensionado de sistemas de climatización y ventilación a partir del cálculo de cargas. Estimación de los costes de explotación.
- **Análisis térmico de los edificios:** Análisis del comportamiento térmico estacional del edificio. Análisis de condiciones térmicas en zona interior: estimación de temperaturas, humedades relativas, cargas térmicas sensibles y latentes.
- **CFD (Dinámica de Fluidos Computacional):** Estudio del comportamiento térmico y dinámico en instantes críticos del año, mediante la distribución de parámetros del aire. Análisis de la evolución de la contaminación y propagación de humos en caso de incendio.
- **Iluminación natural y artificial:** Análisis de la cantidad de luz natural que penetra en un local. Estudios de iluminación artificial y natural en diferentes planos de trabajo.
- **Estudios de evacuación:** Determinación del tiempo de evacuación de las personas ubicadas en un edificio. Permite diseñar el plan de emergencia de cualquier centro con el objetivo de proteger a las personas ante situaciones críticas, minimizando sus consecuencias.

CONTENIDO

▪ Introducción

▪ Diseño y análisis de fachadas

▪ Diseño y análisis de fachadas avanzadas

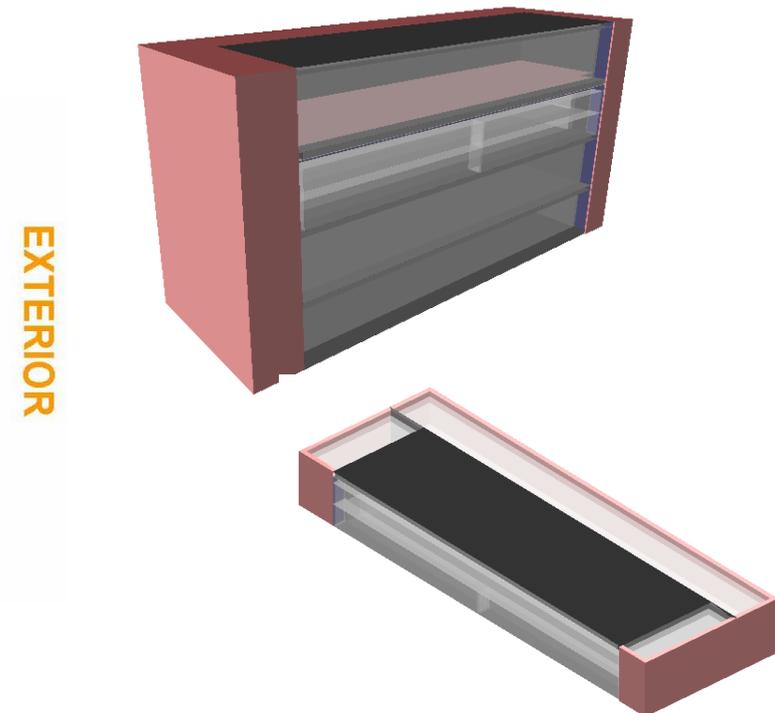
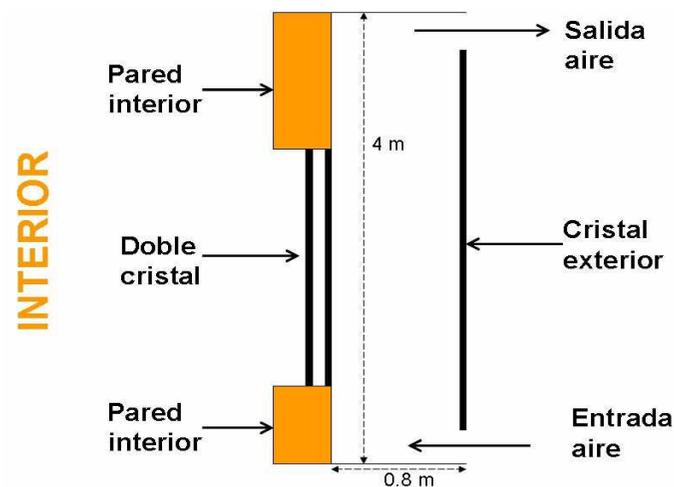
▪ La simulación en la edificación

▪ Casos prácticos

▪ Conclusiones

DOBLE FACHADA ACRISTALADA VENTILADA (DFAV)

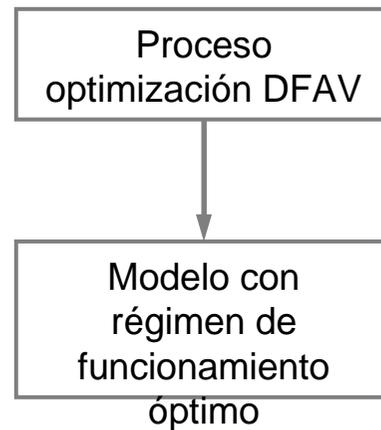
- Construcción multicapa caracterizada por la existencia de una cavidad (ventilada o no) situada entre dos pieles generalmente transparentes.
- Las configuraciones de la fachada están determinadas por las condiciones ambientales exteriores, con el objetivo de mejorar su comportamiento energético.



CONTENIDO

- Introducción
- Diseño y análisis de fachadas
- Diseño y análisis de fachadas avanzadas
- La simulación en la edificación
- Casos prácticos
- Conclusiones

DFAV: Análisis termoenergético



- Simulaciones con **diferentes regímenes de ventilación de la DFAV**

- Variación tipología vidrios
- Comprobación zonificaciones
- Comprobación estratificación temperaturas
- Análisis confort térmico interior (PMV y PDD)

CONTENIDO

▪ Introducción

▪ Diseño y análisis de fachadas

▪ Diseño y análisis de fachadas avanzadas

▪ La simulación en la edificación

▪ Casos prácticos

▪ Conclusiones

Análisis termoenergético: Resultados anuales (caso sin ventilar)

- Cargas térmicas
- Demandas climatización
- Picos demanda clima
- Frecuencias (h) temperatura resultante espacios



Orientaciones:

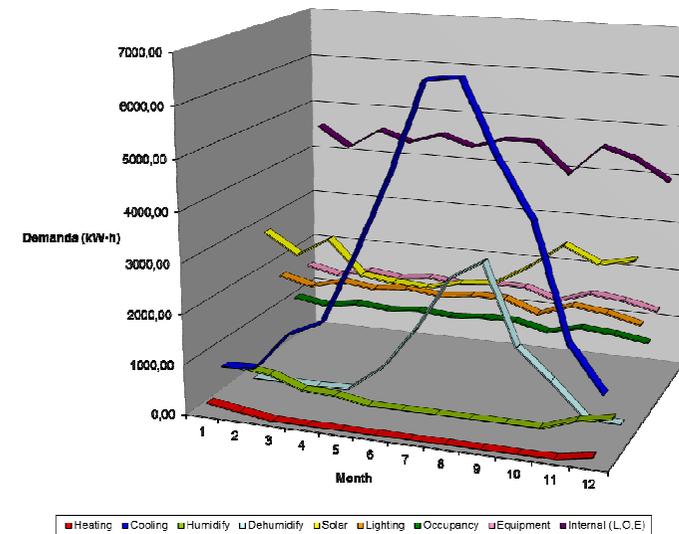
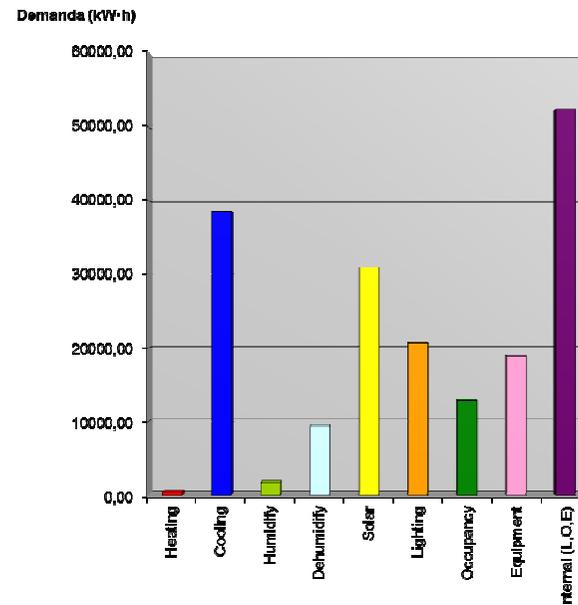
S, E, O, N

EJEMPLOS DE SIMULACIONES DE FACHADAS AVANZADAS

CONTENIDO

- Introducción
- Diseño y análisis de fachadas
- Diseño y análisis de fachadas avanzadas
- La simulación en la edificación
- Casos prácticos
- Conclusiones

Cargas y demandas de climatización globales



- La demanda de refrigeración es mayoritaria, siendo la de calefacción prácticamente despreciable.
- Demanda de refrigeración durante todo el año.
- La carga principal que afecta al edificio es la carga interna (reducción carga solar).

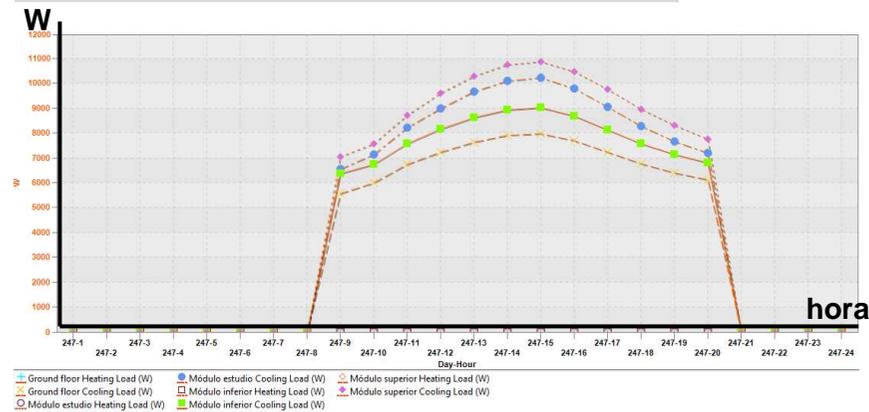
EJEMPLOS DE SIMULACIONES DE FACHADAS AVANZADAS

CONTENIDO

- Introducción
- Diseño y análisis de fachadas
- Diseño y análisis de fachadas avanzadas
- La simulación en la edificación
- Casos prácticos
- Conclusiones

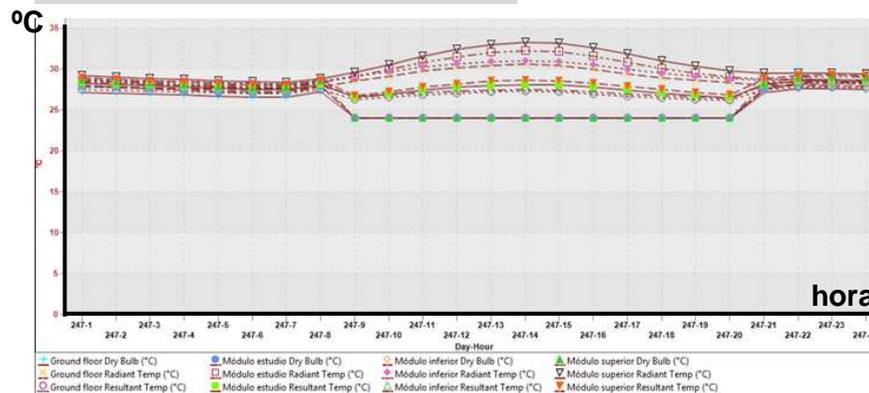
Resultados día crítico verano

Cargas y demandas de climatización



- Demanda de refrigeración aumenta con la altura de planta (mayor exposición)

Análisis de temperaturas



- Temperaturas radiantes aumentan con la altura de planta (más exposición solar).
- Temperatura resultante máxima para el módulo superior. Superiores a la temperatura de confort de 26°C.

CONTENIDO

▪ Introducción

▪ Diseño y análisis de fachadas

▪ Diseño y análisis de fachadas avanzadas

▪ La simulación en la edificación

▪ Casos prácticos

▪ Conclusiones

Análisis termoenergético DFAV: Caso Ventilación de fachada por recirculación de aire interior:

- Aprovechar energía térmica aire renovación edificio.

Resultados:

- **Disminución demanda climatización global muy reducida** [1,64% N - 3,45% S].
- **Pequeña reducción en temperaturas resultantes** (1% aprox.) y en temperaturas vidrios exterior e interior [entre 1,1% y 2,4% (N) y 2,7% y 3,4% (O)].

La ventilación por recirculación no parece ser una solución demasiado interesante

- ni a nivel de reducir demandas de climatización
- ni de mejorar las condiciones de confort térmico interiores

CONTENIDO

▪ Introducción

▪ Diseño y análisis de fachadas

▪ Diseño y análisis de fachadas avanzadas

▪ La simulación en la edificación

▪ Casos prácticos

▪ Conclusiones

Análisis termoenergético DFAV: Caso Ventilación mixta

Ventilación mixta
variable DFAV



Ventilar sólo si existe demanda de refrigeración.
Recirculación cte + Aportación aire exterior

- **Reducción importante de la demanda de climatización global del edificio respecto al caso sin ventilar (22,74%)**
- Las mejoras respecto a la DFAV ventilada (con recirculación o no) son escasas.
- **Mejora limitada respecto al caso sin recirculación** (análisis confort térmico para justificar la incorporación del sistema de recirculación del aire interior).

CONTENIDO

▪ Introducción

▪ Diseño y análisis de fachadas

▪ Diseño y análisis de fachadas avanzadas

▪ La simulación en la edificación

▪ Casos prácticos

▪ Conclusiones

Análisis termoenergético DFAV: Comparativa muro cortina equivalente

- Vidrio fachada cumple con los mínimos CTE ($U=2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ y $F=0,33$).
- **Incremento importante de la demanda de refrigeración:**
 - entre 18,93% N y 34,91% S mayor respecto la DFAV sin ventilar.
 - entre 36,14% N y 74,62% S mayor respecto la DFAV con ventilación óptima.
- Crece el número de horas en que $T_{\text{int}} > 26^\circ\text{C}$. **El confort térmico se ve muy comprometido.**

La DFAV sirve de pantalla para la radiación solar incidente, disminuyendo la demanda de climatización del edificio.

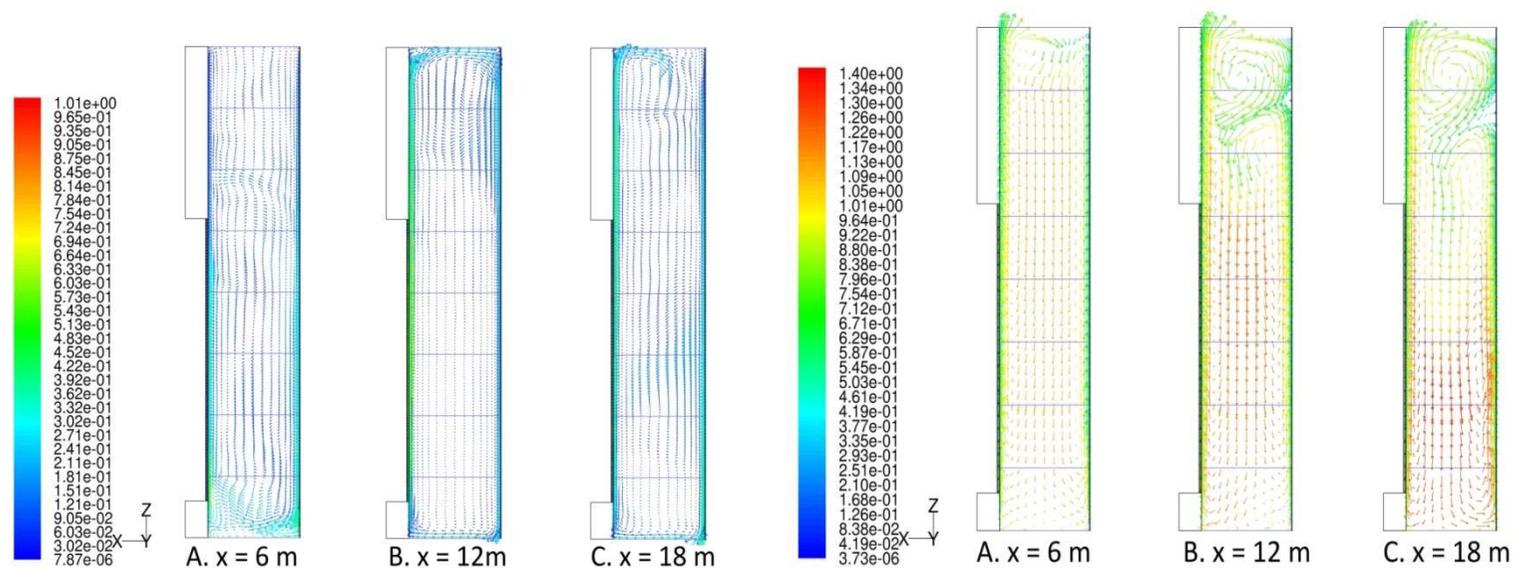
EJEMPLOS DE SIMULACIONES DE FACHADAS AVANZADAS

CONTENIDO

- Introducción
- Diseño y análisis de fachadas
- Diseño y análisis de fachadas avanzadas
- La simulación en la edificación
- Casos prácticos
- Conclusiones

DFAV: Análisis fluidodinámico

- Análisis flujo calor hacia el interior del edificio y de las temperaturas y velocidades del aire alcanzadas en la entrepíel en función del tipo de ventilación (caudal, dirección, intensidad turbulencia, etc.).



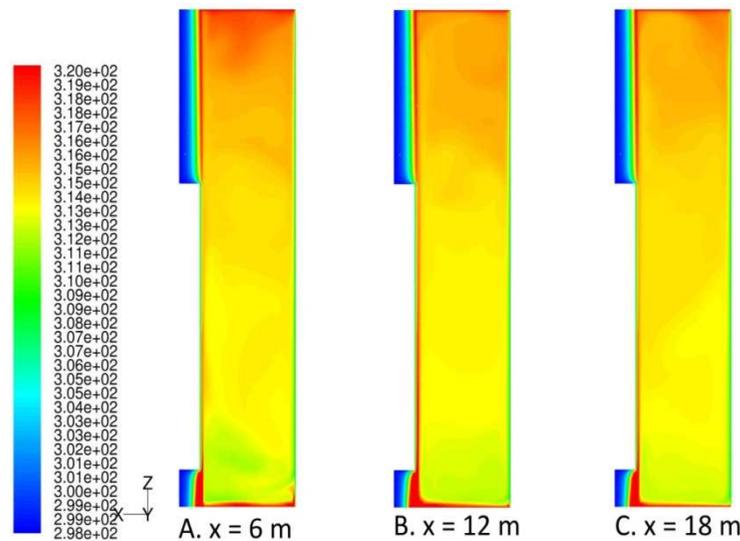
Velocidades (m/s) a las 15 horas en cortes transversales para una velocidad homogénea del fluido de 0 m/s (izquierda) y 1m/s (derecha)

EJEMPLOS DE SIMULACIONES DE FACHADAS AVANZADAS

CONTENIDO

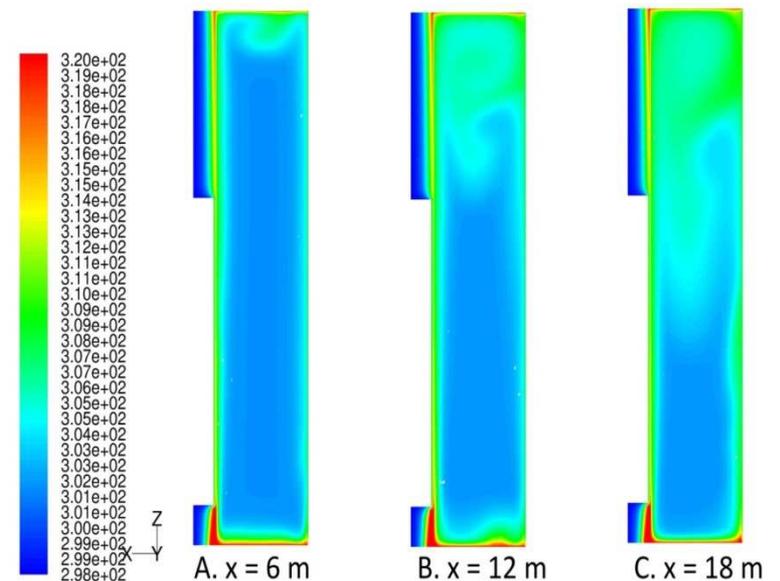
- Introducción
- Diseño y análisis de fachadas
- Diseño y análisis de fachadas avanzadas
- La simulación en la edificación
- Casos prácticos
- Conclusiones

DFAV: Análisis fluidodinámico



Temperaturas (K) a las 15 horas en cortes transversales para una velocidad homogénea del fluido de 0 m/s.

Temperaturas (K) a las 15 horas en cortes transversales para una velocidad homogénea del fluido de 1 m/s.



CONTENIDO

▪ Introducción

▪ Diseño y análisis de fachadas

▪ Diseño y análisis de fachadas avanzadas

▪ La simulación en la edificación

▪ Casos prácticos

▪ Conclusiones

ANÁLISIS DE FACHADAS NO CONVENCIONALES

- **Objetivo:** conocer las afectaciones energéticas de la obra construida por un despacho de arquitectura de Barcelona y desarrollar estrategias de mejora.
- **Fachadas de edificios de todo tipo, tamaño y uso.** Se consideran las afectaciones de la configuración de la fachada y las derivadas de la fase de servicio, estimando diversos escenarios hipotéticos de orientación y uso interior para comparar los resultados más allá de su aplicación específica real.
- Los datos obtenidos permiten constatar que existen **diferencias considerables** entre el impacto asociado a los diferentes tipos de fachada estudiados, y que éstas no guardan relación directa con el coste económico de las soluciones.
- En clima mediterráneo (Barcelona), la **protección solar** se confirma como uno de los problemas fundamentales a resolver en usos de alta carga interna. Dentro de las soluciones adoptadas, los sistemas que permiten un **ajuste de las condiciones de operación** ofrecen mejores resultados (a pesar de tener cierto riesgo por depender de la correcta gestión del usuario). Una **proporción reducida de huecos** constituye una interesante medida adicional para mejorar ciertos casos de difícil gestión.

EJEMPLOS DE SIMULACIONES DE FACHADAS AVANZADAS

CONTENIDO

- Introducción
- Diseño y análisis de fachadas
- Diseño y análisis de fachadas avanzadas
- La simulación en la edificación
- Casos prácticos
- Conclusiones

Fachadas no convencionales: algunos edificios analizados



EJEMPLOS DE SIMULACIONES DE FACHADAS AVANZADAS

CONTENIDO

▪ Introducción

▪ Diseño y análisis de fachadas

▪ Diseño y análisis de fachadas avanzadas

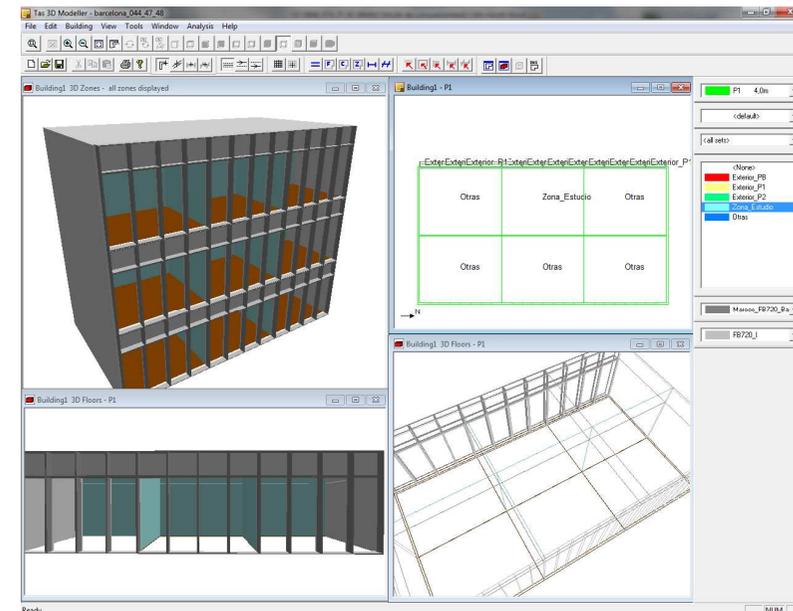
▪ La simulación en la edificación

▪ Casos prácticos

▪ Conclusiones

Modelización simplificada utilizada (análisis termoenergético)

- Se consideran las cuatro orientaciones principales para el modelo.
- Se analizan los módulos centrales de cada planta intermedia, para valorar únicamente el efecto de la fachada sobre la demanda energética de los espacios analizados (limitación pérdidas secundarias).



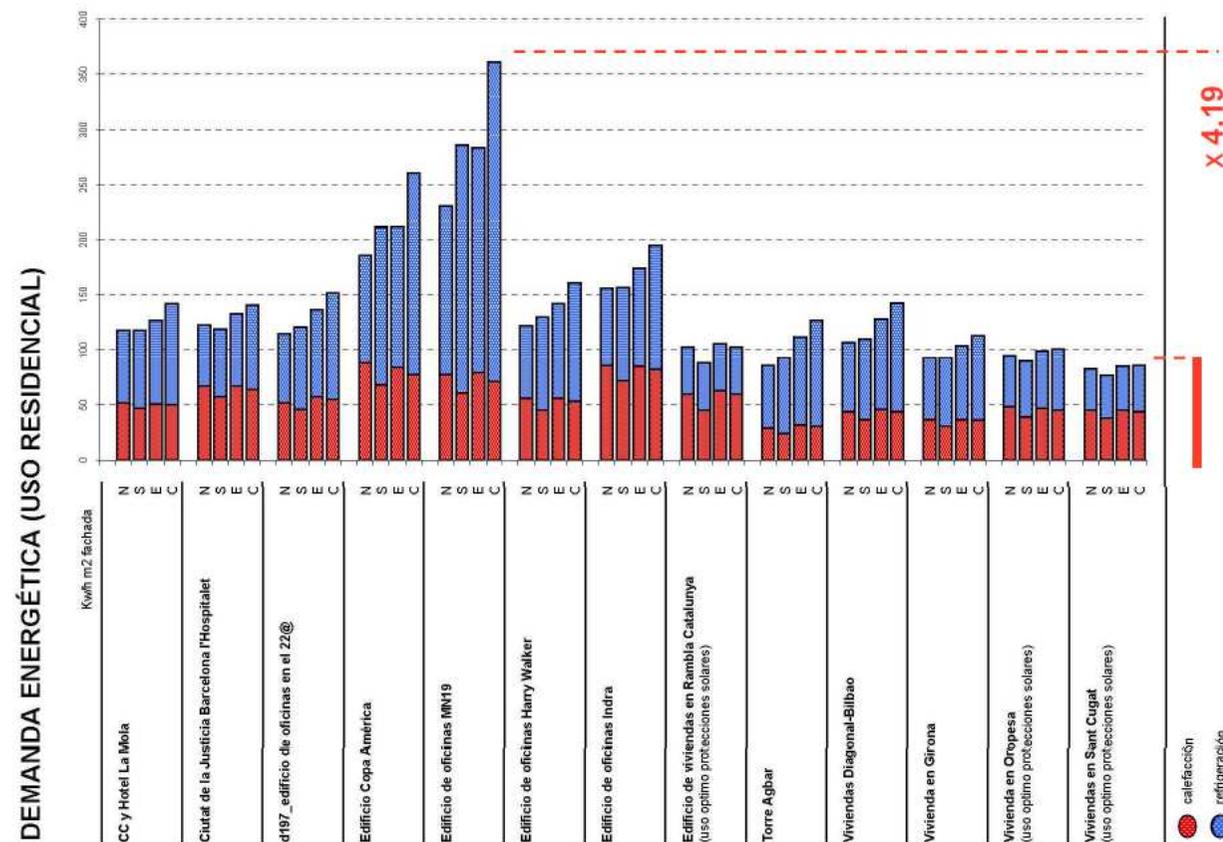
EJEMPLOS DE SIMULACIONES DE FACHADAS AVANZADAS

CONTENIDO

- Introducción
- Diseño y análisis de fachadas
- Diseño y análisis de fachadas avanzadas
- La simulación en la edificación
- Casos prácticos
- Conclusiones

Efecto de la tipología de fachada

Para un mismo uso y orientación, el tipo de fachada puede suponer diferencias importantes en la demanda energética y su impacto asociado



EJEMPLOS DE SIMULACIONES DE FACHADAS AVANZADAS

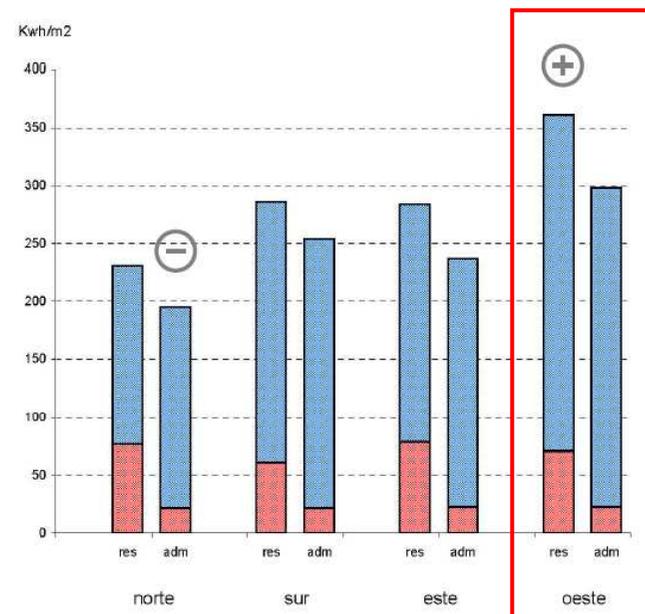
CONTENIDO

- Introducción
- Diseño y análisis de fachadas
- Diseño y análisis de fachadas avanzadas
- La simulación en la edificación
- Casos prácticos
- Conclusiones

Efecto de la orientación de fachada

DEMANDA ENERGÉTICA	Uso residencial		Uso Administrativo	
	calefacción	refrigeración	calefacción	refrigeración
Kwh/m2 fachada				
Orientación Norte	67	56	18	91
Orientación Sur	57	62	18	98
Orientación Este	67	66	20	103
Orientación Oeste	64	77	20	112

Caso impacto máximo CI MAX:	Residencial / orientación Oeste
Caso impacto mínimo CI MIN:	Administrativo / orientación Norte



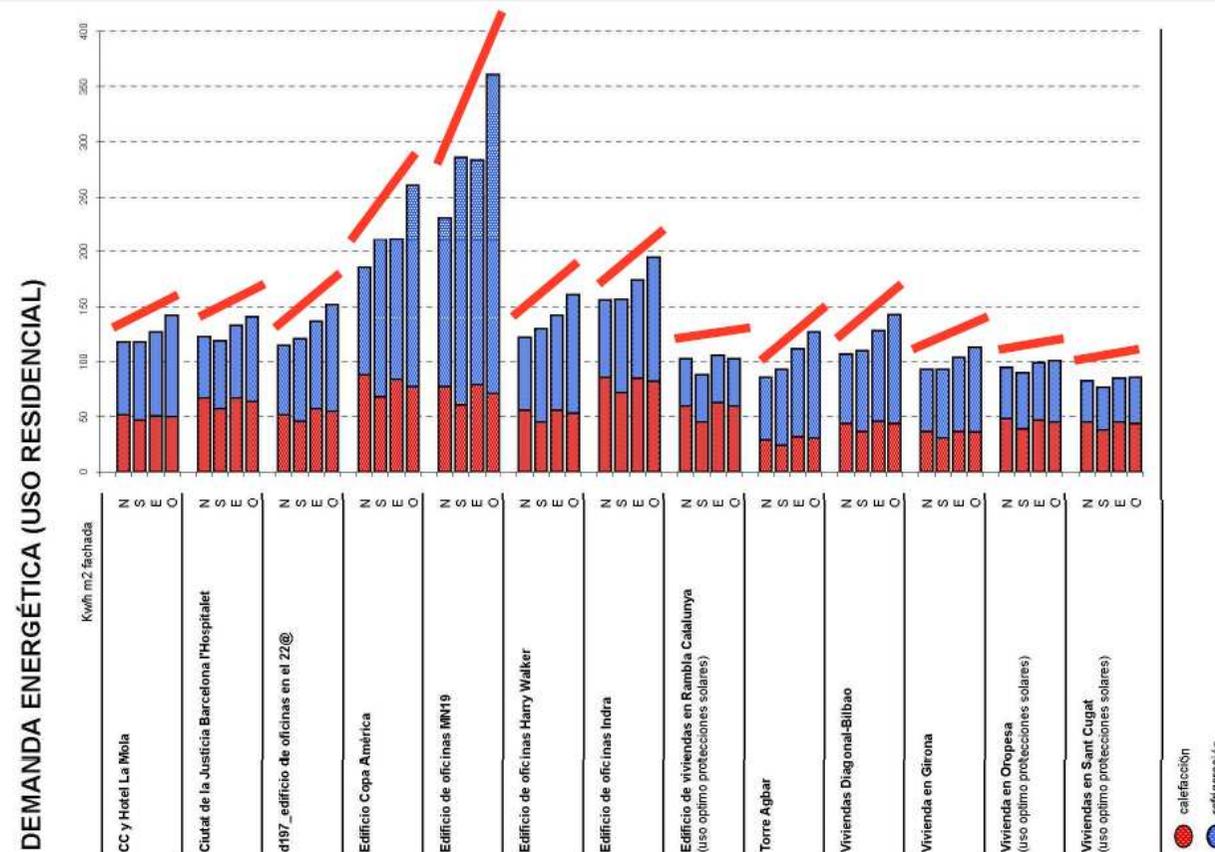
EJEMPLOS DE SIMULACIONES DE FACHADAS AVANZADAS

CONTENIDO

- Introducción
- Diseño y análisis de fachadas
- Diseño y análisis de fachadas avanzadas
- La simulación en la edificación
- Casos prácticos
- Conclusiones

Efecto de la orientación: tendencias según tipo de fachada

No parece haber soluciones de fachada que funcionen en fase de uso de una manera especialmente adecuada y diferenciada para orientaciones concretas. Existen situaciones problemáticas en las que es importante extremar las precauciones



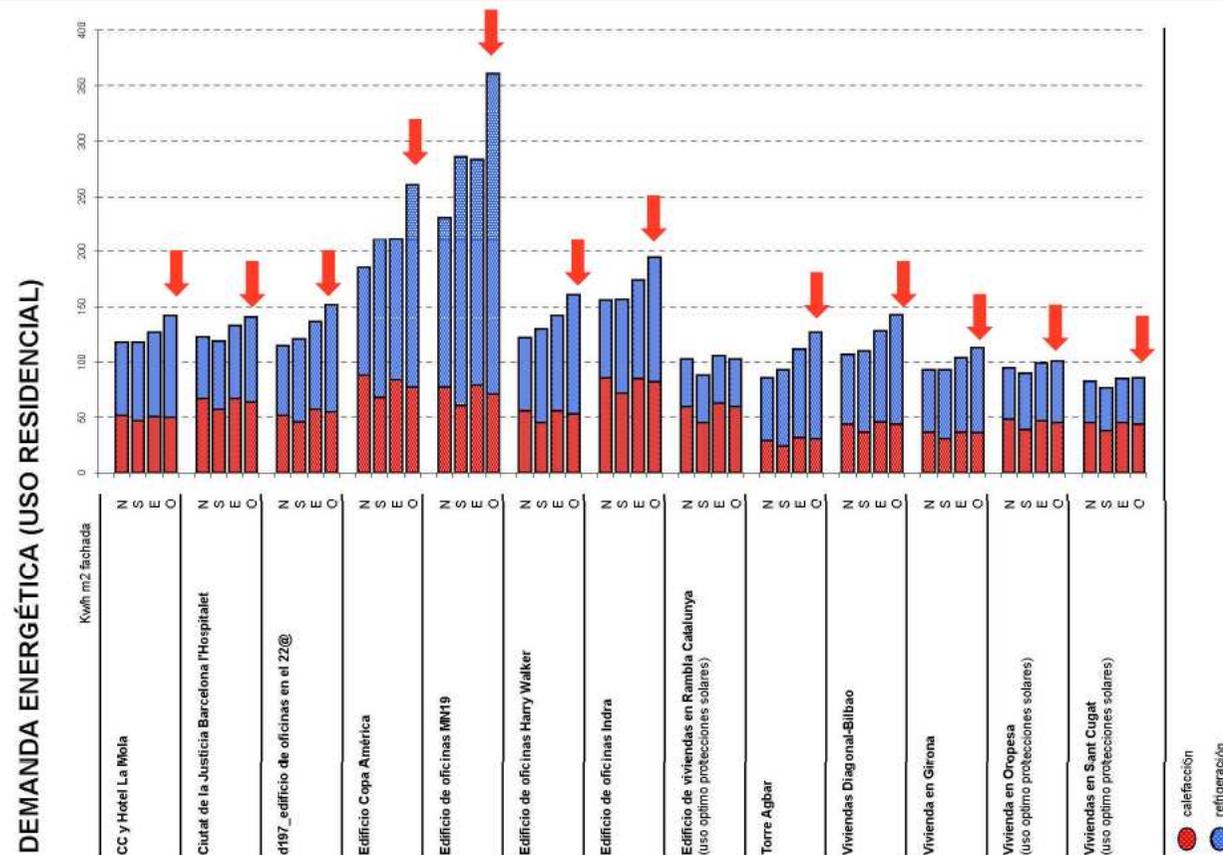
EJEMPLOS DE SIMULACIONES DE FACHADAS AVANZADAS

CONTENIDO

- Introducción
- Diseño y análisis de fachadas
- Diseño y análisis de fachadas avanzadas
- La simulación en la edificación
- Casos prácticos
- Conclusiones

Efecto de la orientación: orientación crítica

La orientación oeste es la más problemática. En ella se producen normalmente las mayores demandas para cada caso



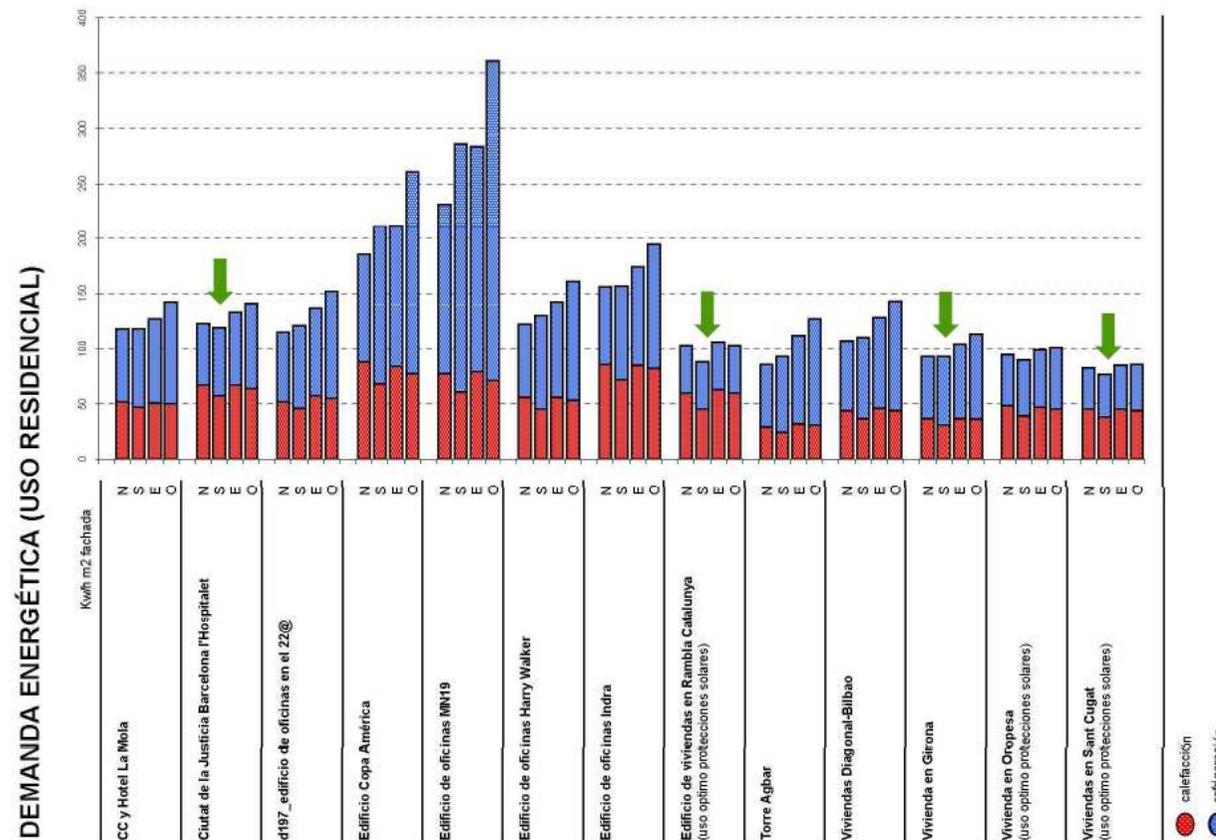
EJEMPLOS DE SIMULACIONES DE FACHADAS AVANZADAS

CONTENIDO

- Introducción
- Diseño y análisis de fachadas
- Diseño y análisis de fachadas avanzadas
- La simulación en la edificación
- Casos prácticos
- Conclusiones

Efecto de la orientación: orientaciones favorables

La orientación más favorable es la sur siempre que exista un sistema de control solar con capacidad de modular el paso de la radiación solar. La orientación norte tampoco es desfavorable desde un punto de vista de demanda de acondicionamiento climático



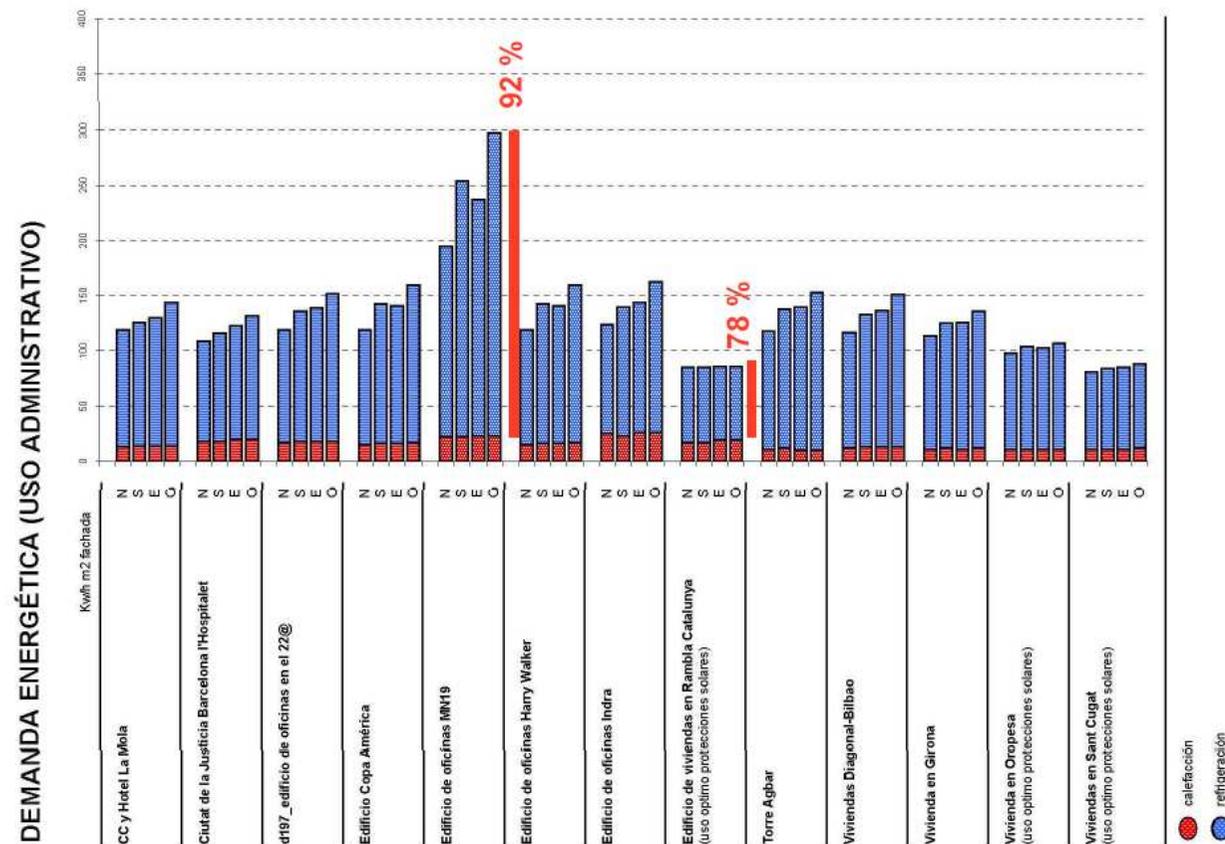
EJEMPLOS DE SIMULACIONES DE FACHADAS AVANZADAS

CONTENIDO

- Introducción
- Diseño y análisis de fachadas
- Diseño y análisis de fachadas avanzadas
- La simulación en la edificación
- Casos prácticos
- Conclusiones

Efecto de la carga interna

La demanda de refrigeración y su impacto derivado son especialmente importantes en los usos con una alta carga interna



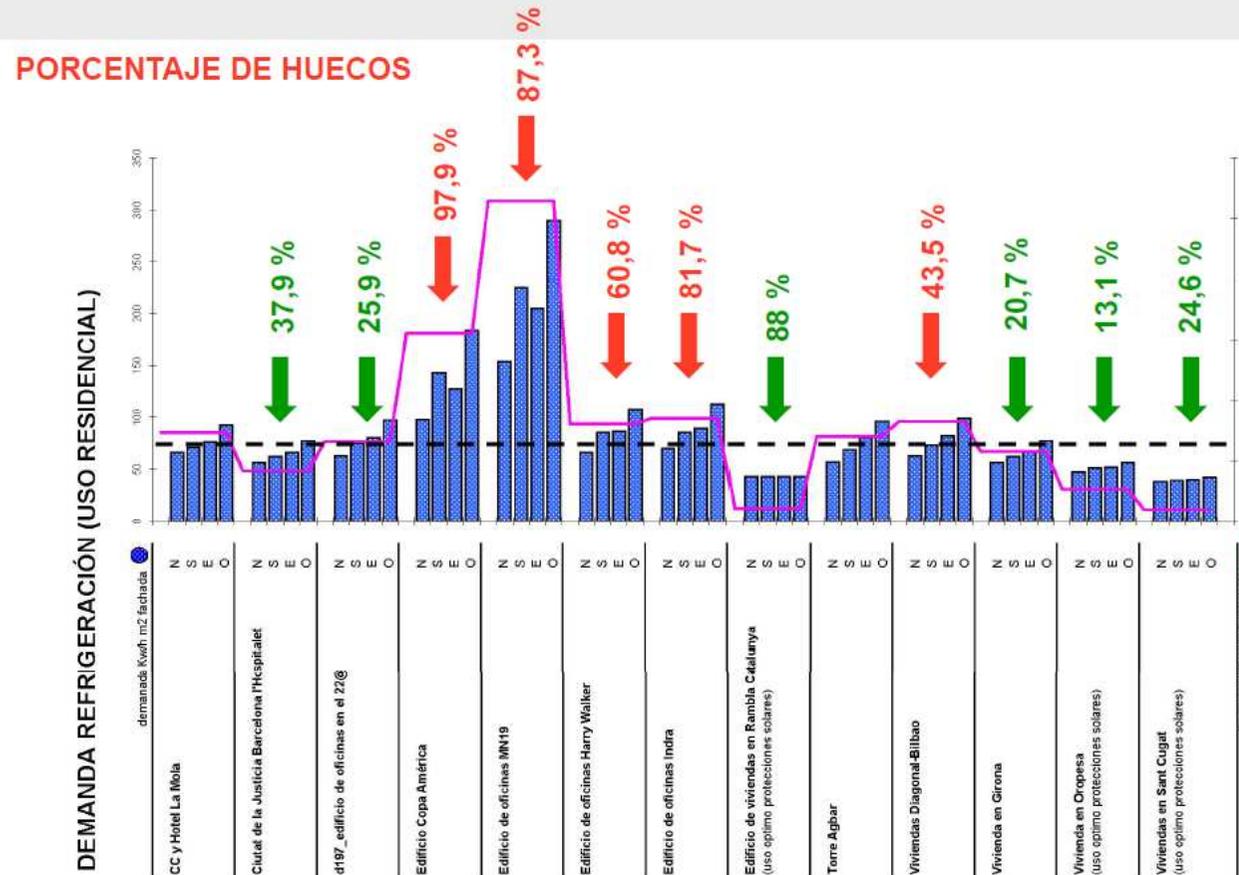
EJEMPLOS DE SIMULACIONES DE FACHADAS AVANZADAS

CONTENIDO

- Introducción
- Diseño y análisis de fachadas
- Diseño y análisis de fachadas avanzadas
- La simulación en la edificación
- Casos prácticos
- Conclusiones

Efecto del factor solar global de fachada sobre la demanda de refrigeración

La demanda de refrigeración y su impacto dependen directamente del grado de control solar



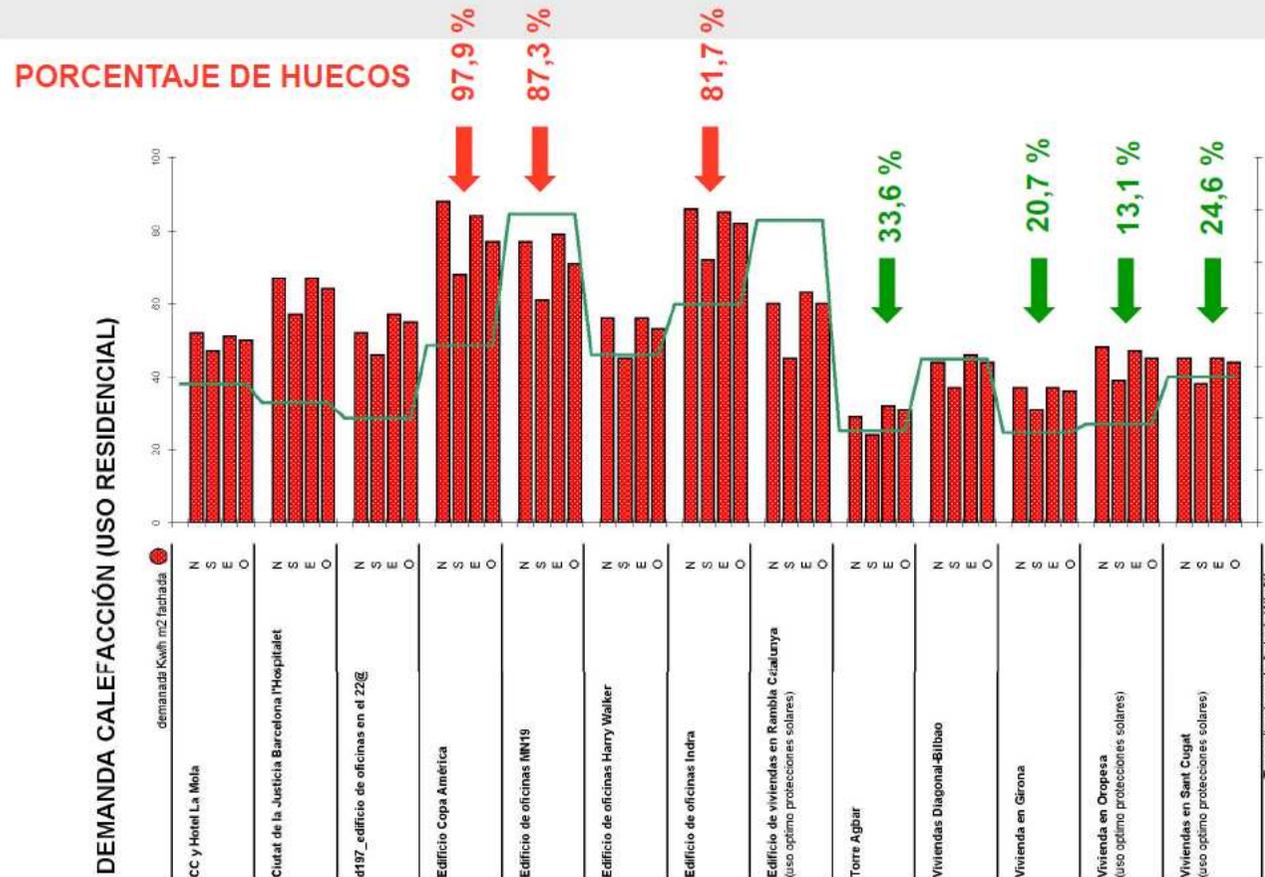
EJEMPLOS DE SIMULACIONES DE FACHADAS AVANZADAS

CONTENIDO

- Introducción
- Diseño y análisis de fachadas
- Diseño y análisis de fachadas avanzadas
- La simulación en la edificación
- Casos prácticos
- Conclusiones

Efecto del coeficiente U global de fachada sobre la demanda de calefacción

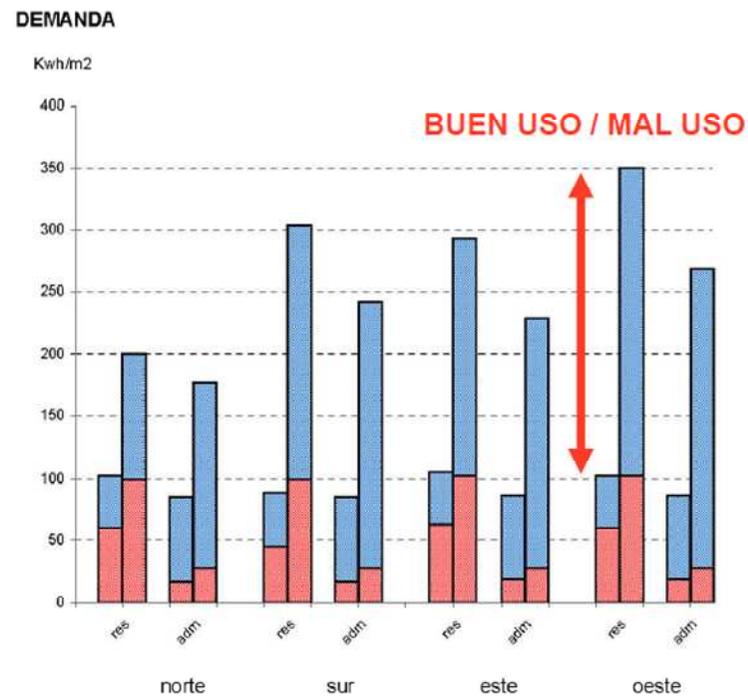
La demanda de calefacción y su impacto depende en gran medida del grado de aislamiento térmico, pero también pueden influir determinadamente otros factores como la captación solar directa o la inercia térmica



CONTENIDO

- Introducción
- Diseño y análisis de fachadas
- Diseño y análisis de fachadas avanzadas
- La simulación en la edificación
- Casos prácticos
- Conclusiones

Efecto de la gestión del usuario



CONTENIDO

▪ Introducción

▪ Diseño y análisis de fachadas

▪ Diseño y análisis de fachadas avanzadas

▪ La simulación en la edificación

▪ Casos prácticos

▪ Conclusiones

- **La fachada es el elemento clave en el comportamiento termoenergético del edificio.** Su correcto diseño es fundamental para minimizar el consumo energético y mejorar las condiciones de confort térmico interior.
- Para analizar la **demanda energética de fachadas no convencionales** se necesitan medios alternativos, a parte de las reglamentaciones existentes.
- Los **softwares de simulación** son herramientas útiles para el diseño y análisis del comportamiento de edificios con tipologías constructivas o sistemas complejos.
- El **caso de estudio de la DFAV** indica que su utilización frente al muro cortina tradicional puede reducir la demanda de climatización y mejorar el confort térmico.
- La **estrategia de ventilación** mixta de la DFAV supone una **reducción notable de la demanda de climatización** del edificio respecto al caso de DFA sin ventilar. **La ventilación por recirculación no parece ser una solución demasiado interesante.**
- El **estudio energético de fachadas no convencionales** en Barcelona permite constatar que existen diferencias considerables entre el impacto asociado a los diferentes tipos de fachada estudiados, y que éstas no guardan relación directa con el coste económico de las soluciones.
- Algunos de los **parámetros** de mayor **influencia** en este comportamiento son la carga interna, la orientación, la proporción de huecos y las condiciones de operación.
- En clima mediterráneo (Barcelona), la **protección solar de la fachada** se confirma como uno de los problemas fundamentales a resolver en usos de alta carga interna.

CODI TÈCNIC 2013 I ENVOLUPANTS AVANÇADES

Muchas gracias por su atención

eva.cuerva@upc.edu

Auditori Pompeu Fabra, 18 de desembre de 2013

Enginyers
Industrials de Catalunya

