



D8.9 Educational Material for University Studies

Aplicación del estándar Passivhaus a la rehabilitación energética de edificios:

estudio de caso en la E.T.S.I.I. de Béjar (Salamanca)

Miguel Á. García-Fuentes¹, Alberto Meiss², José L. Hernández-García¹, Cristina de Torre¹, Daniel García-Gil¹ - migggar@cartif.es

¹División de Energía, Fundación Cartif

²G.I.E. Arquitectura y Energía, Universidad de Valladolid

Guiding principle



Presentation 2

Author: Miguel Á. García-Fuentes

Partner: CARTIF

University course: Master in Industrial Energy Management

Date: 23.11.2013

Place: Metropolitan Technology Institute, Medellín (Colombia)

Title of the lesson: “Building Energy Performance Simulation” (translation)

Description of the contents: The lesson was focused on Building and Facilities Energy Performance, covering an introduction about the Energy Performance principles and simulation tools, and then focusing two projects: 3encult and BaaS (Building as a Service) (the slides corresponding this last project has been removed). The lesson was made via teleconference, and the attendees were very interested about the simulation processes and the non-destructive testing deployed in the building.

Name of the file: WP8_D8.9_201311_CARTIF-Lesson2

El proyecto 3encult



Edificios históricos



- ... son la **marca distintiva** de numerosas ciudades europeas
- ... son un símbolo vivo de la **riqueza cultural y diversidad** en Europa
- ... reflejan la identidad de la sociedad y **necesitan ser protegidos**

- ... muestran un alto nivel de **ineficiencia energética**
- ... contribuyen al cambio climático debido a las **emisiones de CO₂**
- ... no siempre ofrecen **condiciones de confort** – a los usuarios o para la conservación de ciertos elementos artísticos

Se puede lograr una gran reducción en la demanda energética, también en edificios históricos, conservando su valor patrimonial si se aplica una metodología multidisciplinar que garantice la implementación de intervenciones de alta calidad, específicamente diseñadas y adaptadas a cada caso concreto.



Intercambio multidisciplinar



Conservadores

“Incluir todos los interesados en el proceso de diseño de soluciones de rehabilitación energética en edificios históricos es un principio básico del proyecto 3encult”

Propietarios y usuarios

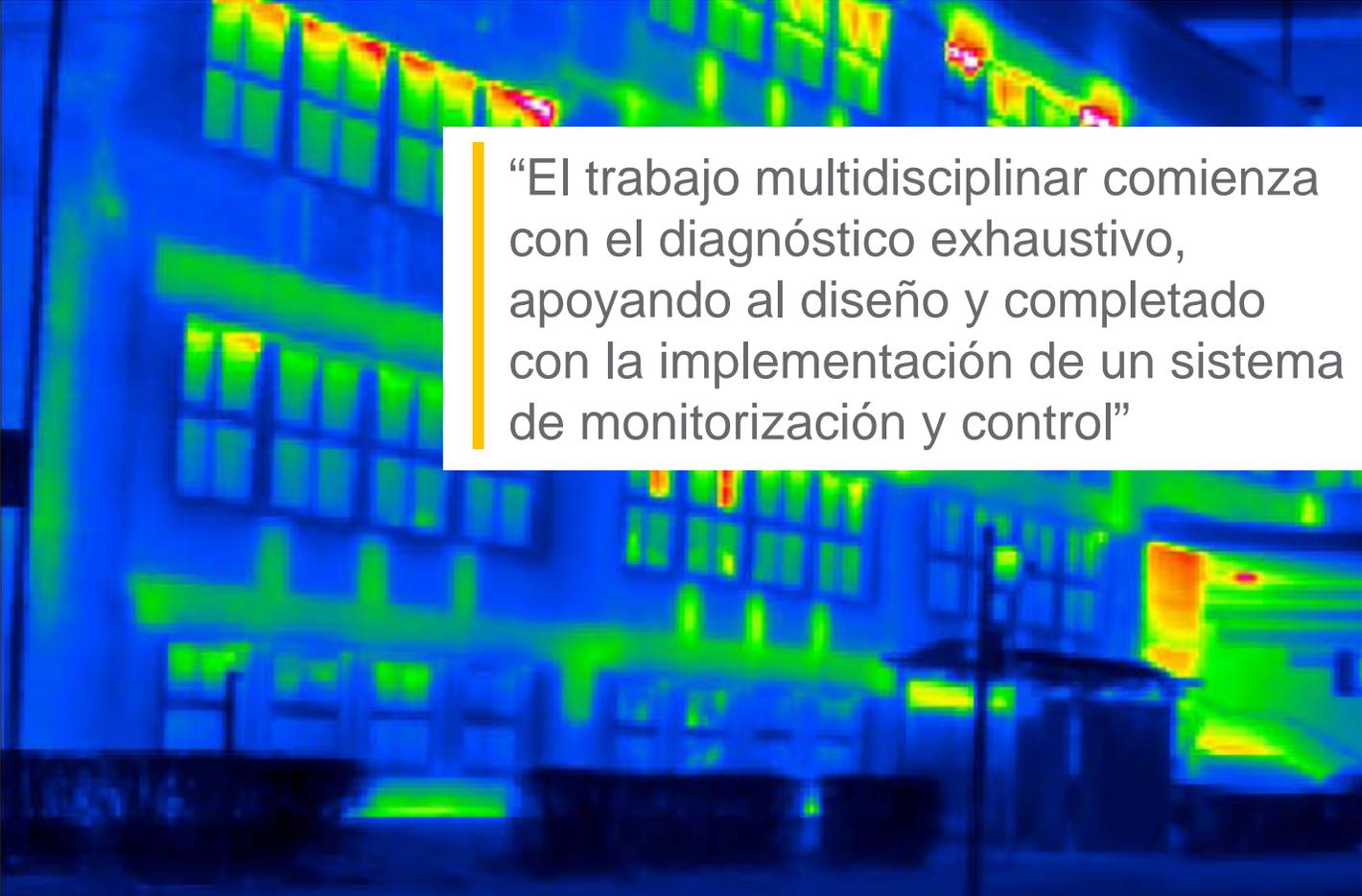
Expertos técnicos

Autoridades locales

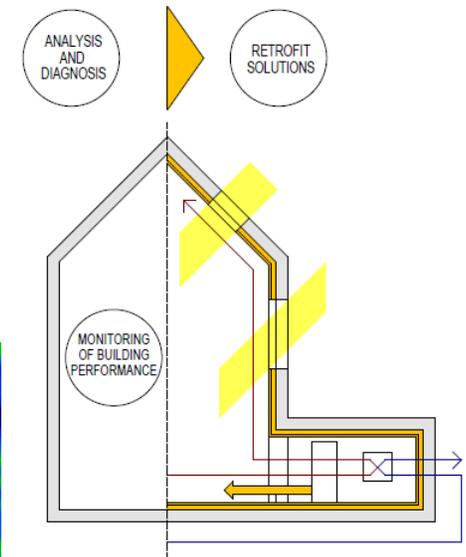
Urbanistas



Enfoque holístico

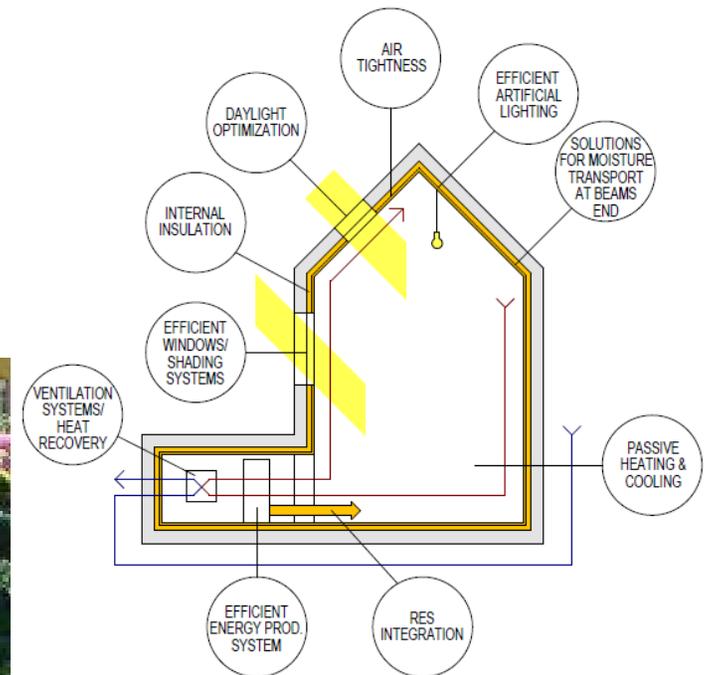


“El trabajo multidisciplinar comienza con el diagnóstico exhaustivo, apoyando al diseño y completado con la implementación de un sistema de monitorización y control”

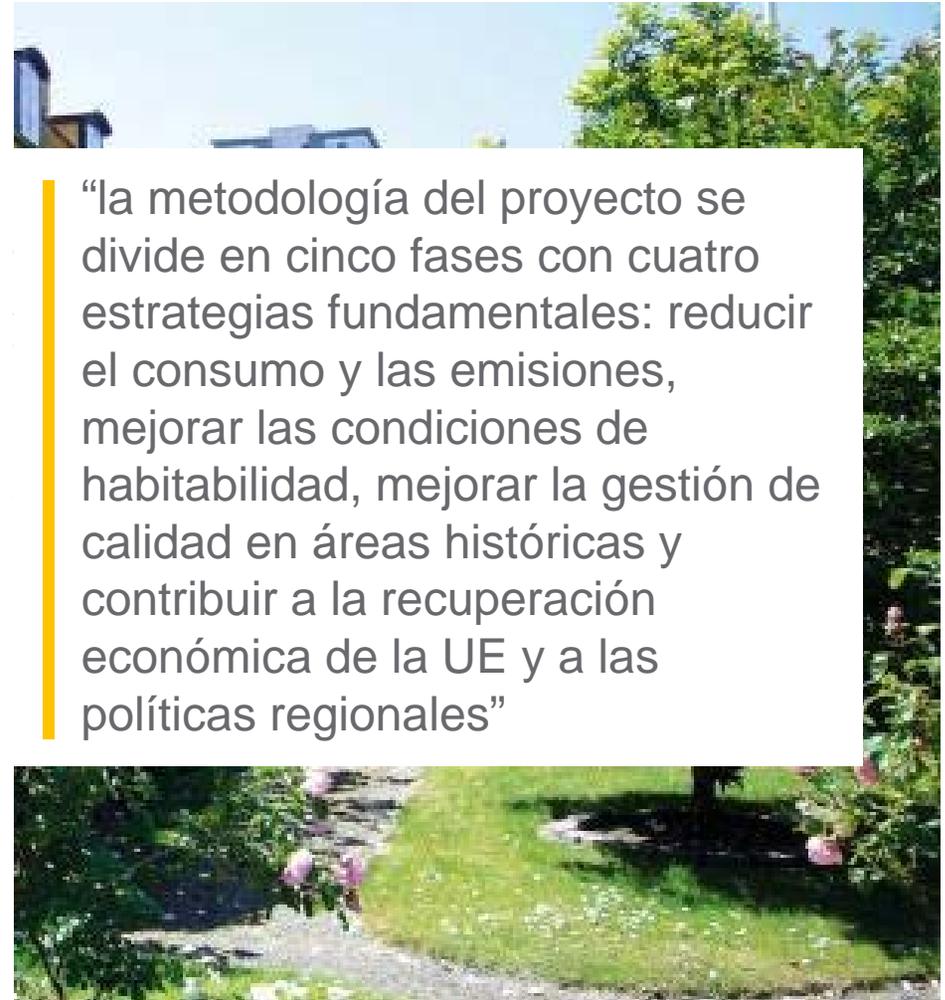
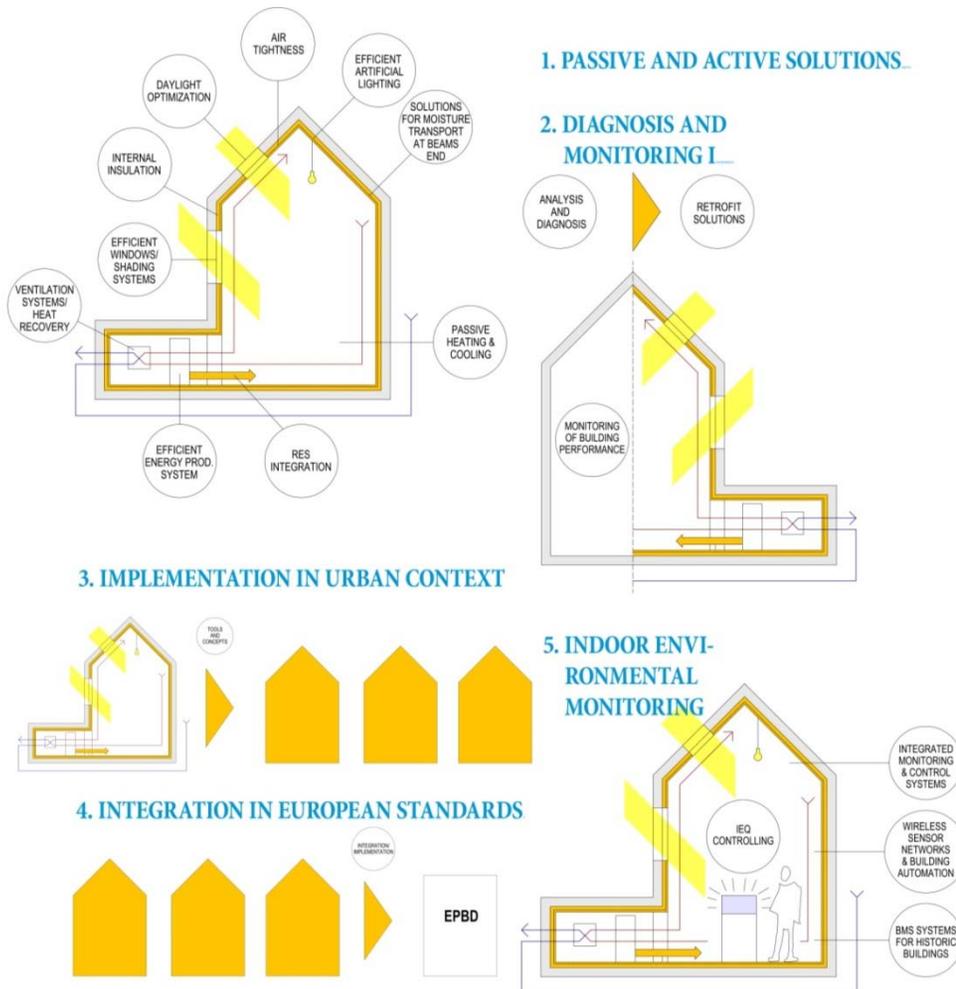


Investigación y desarrollo

“3encult se propone desarrollar las soluciones necesarias, adaptando las soluciones existentes a las características de estos edificios y desarrollando nuevas soluciones y productos.”



Metodología general



“la metodología del proyecto se divide en cinco fases con cuatro estrategias fundamentales: reducir el consumo y las emisiones, mejorar las condiciones de habitabilidad, mejorar la gestión de calidad en áreas históricas y contribuir a la recuperación económica de la UE y a las políticas regionales”



Casos de estudio



- ... **CS1:** Public Weigh House, Bozen
- ... **CS2:** Palazzo d'Accursio, Bologna
- ... **CS3:** Palazzina della Viola, Bologna
- ... **CS4:** The Material Court of the Fortress, Copenhagen
- ... **CS5:** Monumental School, Innsbruck
- ... **CS6:** Warehouse City Potsdam and other, Germany
- ... **CS7:** Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Salamanca
- ... **CS8:** Strickbau Appenzell, Switzerland



CS7: E.T.S.I.I. Béjar



Equipo responsable del Caso de Estudio



Máster de Investigación en Arquitectura.
Miguel Á. García-Fuentes. MSc. Architect

CARTIF

Cartif es un centro tecnológico horizontal. Esta característica, que nos diferencia de otros centros de carácter más vertical o especializado, nos permite dar **soluciones integrales** a las empresas. Actualmente, el centro dispone de unas instalaciones de 16.500 m² (distribuidos en tres edificios), una plantilla de 190 investigadores, unos ingresos anuales que superan los 10 millones de euros y una cartera de clientes compuesta por 120 empresas e instituciones.

G1S – Soliker

SOLIKER diseña y fabrica captadores solares térmicos, módulos fotovoltaicos de lámina delgada y vidrio laminado fotovoltaico para envolventes arquitectónicas bajo estándares de calidad ISO 9001 en sus instalaciones productivas de Béjar (Salamanca), donde dispone de más de 18.000 m² de superficie neta industrial.

Universidad de Salamanca

La Universidad de Salamanca fundada en 1218, es una universidad de tamaño medio, con algo más de 30.000 estudiantes, con una gran capacidad de atracción ya que es la segunda universidad del país donde estudian más estudiantes de fuera de su distrito universitario.



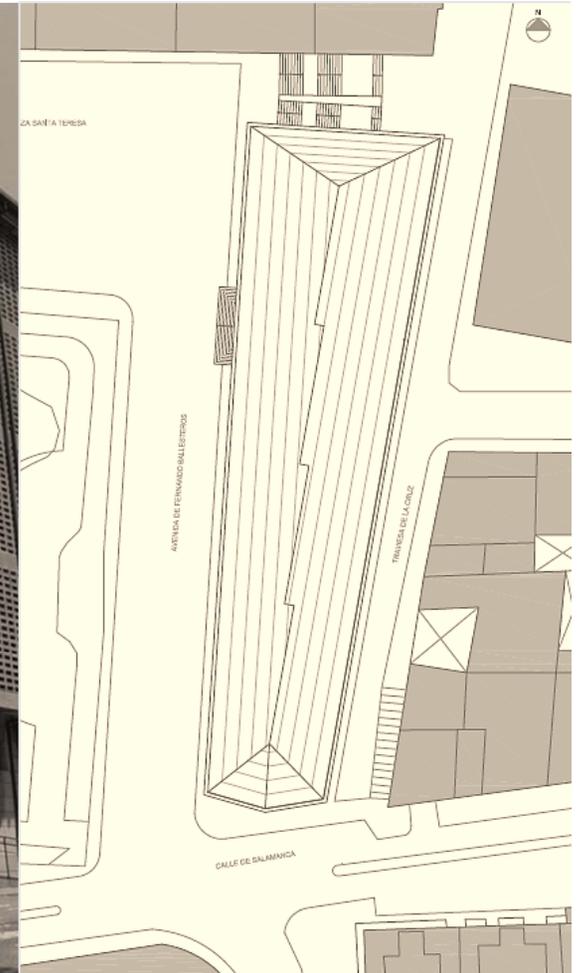
Aspectos históricos y arquitectónicos

Construída en 1968

Arquitecto: Manuel Blanc Díaz

- Escuela de ingeniería fundada en 1852
- Edificio actual de 1968
- Construido en hormigón y grandes áreas acristaladas
- Número de plantas: 7
- Orientación: Oeste-Este

- 1- Influenciado por la arquitectura constructivista
- 2- Rompe con la arquitectura tradicional de la zona
- 3- Tiene en cuenta las condiciones climáticas (celosía)
- 4- Primer edificio de la Universidad de Salamanca en Béjar
- 5- Influencia de la industria textil



Aspectos históricos y arquitectónicos



Localización	Béjar (Salamanca)	Altitud	959 msnm
Año de proyecto	1962	Año de construcción	1968-1972
Uso	Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Béjar		
Valor estilístico	Esta edificación, con una clara influencia de la arquitectura soviética de la época, supone una ruptura con la arquitectura tradicional del lugar, reinterpretando elementos que responden a cuestiones climáticas de la zona a través de grandes celosías para protegerse de los vientos y la lluvia.		
Valor histórico y cultural	Se trata del primer edificio de la Universidad de Salamanca en la ciudad de Béjar. Su construcción supuso un gran crecimiento de la actividad académica en la región y un gran apoyo a la industria textil por la que se caracteriza la zona, donde este tipo de industria posee una gran tradición.		
Estado de conservación	En general posee un buen estado de conservación, a pesar de presentar algunas patologías en los vuelos debido a humedades fundamentalmente. Se han realizado dos intervenciones. En ambas se modificó la cubierta, quedando en la segunda en su estado actual y, en ésta última se sustituyeron todas las carpinterías existentes por otras con rotura de puente térmico y vidrio aislante.		



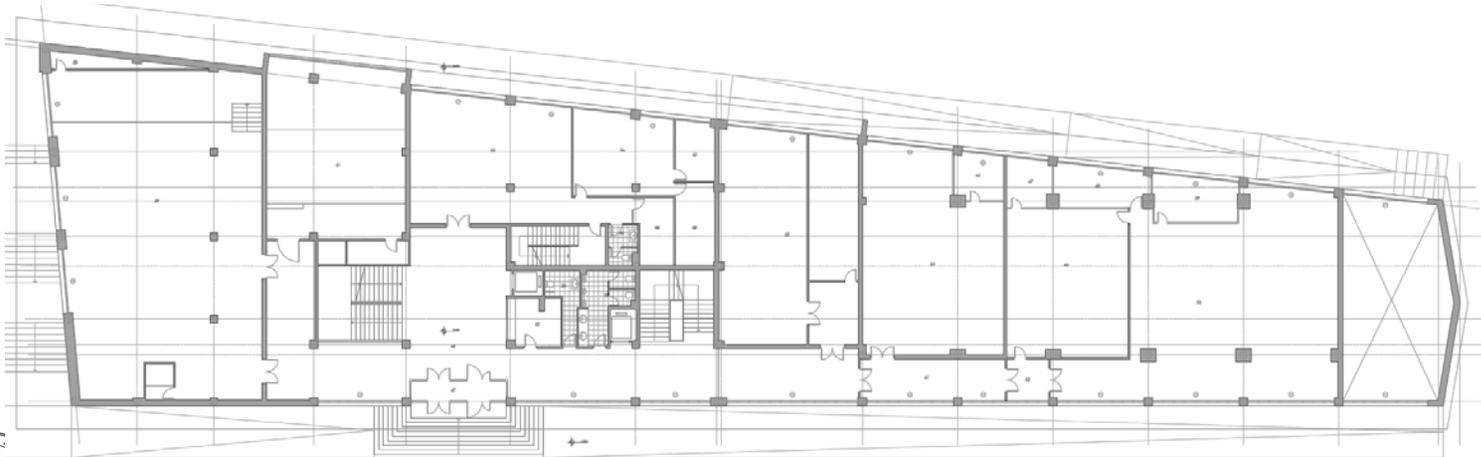
Aspectos históricos y arquitectónicos



Estructura	Pilares de hormigón armado y forjado reticular. Cimentación a base de pilotes de 60cm y profundidad entre 6 y 12 metros con el correspondiente encepado y muros perimetrales de hormigón armado.		
Envolvente	Bloques de hormigón con cámara de aire y trasdosado de ladrillo HD en la mayoría de los casos. Cubierta de chapa de zinc sobre rasillones apoyados en tabiques palomeros. Carpinterías metálicas con rotura de puente térmico y doble vidrio 4/20/4 que fueron colocadas en una intervención reciente.		
Número de plantas	5 plantas sobre rasante en la cota de acceso (fachada oeste) y dos plantas de semisótano.		
Superficie construida	13.624,85 m ²	Sistema de calefacción	Calderas de gas y radiadores
Superficie útil	9.467,10 m ²	Días de calefacción	240 días
Superficie calefactada	9.467,10 m ²	Sistema de refrigeración	Fan-coils (biblioteca)
Volumen calefactado	33.150 m ³	Consumo eléctrico medio	230.000 kWh/año
Superficie refrigerada	150 m ²	Consumo en calefacción medio	60.000 litros/año



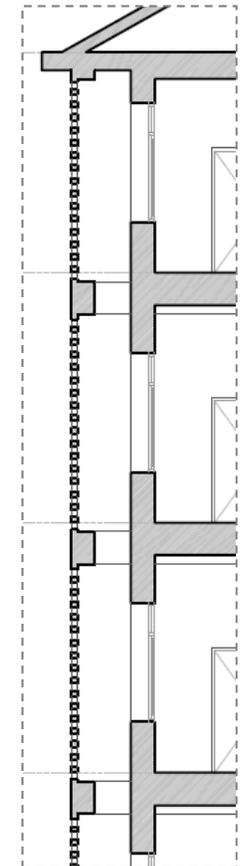
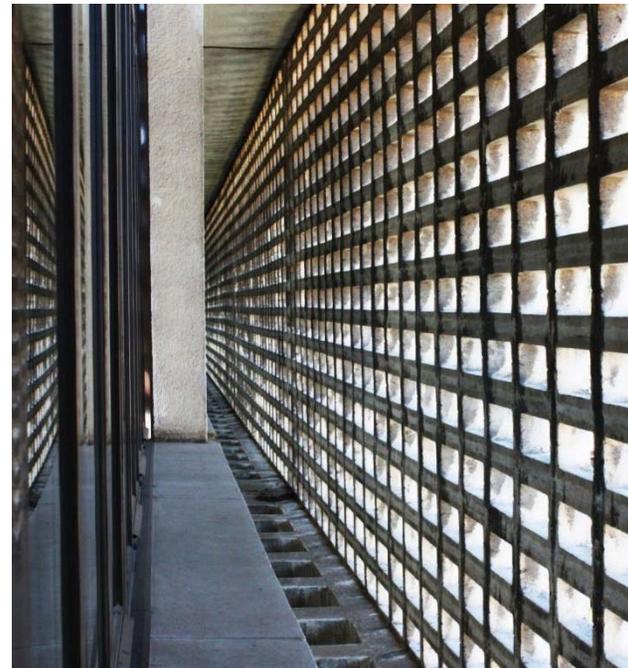
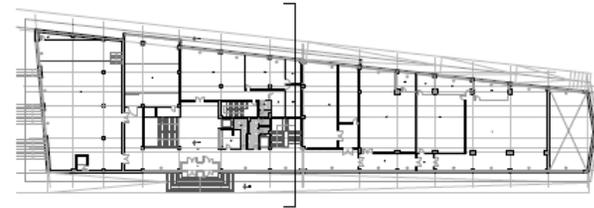
Aspectos históricos y arquitectónicos



Máster de Investigación en Arquitectura.
Miguel Á. García-Fuentes. MSc. Architect



Aspectos históricos y arquitectónicos



Aspectos históricos y arquitectónicos



Máster de Investigación en Arquitectura.
Miguel Á. García-Fuentes. MSc. Architect



Diagnóstico e intervención



Principales problemas identificados

Sobrecalentamiento durante los meses más cálidos, sobretudo en la fachada este.

Sistema de calefacción: sólo existen dos circuitos para todo el edificio, lo que provoca diferencias notables de temperatura y, por tanto, problemas de confort en diversas zonas.

Sistema de refrigeración: estrategia de control manual del sistema de refrigeración de la biblioteca, lo que provoca problemas de confort.

Instalación de iluminación sobredimensionada en pasillos y hall.

Circuitos de iluminación distribuidos de forma incorrecta en las aulas.

Infrautilización de la iluminación natural y radiación solar.

Problemas de infiltraciones sobretudo en puertas exteriores.

Técnicas de diagnóstico

Simulación energética a través de la herramienta PHPP y validación con otras herramientas y con los datos históricos de consumos y resultantes de la monitorización.

Estudio de viabilidad de integración de EERR.

Análisis de puentes térmicos mediante termografía infrarroja.

Blower door test para determinar las infiltraciones a través de carpinterías exteriores.

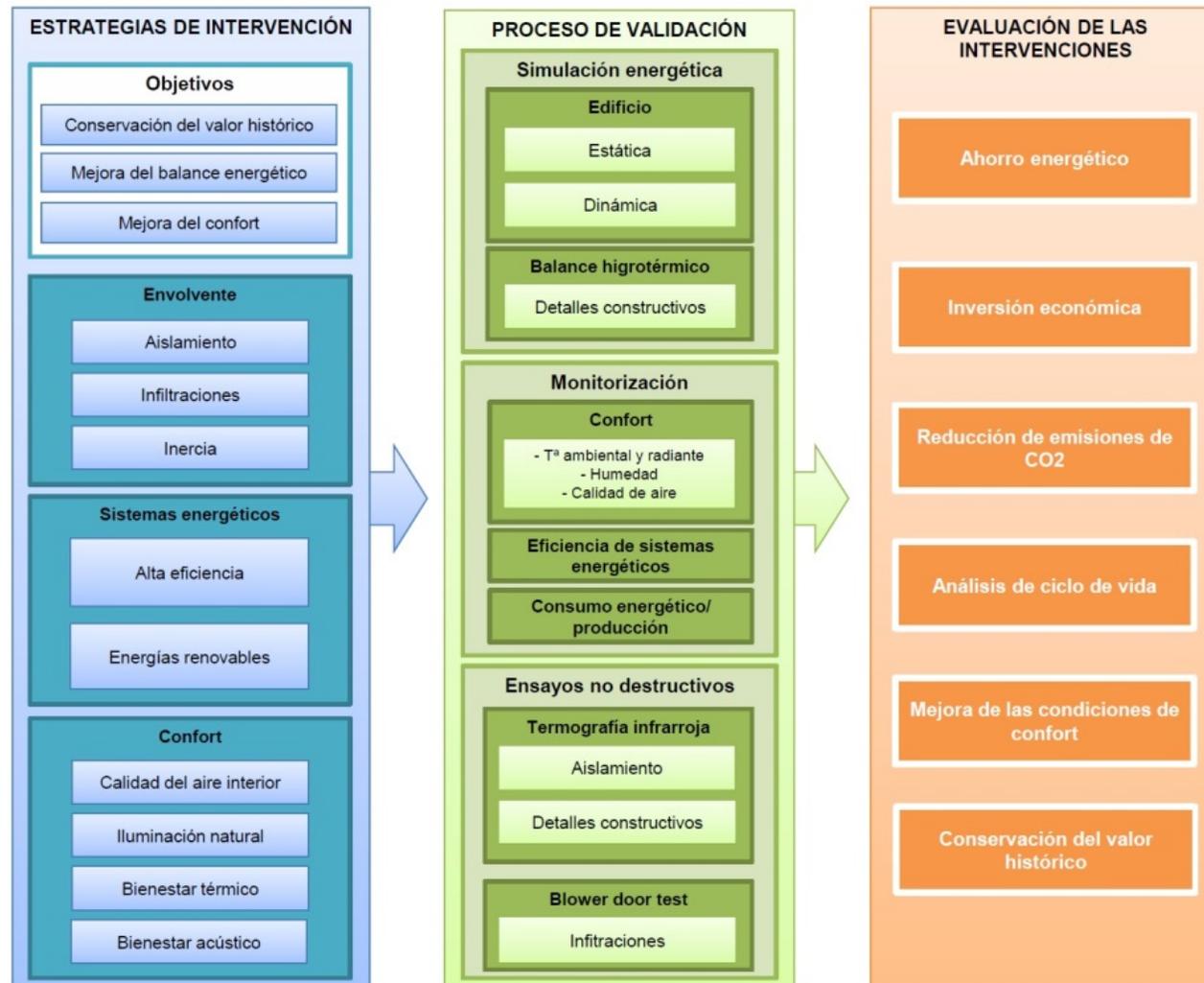
Estudios locales sobre medidas de eficiencia energética, por ejemplo, en el sistema de iluminación, etc.



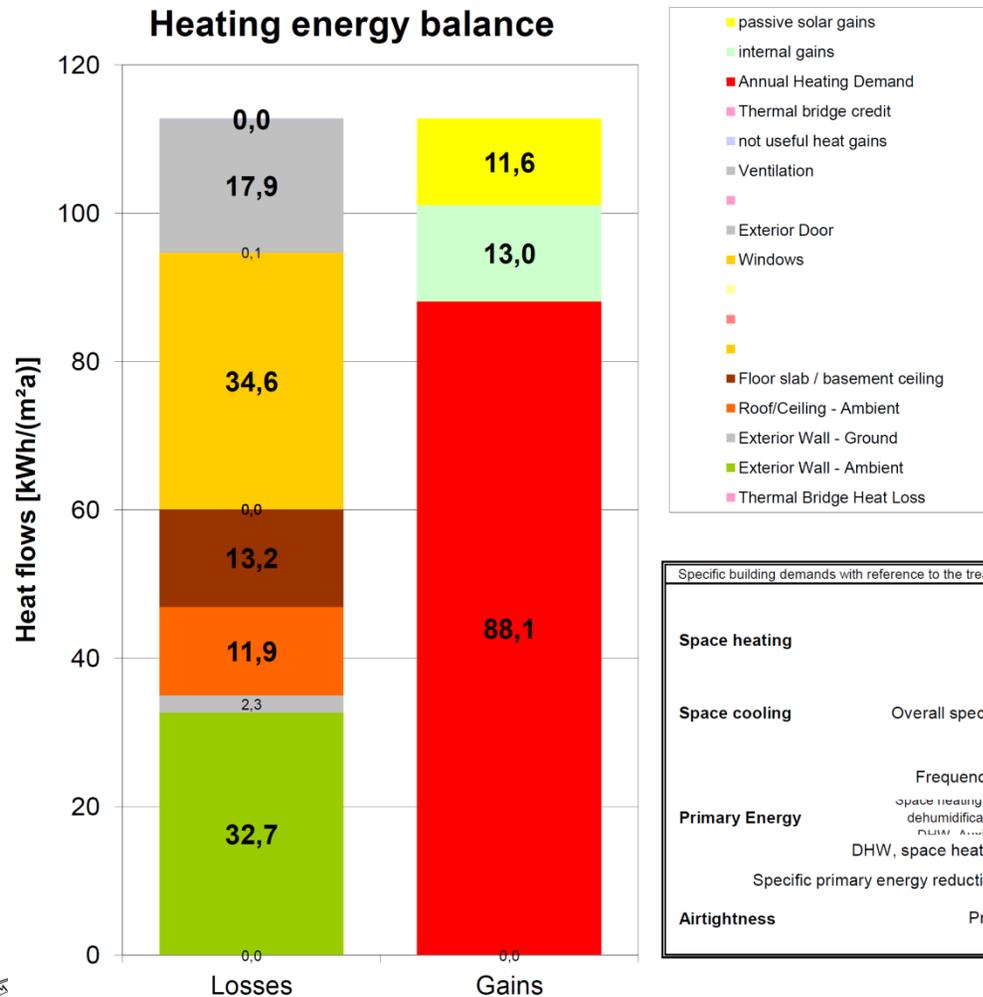
Metodología de diagnóstico



Metodología



Diagnóstico: simulación energética



Specific building demands with reference to the treated floor area		use: Monthly method	
	Treated floor area	Requirements	Fulfilled?*
Space heating	Annual heating demand	90 kWh/(m²a)	15 kWh/(m²a) <input type="checkbox"/>
	Heating load	33 W/m²	10 W/m² <input type="checkbox"/>
Space cooling	Overall specific space cooling demand	kWh/(m²a)	- <input type="checkbox"/>
	Cooling load	W/m²	- <input type="checkbox"/>
	Frequency of overheating (> 25 °C)	12,3 %	- <input type="checkbox"/>
Primary Energy	space heating and dehumidification, cooling, household electricity	kWh/(m²a)	120 kWh/(m²a) <input type="checkbox"/>
	DHW, space heating and auxiliary electricity	kWh/(m²a)	- <input type="checkbox"/>
	Specific primary energy reduction through solar electricity	kWh/(m²a)	- <input type="checkbox"/>
Airtightness	Pressurization test result n ₅₀	1/h	0,6 1/h <input type="checkbox"/>

* empty field: data missing; -: no requirement



Diagnóstico: simulación energética

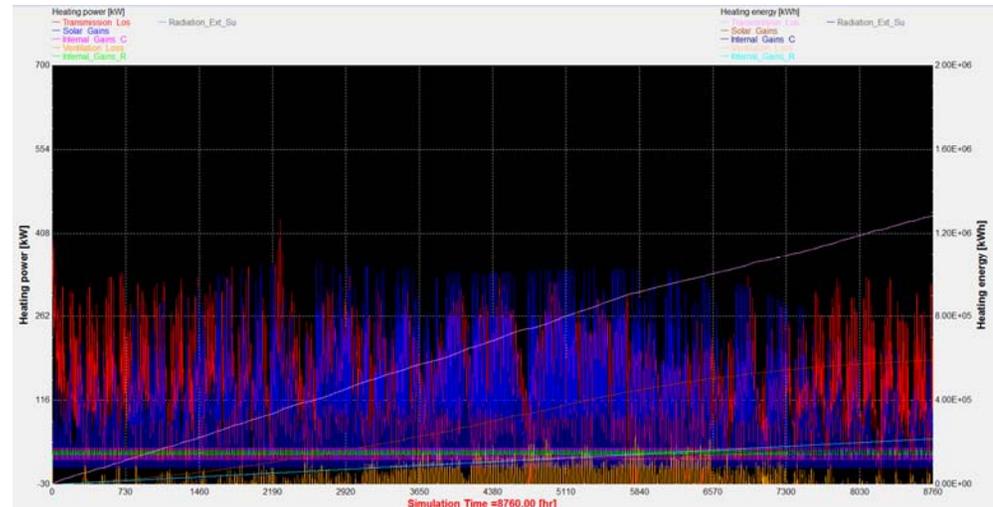
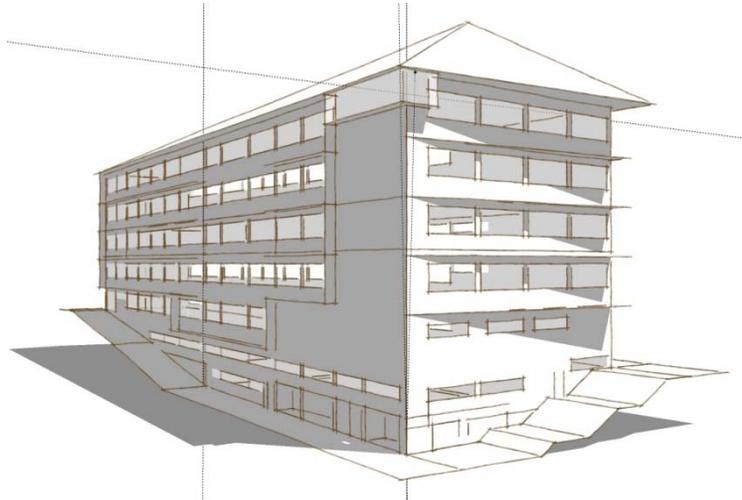


Tabla 2 – Resultados de las simulación para la comparación de herramientas

Balance energético de demanda de calor	PHPP (kWh/m ² a)	TRNSYS (kWh/m ² a)
Ventilación	17,90	25,70
Pérdidas por transmitancia	94,70	154,89
Ventanas	34,60	
Suelo en contacto con el terreno	13,20	
Cubierta	11,90	
Cerramientos exteriores (en contacto con el terreno)	2,30	
Cerramientos exteriores (en contacto con el ambiente exterior)	32,70	
Ganancias solares	11,60	62,72
Ganancias internas	13,00	22,23
Por convección		12,26
Por radiación		9,97
Demanda de calor anual	88,00	95,64

Tabla 3 – Resultados de la simulación para establecer la demanda base

Balance energético	kWh/m ² a
Pérdidas por ventilación controlada (tasa de renovación 0,3h ⁻¹)	24,70
Pérdidas por transmitancia (incluyendo puentes térmicos)	141,15
Pérdidas por infiltración (tasa de renovación 0,14h ⁻¹)	25,85
Ganancias solares	62,72
Ganancias internas (convección)	12,26
Ganancias internas (radiación)	9,97
Demanda anual de calefacción	106,75



Diagnóstico: monitorización



■ Monitorización:

- Comportamiento sistemas energéticos (sala de calderas)
- Condiciones de confort (laboratorio y biblioteca)
- Condiciones climáticas (estación meteorológica)



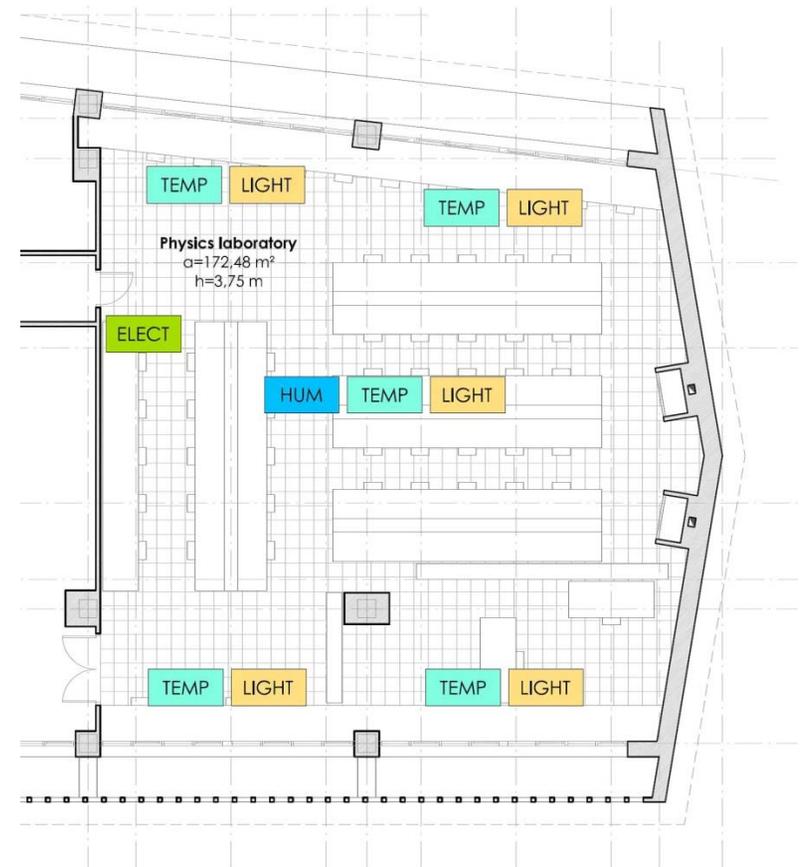
Diagnóstico: monitorización



Consumo térmico	Consumo térmico (kWh)	Condiciones de confort	Humedad relativa interior (%)
	Temperatura del agua a la entrada y la salida (°C)		Temperatura interior (°C)
	Presión (bar)		Ocupación (binario)
Sistema de iluminación	Iluminancia interior (lux)		Temperatura disponible (°C)
	Estado actuadores (binario)		Apertura ventanas (binario)
	Occupancy (binary)		Estado sistema clima (binario & %)
Consumo eléctrico	Voltage (V)	Condiciones climáticas	Temperatura exterior (°C)
	Intensidad (A)		Irradiancia exterior (lux)
	Potencia (W)		Ocaso (lux)
	Potencia reactiva (VAr)		Sensor de lluvia (binario)
	Factor de potencia (value)		Dirección del viento (grados)
	Distorsión de armónicos (value)		Velocidad del viento (m/s)
	Energía consumida (Wh)		Radiación directa (W/m ²)
	Energía reactiva (VAhr)		Humedad relativa exterior (%)
			Pluviómetro (l/h)



Diagnóstico: monitorización



Diagnóstico: blower door test

Local	Área (m ²)	Altura (m)	Mobiliario (m ²)	Volumen (m ³)	Área envolvente (m ²)
Laboratorio	171,78	3,30	-	566,87	520,97
Biblioteca	97,36	3,51	-	341,73	361,66

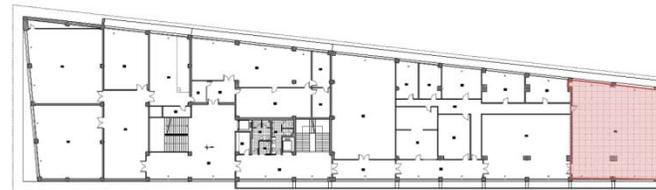
Nº de Beaufort	Nombre	Velocidad viento (m/s)	Descripción
3	brisa suave	3,6-5,4	hojas y pequeñas ramas, constante movimiento; el viento despliega una bandera ligera



Condiciones iniciales del ensayo

- Laboratorio

- Temperatura exterior = 3°C
- Temperatura interior = 19,1°C
- HR interior = 34,2%

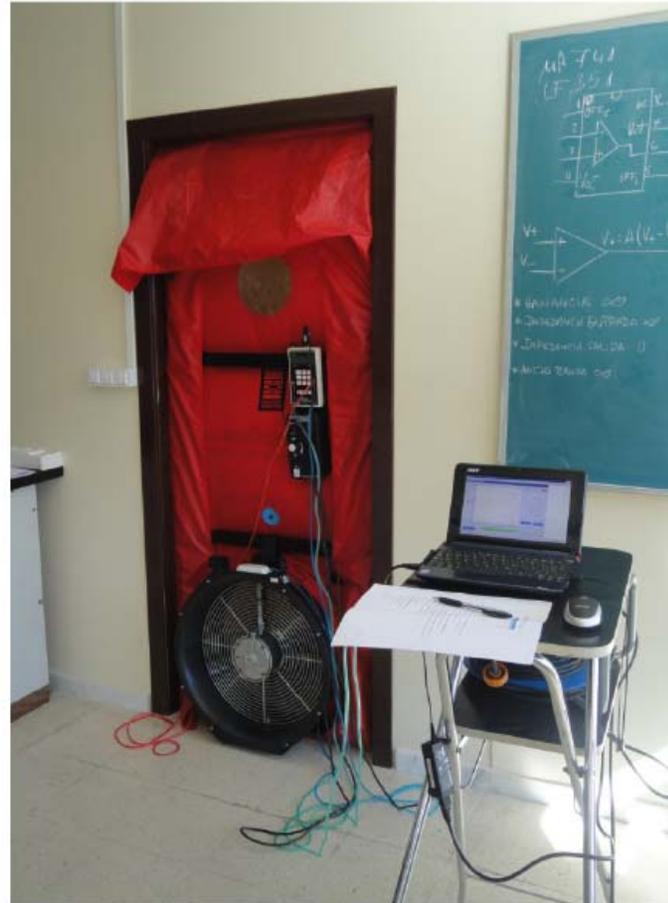


- Biblioteca

- Temperatura exterior = 5°C
- Temperatura interior = 20,3°C
- HR interior = 38,4%



Diagnóstico: blower door test



Diagnóstico: blower door test



ENSAYO 1 - LABORATORIO

Test BlowerDoor

EN 13829

Minneapolis BlowerDoor Modell 4 - Teclite Express 3.6.7.0

Edificio objeto:	ETSII Béjar Béjar	Técnico:	A. Meles
		Fecha:	02/07/2013

Temperatura y Viento

Temperatura interior:	19 °C	Fuerza del viento:	3
Temperatura exterior:	3 °C	Puntos exteriores de referencia de medición:	1
Presión barométrica: Normativa:	90465 Pa	Exposición al viento del edificio:	C
		Incertidumbre a causa del viento (Tabla de Geißler)	11 %

Elementos de medida

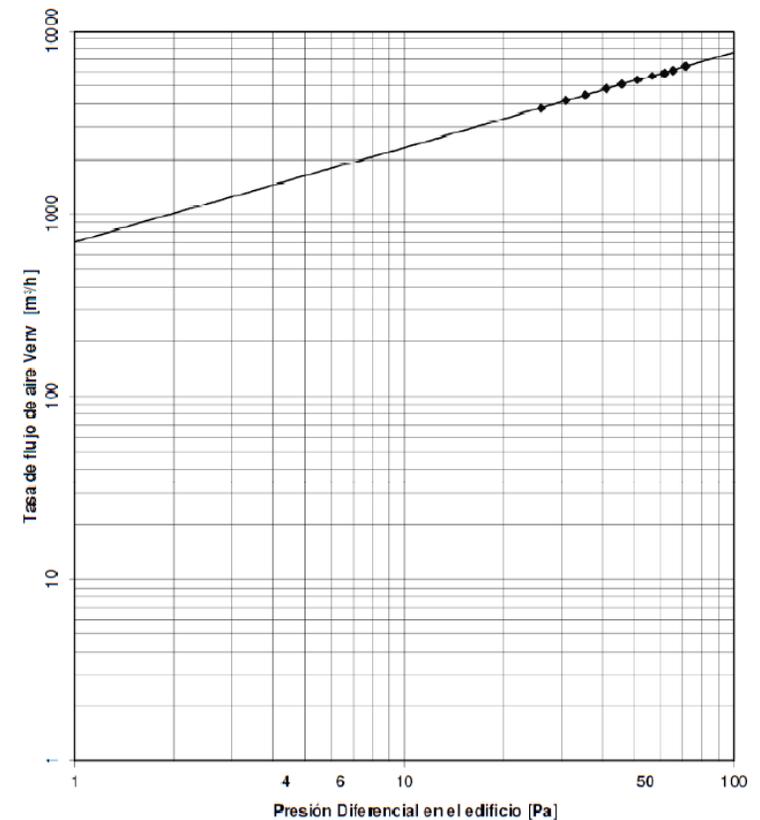
Diafragma	Edificio Presión	Ventilador Presión	Flujo del ventilador Vr	Tolerancia
QABODE	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]
Δp_{01}	-3,2	—	—	—
0	-74	85	6438	0,37
0	-68	76	6098	-0,50
0	-64	71	5890	-0,80
0	-59	66	5690	0,15
0	-54	60	5416	0,37
0	-48	53	5093	0,12
0	-44	48	4846	0,60
0	-38	40	4465	0,01
0	-33	35	4181	0,35
0	-29	28	3781	-0,68
Δp_{02}	-1,7	—	—	—
Coeficiente de correlación r:		1,000	Intervalo de confianza	
C_{corr}	[m³/h Pa³]	705	max. 738	min. 674
C_L	[m³/h Pa³]	687	max. 719	min. 667
n	[]	0,52	max. 0,53	min. 0,50

Resultados

	$V =$	567 m³	$A_T =$	172 m²	$A_G =$	521 m²
	V_{50}	Incertidumbre	n_{50}	Incertidumbre	w_{50}	Incertidumbre
	m³/h	%	1/h	%	m³/m²h	%
Despresurización	5191	+/- 12 %	9,2	+/- 13 %	30,2	+/- 13 %

RESULTADOS

Tasa de flujo de aire (m³/h) resultante del Blower Door Test



Máster de Investigación en Arquitectura.
Miguel Á. García-Fuentes. MSc. Architect



Diagnóstico: blower door test



ENSAYO 1 - LABORATORIO

Test BlowerDoor

EN 13829

Minneapolis BlowerDoor Modell 4 - Tectite Express 3.6.7.0

Edificio objeto:	ETSII Béjar Béjar	Técnico:	A. Meles
		Fecha:	02/07/2013

Temperatura y Viento

Temperatura interior:	19 °C	Fuerza del viento:	3
Temperatura exterior:	3 °C	Puntos exteriores de referencia de medición:	1
Presión barométrica: Normativa:	90465 Pa	Exposición al viento del edificio:	C
		Incertidumbre a causa del viento (Tabla de Geibler)	11 %

Elementos de medida

Diafragma	Edificio Presión	Ventilador Presión	Flujo del ventilador Vr	Tolerancia
0AB0DE	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]
ΔP_{01}	-3,2	---	---	---
0	-74	85	6438	0,37
0	-68	76	6098	-0,50
0	-64	71	5890	-0,80
0	-59	66	5690	0,15
0	-54	60	5416	0,37
0	-48	53	5093	0,12
0	-44	48	4846	0,60
0	-38	40	4465	0,01
0	-33	35	4181	0,35
0	-29	28	3781	-0,68
ΔP_{02}	-1,7	---	---	---

Coefficiente de correlación:	1,000	Intervalo de confianza
C_{corr} [m³/h Pa³]	705	max. 738 min. 674
C_L [m³/h Pa³]	687	max. 719 min. 657
n	[-]	max. 0,53 min. 0,50

Resultados

	V_{50}	567 m³	A_{FV}	172 m²	A_{G}	521 m²
	Incertidumbre		Incertidumbre		Incertidumbre	
	m³/h	%	l/h	%	m³/m²h	%
Despresurización	5191	+/- 12 %	9,2	+/- 13 %	30,2	+/- 13 %

RESUMEN DE RESULTADOS

Laboratorio -1- (sin cerrar chimeneas de ventilación)

V_{50} Caudal medio a 50 Pa (m³/h) = 5191 m³/h

Es el caudal necesario para conseguir un cambio en la presión del edificio de 50 Pa (valor utilizado usualmente para medir la estanqueidad de la envolvente).

n_{50} Renovaciones / hora a 50 Pa (1/h) = 9,2 h⁻¹

Las renovaciones por hora obtenidas a esta presión de referencia es el valor utilizado generalmente para medir la estanqueidad de la envolvente y normalizar los resultados.

w_{50} Caudal a 50 Pa / Superficie útil de la vivienda = 30,2 m³/m²·h

Este valor ajusta (normaliza) la tasa de infiltración de la vivienda según los m² útiles.

q_{50} Caudal a 50 Pa / Superficie de la envolvente = 10,0 m³/m²·h

Este valor ajusta (normaliza) la tasa de infiltración de la vivienda según los m² de los cerramientos que delimitan la envolvente.

Certificación energética (tasa media anual infiltración) = $9,2/20 = 0,46$ h⁻¹

Laboratorio -2- (cerrando chimeneas de ventilación)

V_{50} Caudal medio a 50 Pa (m³/h) = 4778 m³/h

n_{50} Renovaciones / hora a 50 Pa (1/h) = 8,4 h⁻¹

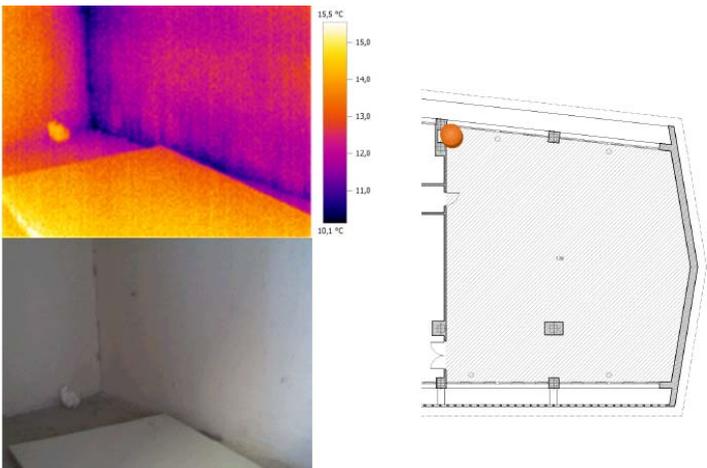
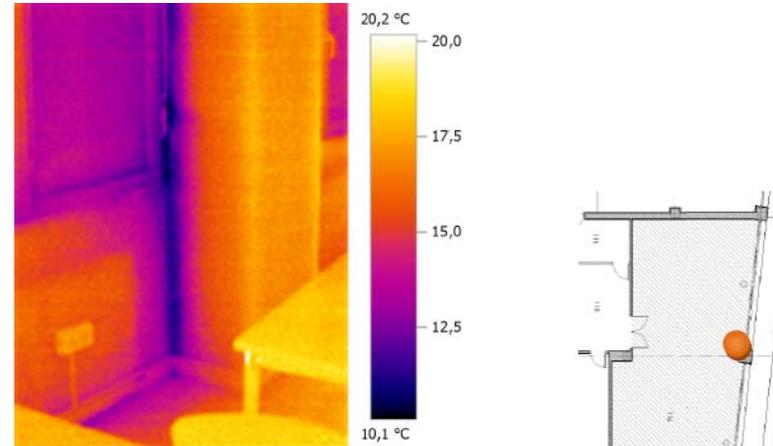
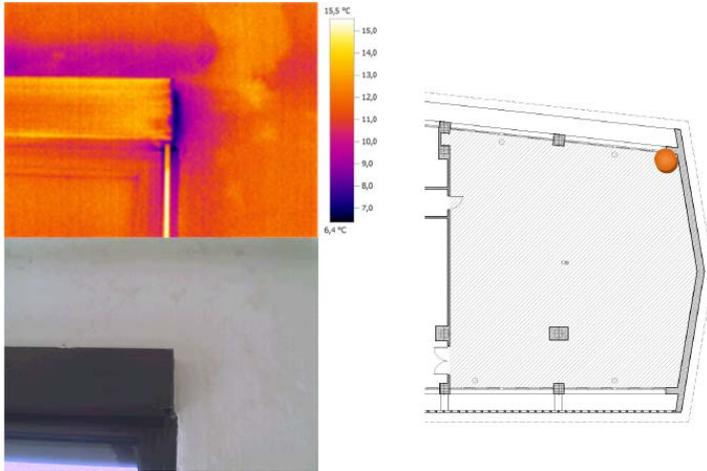
w_{50} Caudal a 50 Pa / Superficie útil de la vivienda = 27,8 m³/m²·h

q_{50} Caudal a 50 Pa / Superficie de la envolvente = 9,2 m³/m²·h

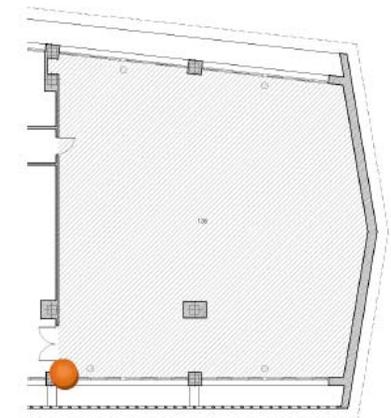
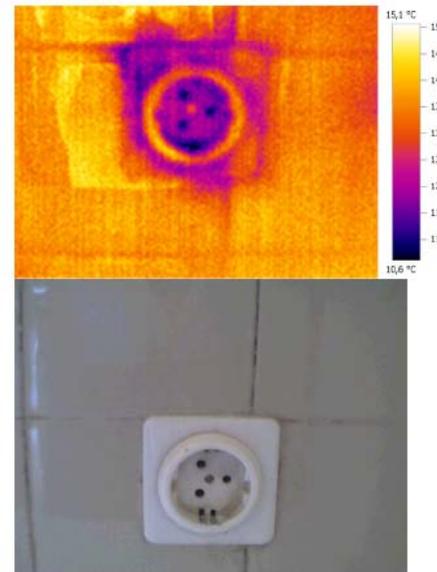
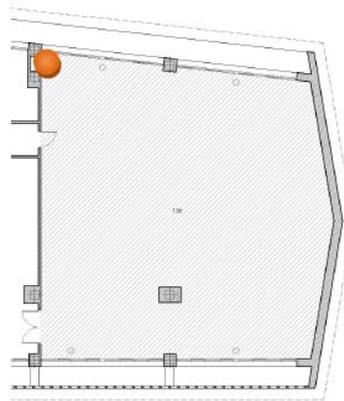
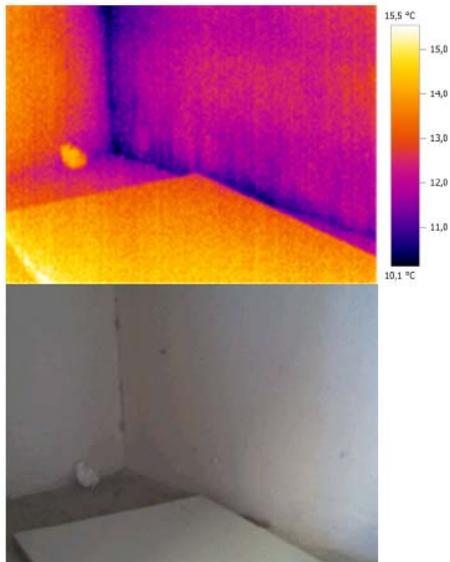
Certificación energética (tasa media anual infiltración) = $8,4/20 = 0,42$ h⁻¹



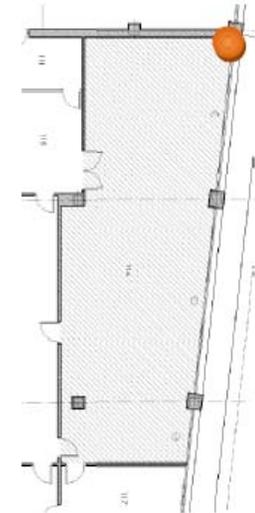
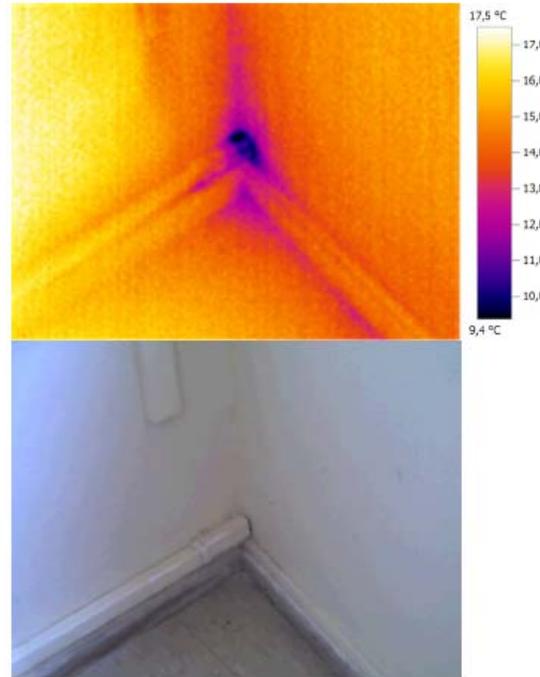
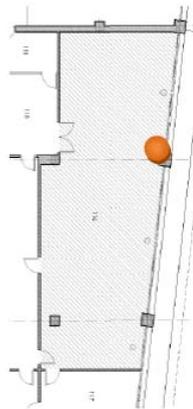
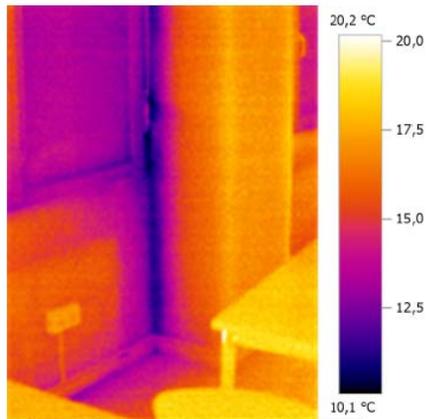
Diagnóstico: blower door test



Diagnóstico: blower door test



Diagnóstico: blower door test



Estrategias de intervención



Propuestas de intervención



	Soluciones pasivas	Soluciones activas	Control optimizado
Eficiencia energética	<ul style="list-style-type: none"> • Aislamiento interior/ exterior • Reducción infiltraciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Distribución térmica • Eficiencia de los equipos térmicos o lumínicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de iluminación
Confort	-	-	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de iluminación • Sistema de climatización
Integración de EERR	-	<ul style="list-style-type: none"> • Solar fotovoltaica • Caldera de biomasa 	-



Intervenciones

- Integración de energías renovables

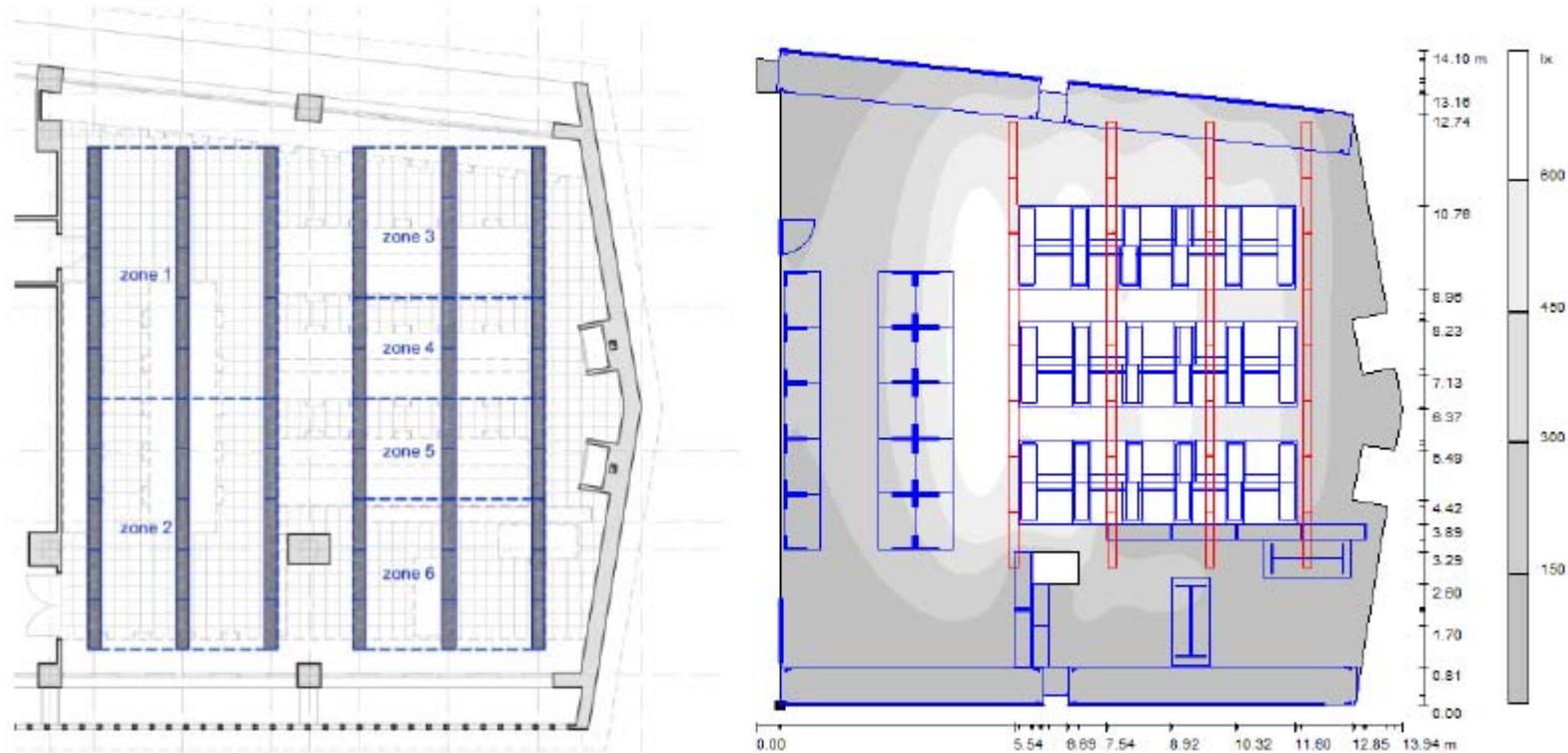


Intervenciones

- Integración de energías renovables

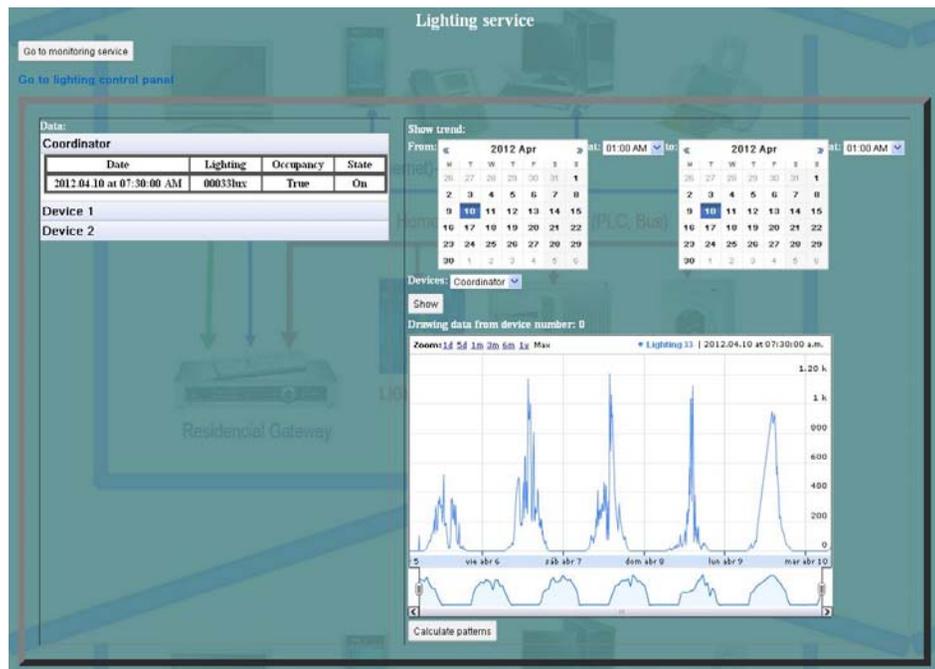


- Redistribución de los circuitos de luminarias



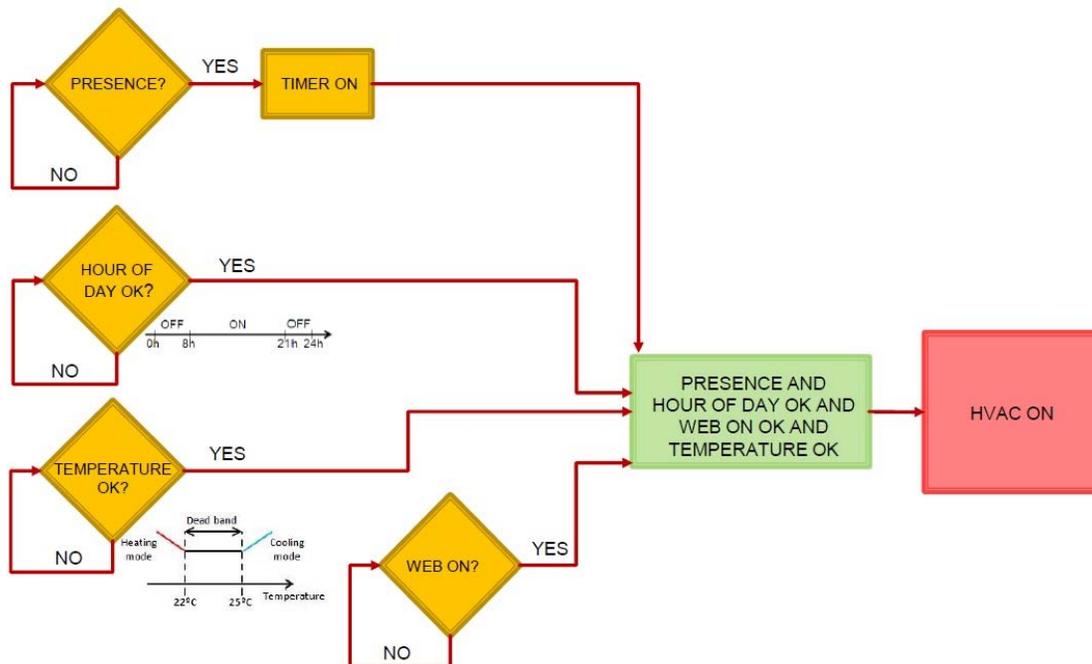
Intervenciones

- Monitorización:
 - Visualización del consumo energético
 - Sistema de sensores wireless



Intervenciones

- Estrategias de control:
 - Control del sistema de climatización
 - Control del sistema de iluminación



Conclusiones

Conclusiones



- El empleo de herramientas de simulación energética (modelos de simulación validados con datos reales) es esencial para evaluar las posibles intervenciones antes de actuar.
- La rehabilitación energética no tiene porqué suponer un conflicto con la conservación del valor histórico-cultural y supone una oportunidad para preservar edificios relevantes.
- Una herramienta metodológica con base científica es muy útil a la hora de cuantificar las mejoras en la eficiencia energética y las condiciones de confort, donde establecer el valor histórico del edificio es la variable más compleja de cuantificar.
- Algunas estrategias simples y fáciles de implementar (con un bajo impacto en los valores histórico y cultural) permite obtener un ahorro energético y una mejora en las condiciones de confort nada despreciable.



¡Gracias!

Miguel Á. García-Fuentes

Más información sobre el proyecto:
www.3encult.eu

Contacto:
miggar@cartif.es
[+34] 983 548 911
www.cartif.es

