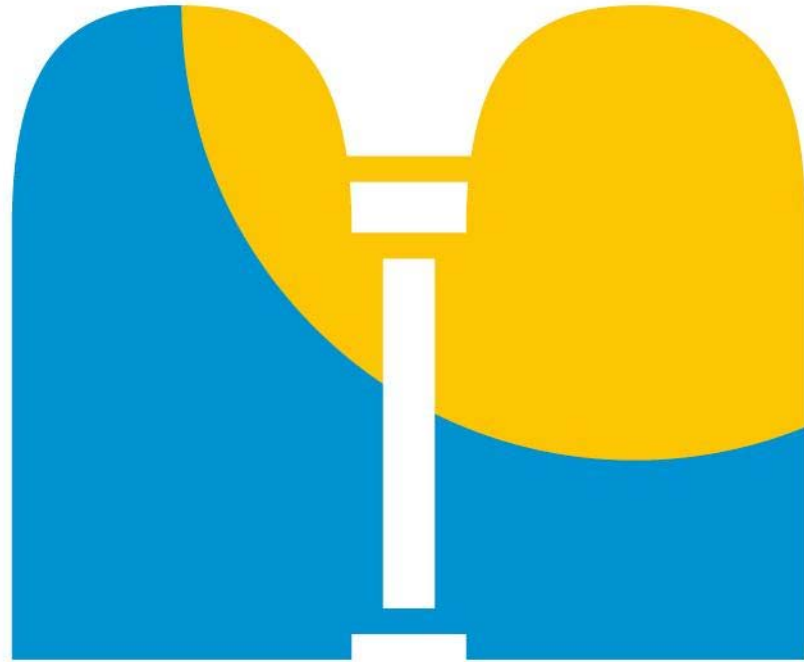






D8.9 Educational Material for University Studies

Simulación de edificios e instalaciones energéticas

Miguel Á. García-Fuentes

miggarr@cartif.es

División de Energía, Fundación CARTIF

Guiding principle



Presentation 1

Author: Miguel Á. García-Fuentes

Partner: CARTIF

University course: Master of Research in Architecture

Date: 04.03.2013 and 21.11.2013

Place: University of Valladolid, School of Architecture

Title of the lesson: "Methodology for energy retrofitting in historic buildings" (translation)

Description of the contents: The lesson describes the methodology developed in the framework of the 3encult project for the diagnosis and evaluation of interventions in historic buildings, combining tools of building energy performance simulation, monitoring techniques and non-destructive testing in buildings. Especially relevance had the Blower Door Test carried out in the School of Engineers in Béjar, performed by the Ventilation Research Laboratory of the School of Architecture of Valladolid.

Name of the file: WP8_D8.9_20130304_CARTIF-Lesson1

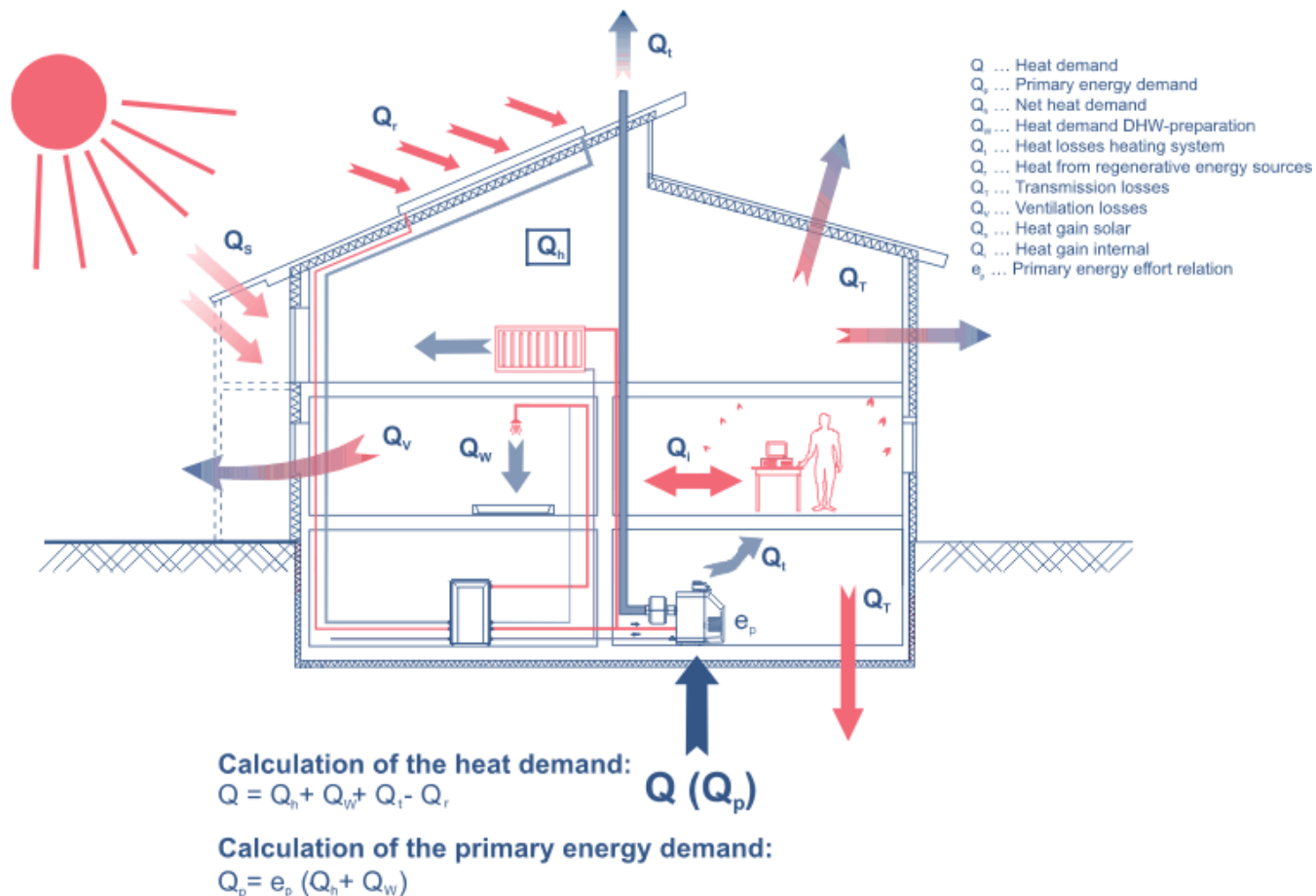
Índice



- Simulación del comportamiento energético de edificios: concepto y herramientas
- Simulación energética, calificación y certificación
- Del BIM al BEPS
- Simulación energética como herramienta de rehabilitación de edificios históricos: el proyecto **3encult**
- Integración de modelos de simulación en una plataforma de control optimizado: el proyecto **BaaS**

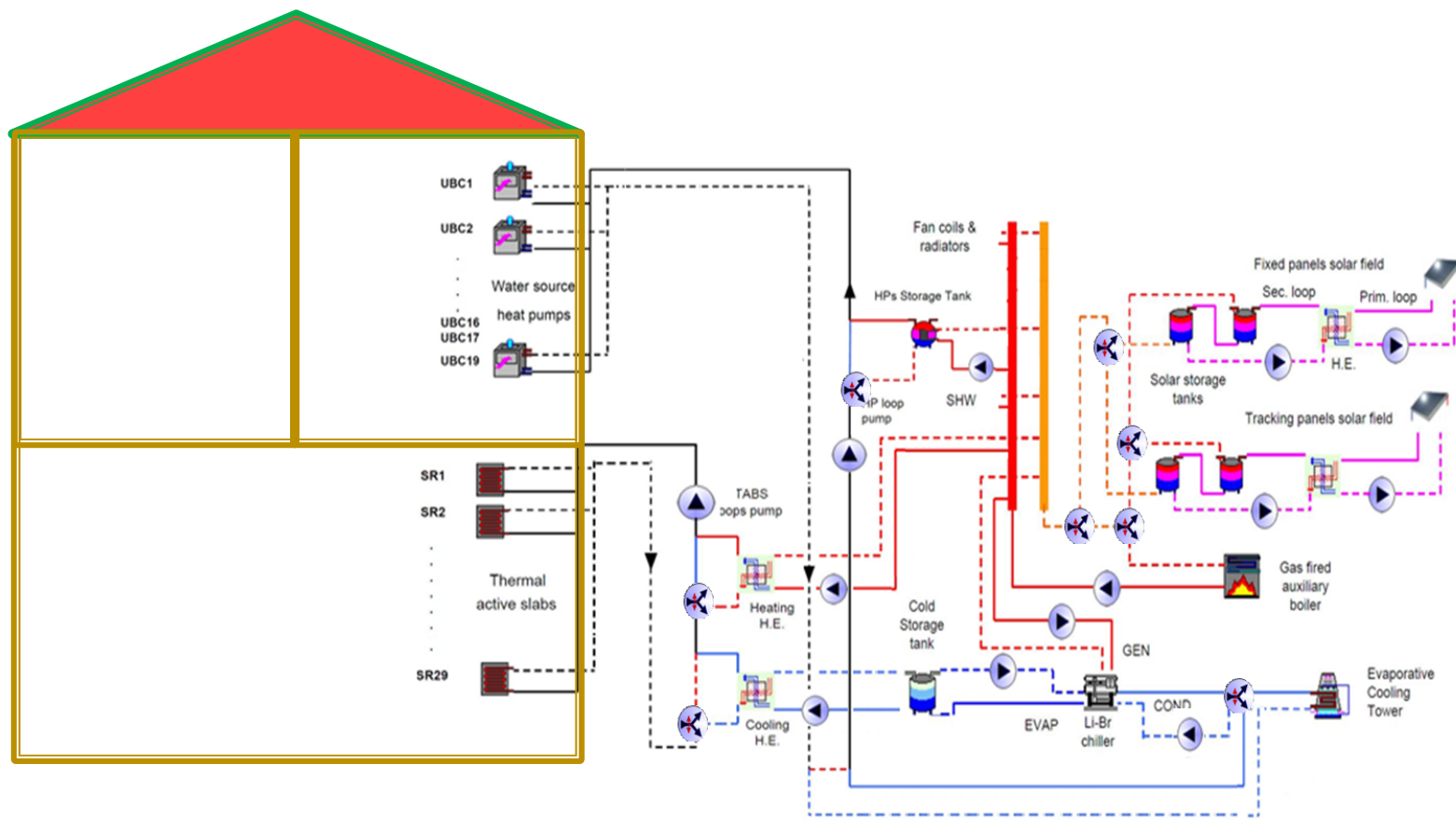
Simulación del comportamiento energético de edificios

■ Demanda energética



Simulación del comportamiento energético de edificios

■ Consumo energético



Simulación del comportamiento energético de edificios: herramientas

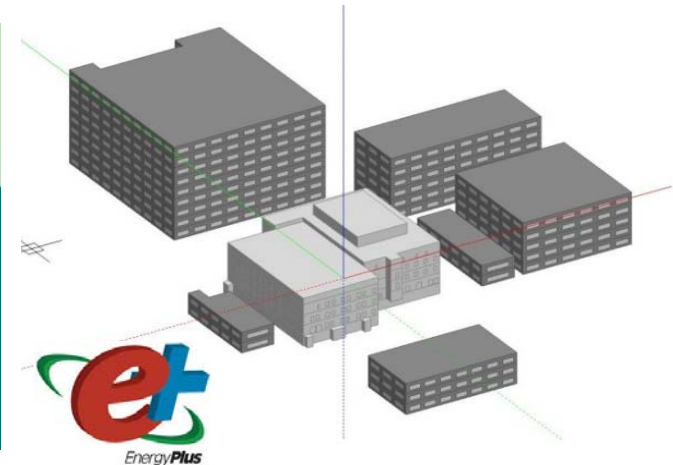
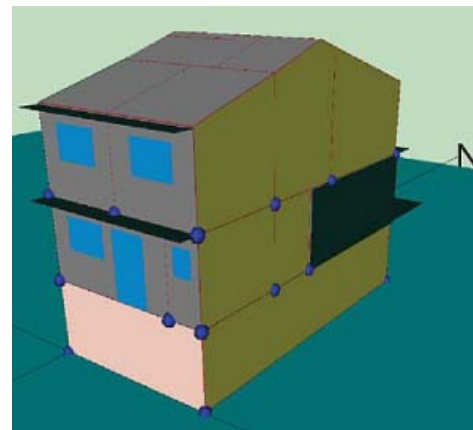
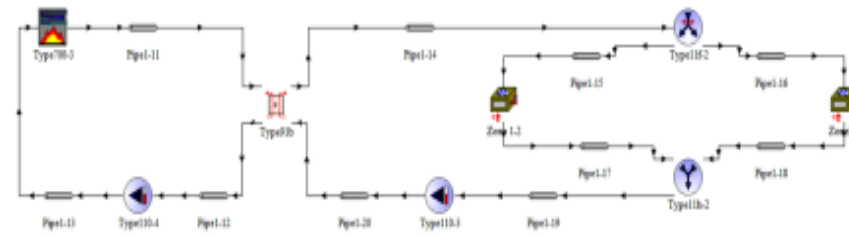


- Estáticas
- Dinámicas



Objekt: Wohnen mit Zukunft
 Standort/Info: Ronnenberg / OT Espelde
 Straße: Ronnenstraße 9
 PLZ/Ort: D-30457 Hannover
 Land: Deutschland/Niedersachsen
 Objekttyp: Mehrfamilienhaus
 Verwalt./Info: Kreisentwicklungsgesellschaft Hannover mbH
 Straße: Auf der Dehne 20
 PLZ/Ort: D-30690 Laatzen
 Verwalt./Info: Architekten Freese und Renbo
 Straße: Rohe Straße 9
 PLZ/Ort: D-30449 Hannover
 Projekt/Info: Energieplanungsbüro dipl.-Ing. Dirk Anden
 Straße: Zum Roden 13
 PLZ/Ort: D-31275 Seelze
 Baujahr: 1958
 Geschosse: 11
 Bauplanungsnummer: 20.0
 Volumen/Volumen/Volumen: 2251.4 m³
 Volumen/Volumen/Volumen: 22.0 m³
 Volumen/Volumen/Volumen: 22.0 m³

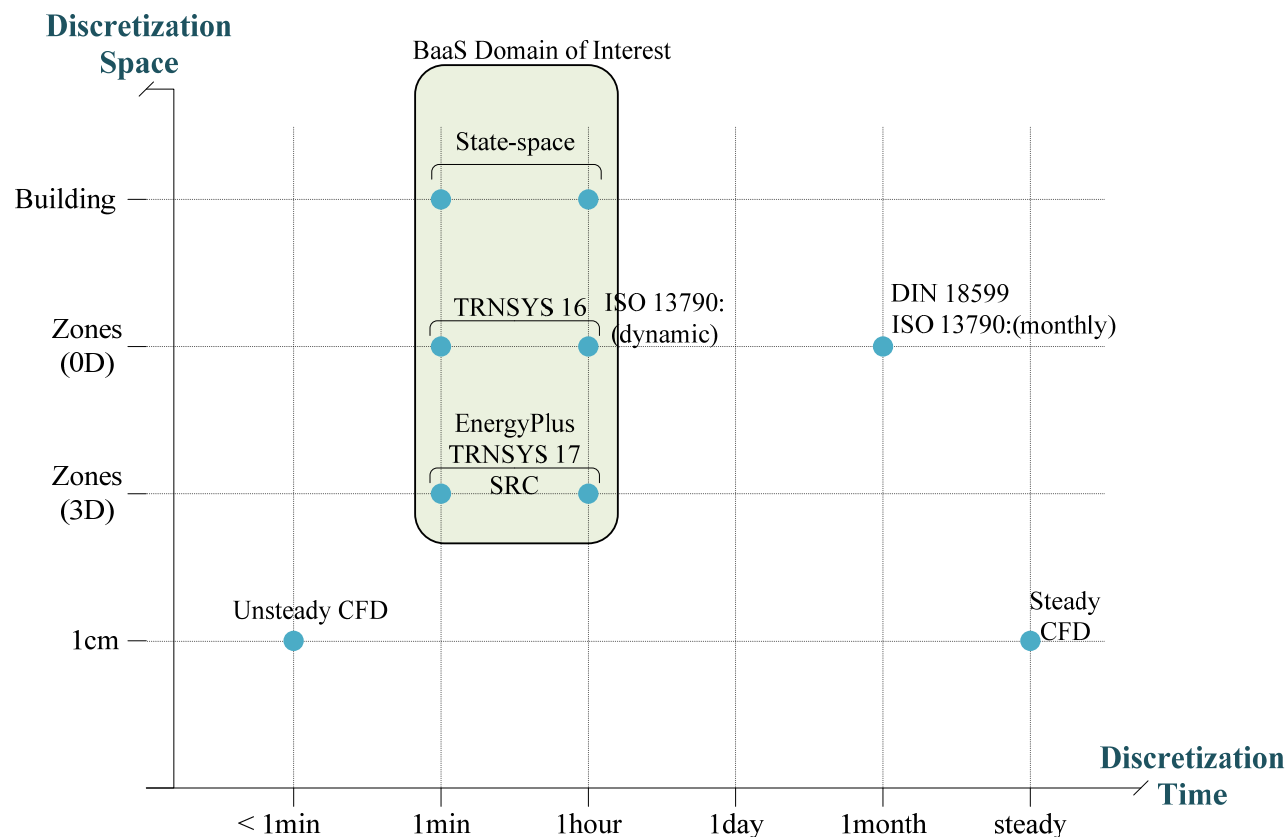
Parameter	Value	Unit
Beheizte Fläche	113.28	m²
Beheizte Fläche	28	kWh/(m²a)
Beheizte Fläche	0.60	m²
Beheizte Fläche	114	kWh/(m²a)
Beheizte Fläche	59	kWh/(m²a)
Beheizte Fläche	0	kWh/(m²a)
Beheizte Fläche	10.9	kWh/(m²a)
Beheizte Fläche	3.8%	%
Beheizte Fläche	728.4	m²
Beheizte Fläche	50.4	kWh/(m²a)



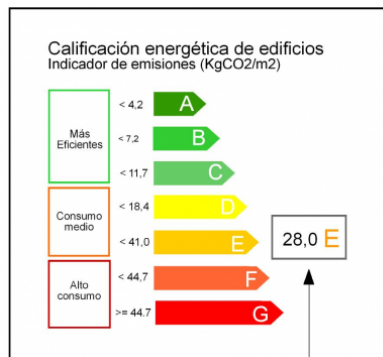
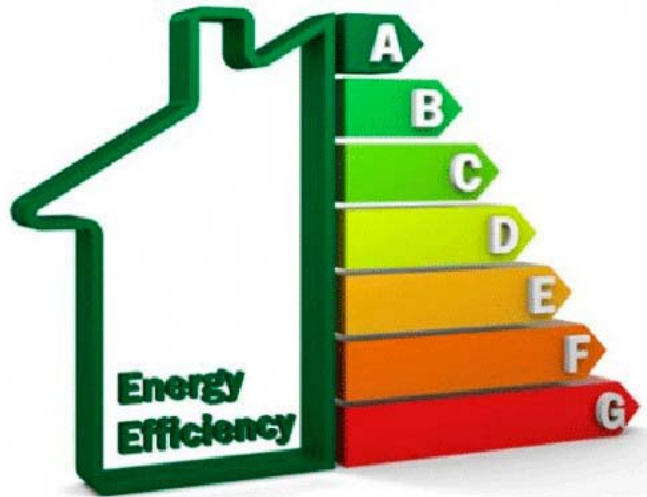
Simulación del comportamiento energético de edificios: herramientas



■ Niveles de precisión



Calificación energética y certificación de edificación sostenible



Escala de calificación

Calificación del edificio objeto

Edificio objeto

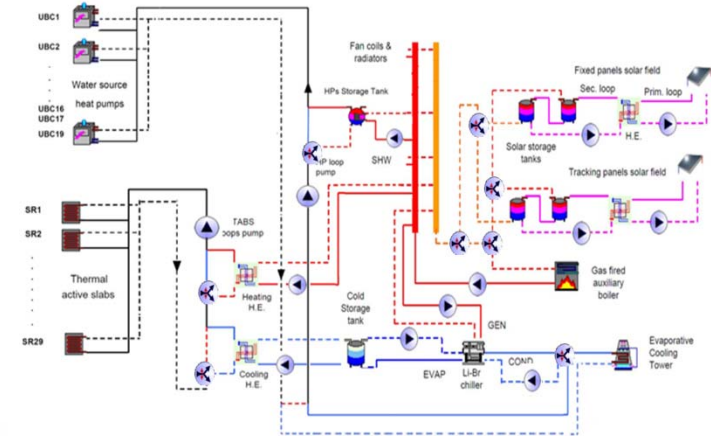
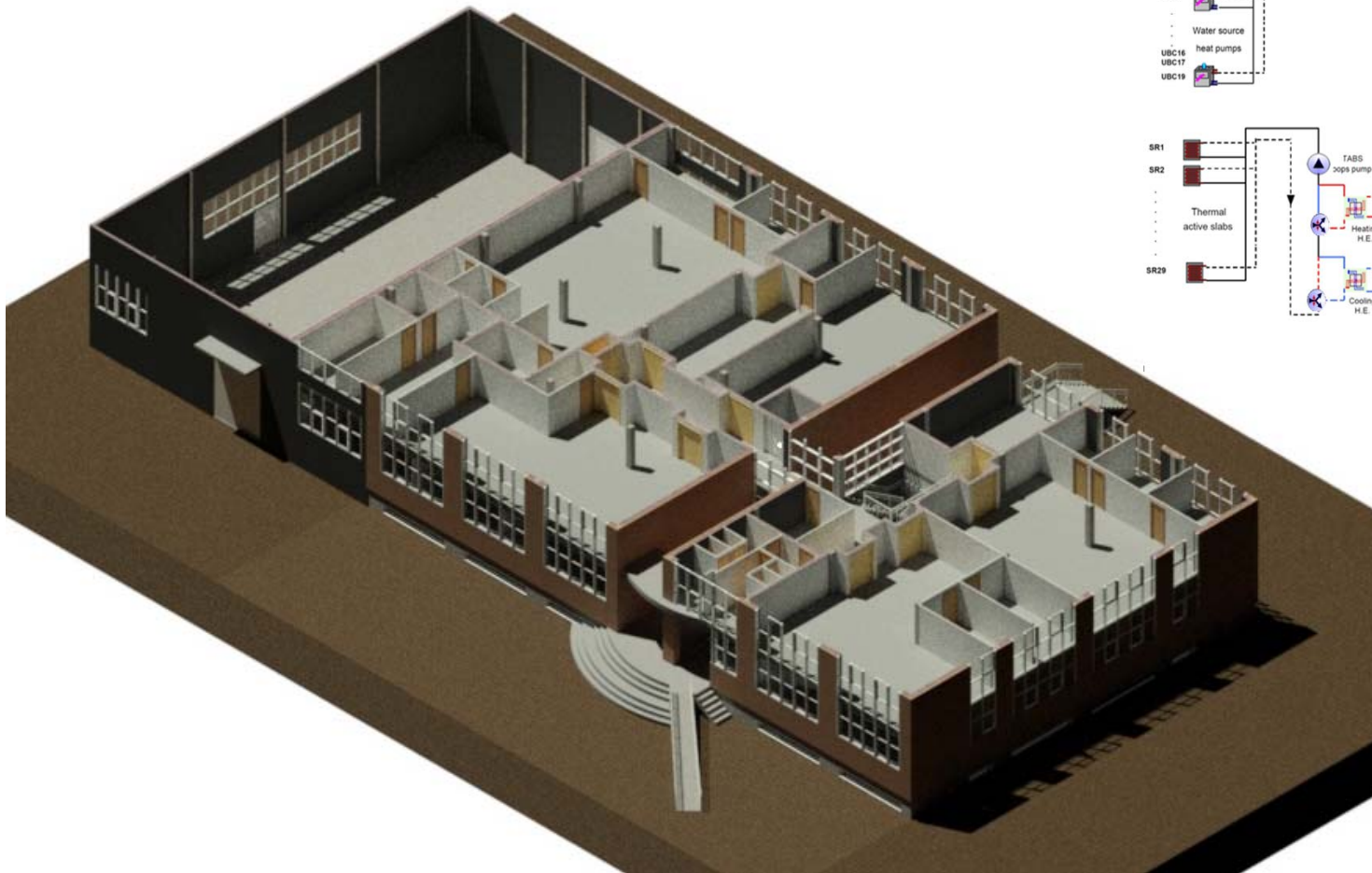
Demanda de calefacción (kWh/m ²)	42,7 E
Demanda de refrigeración (kWh/m ²)	31,9 E
Emisiones de calefacción (kgCO ₂ /m ²)	12,3 E
Emisiones de refrigeración (kgCO ₂ /m ²)	12,2 E
Emisiones de iluminación (kgCO ₂ /m ²)	3,5 E

Datos de demanda y emisiones de CO₂ de calefacción, refrigeración, ACS e iluminación del edificio analizado.

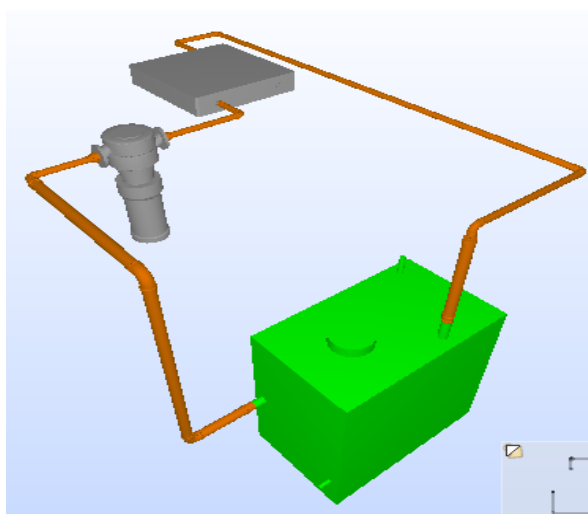


Del BIM (Building Information Modelling) al BEPS (Building Energy Performance Simulation)

3er cult
EFFICIENT ENERGY FOR EU CULTURAL HERITAGE



Del BIM (Building Information Modelling) al BEPS (Building Energy Performance Simulation)

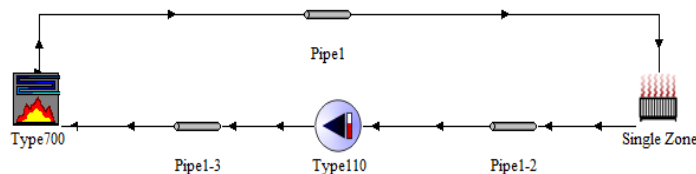


Test created to:

- develop a path finder application
- Translate the IFC to a simulation software
- Find a first collection of problems to be resolved controlled way by increasing the complexity of the examples.

Problems found in a first step:

- Wrong definition of some type ports in the IFC file created by Revit.
- Empty properties when the BIM Server was queried.
- Disconnection of the circuits



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

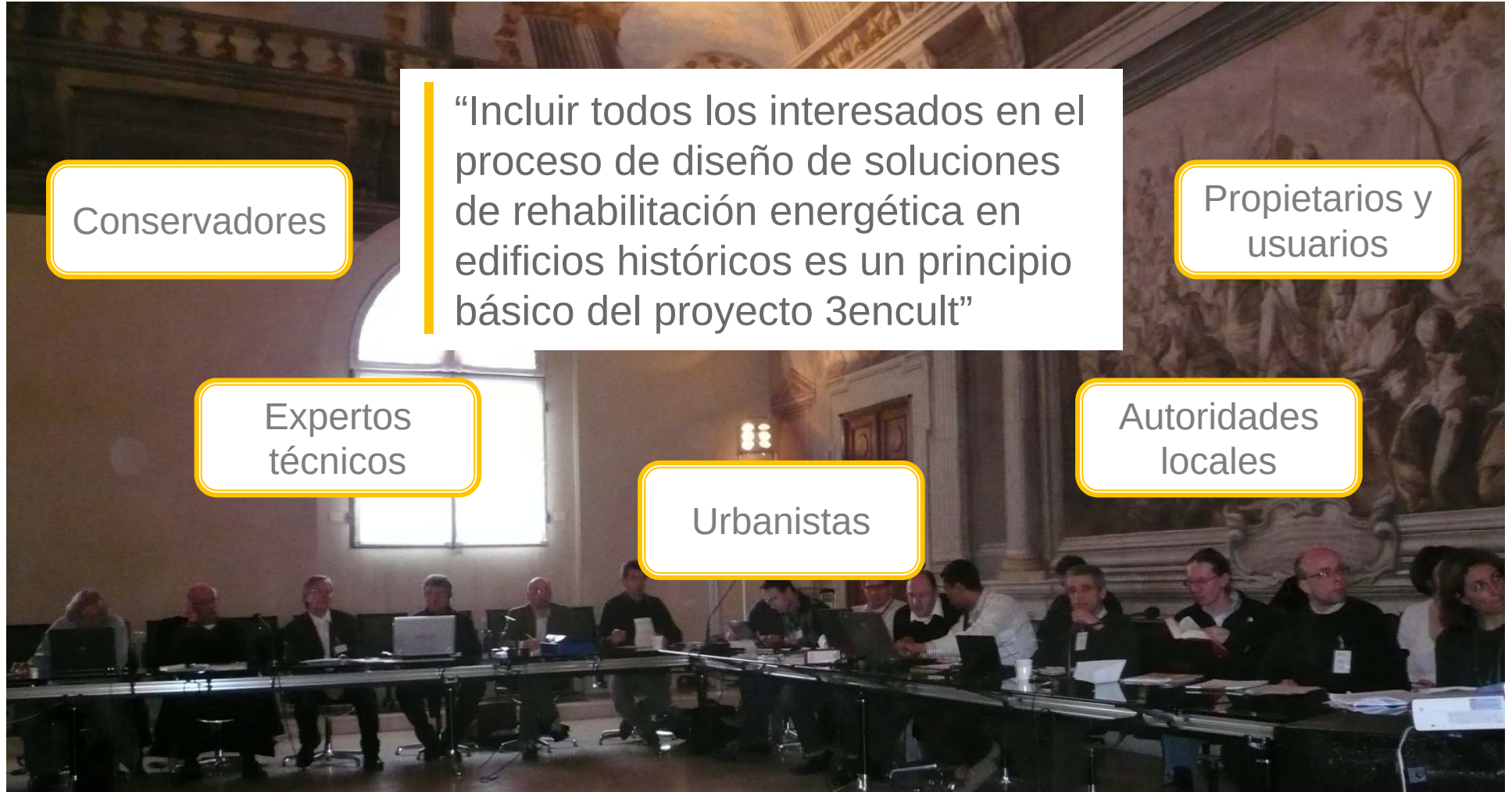
“Incluir todos los interesados en el proceso de diseño de soluciones de rehabilitación energética en edificios históricos es un principio básico del proyecto 3encult”

Propietarios y usuarios

Expertos técnicos

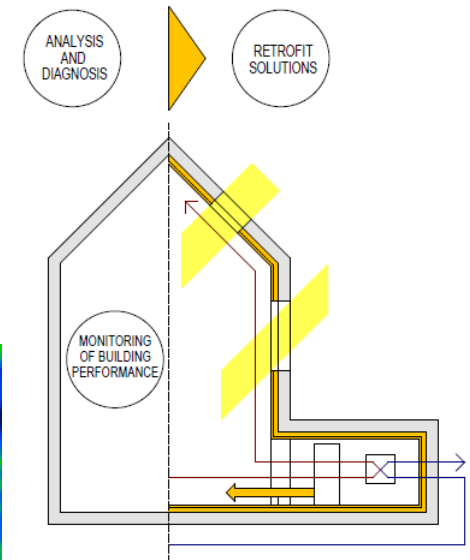
Autoridades locales

Urbanistas



Enfoque holístico

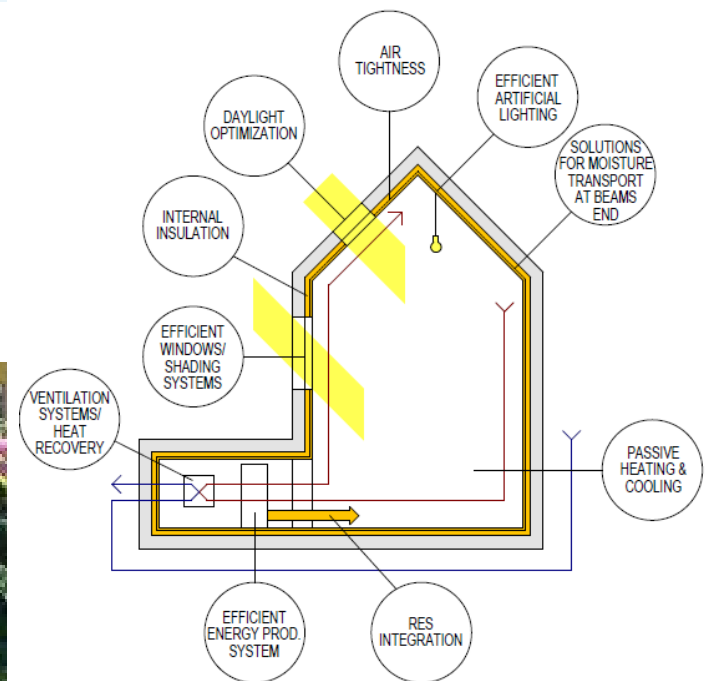
“El trabajo multidisciplinar comienza con el diagnóstico exhaustivo, apoyando al diseño y completado con la implementación de un sistema de monitorización y control”



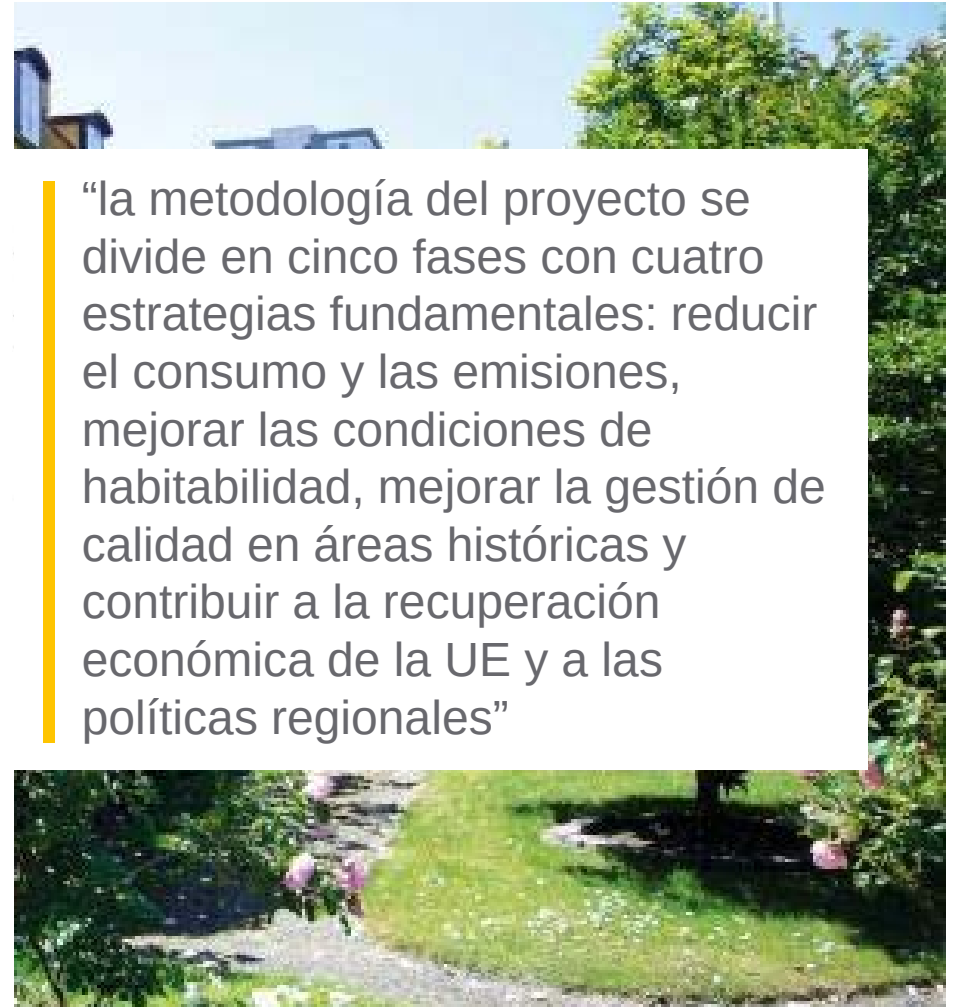
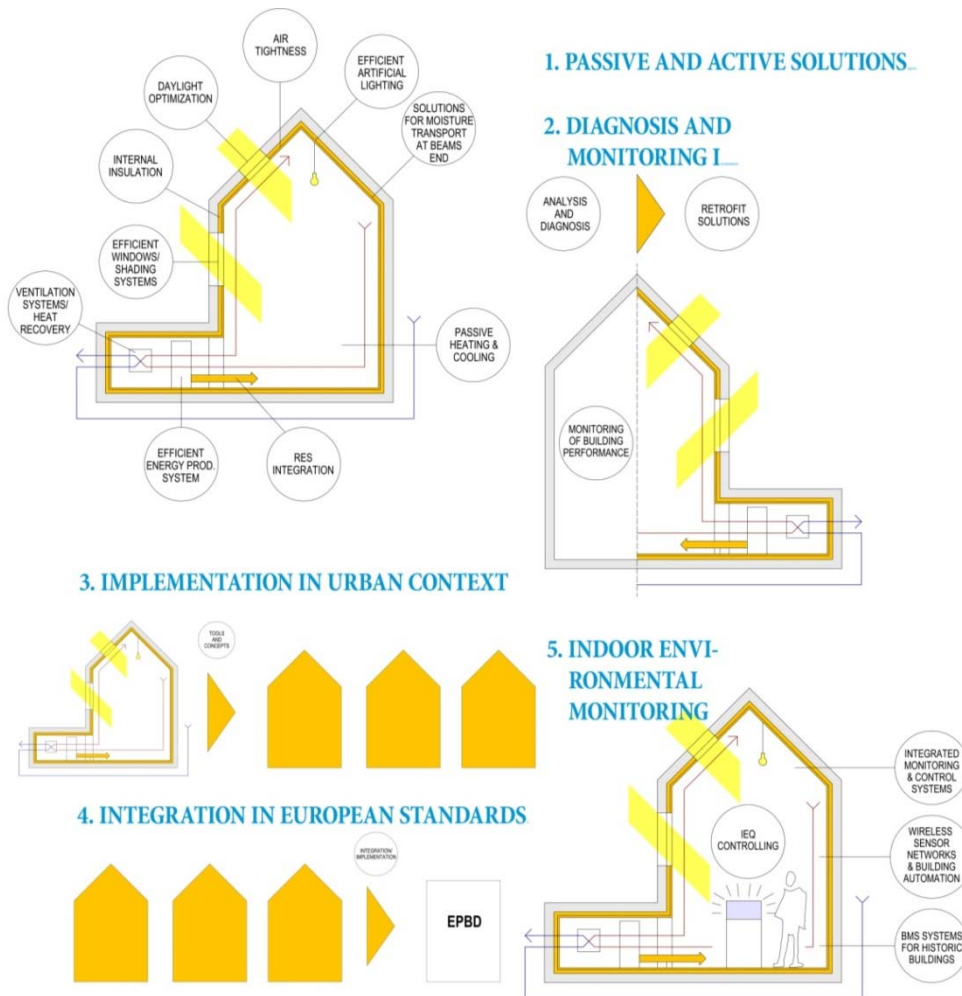
Investigación y desarrollo



“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



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 envolturas 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.

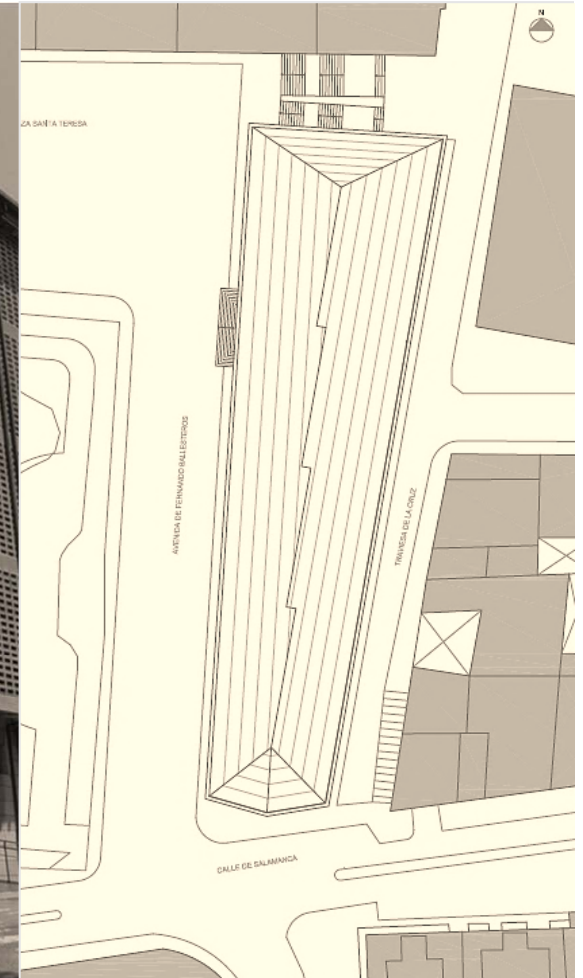
Aspectos históricos y arquitectónicos

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



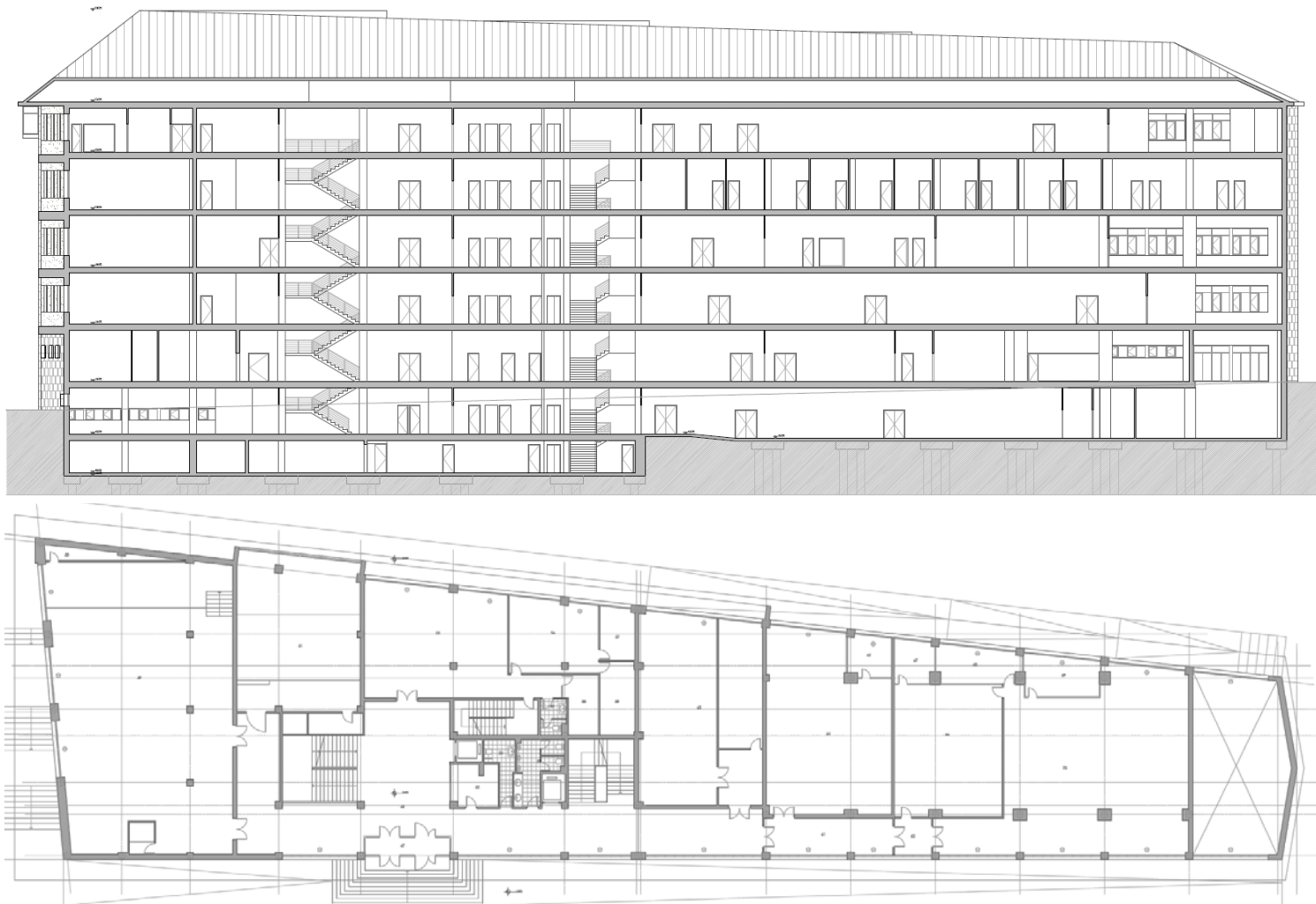
Localización	Béjar (Salamanca)	Altitud	959 msnm
Año de proyecto	1962	Año de construcción	1968-1972
Uso	Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Béjar		
Valor estilístico	Esta edificación, con una clara influencia de la arquitectura soviética de la época, supone una ruptura con la arquitectura 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



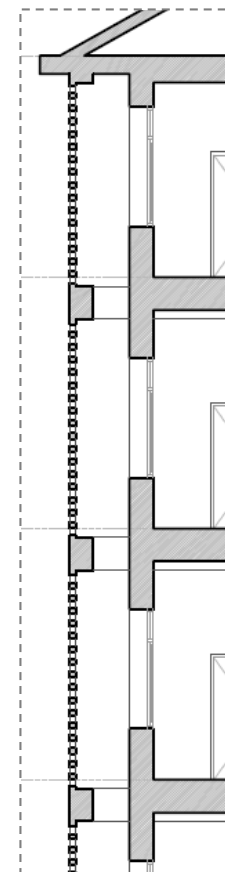
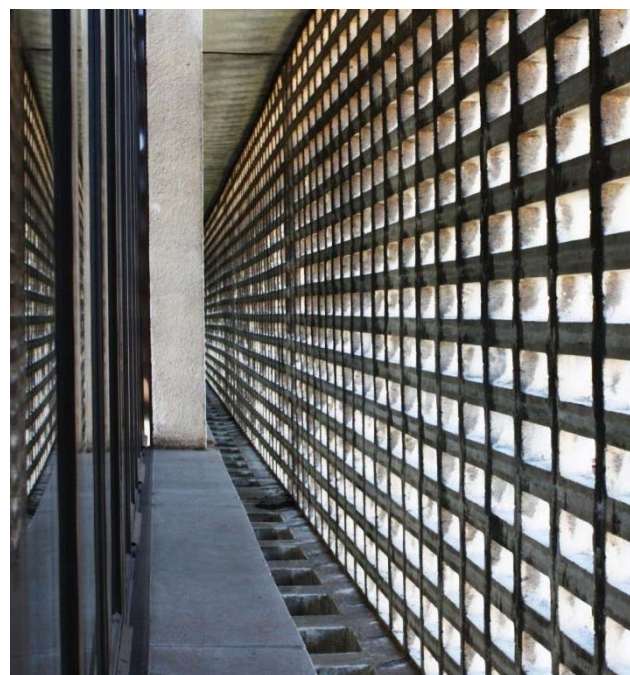
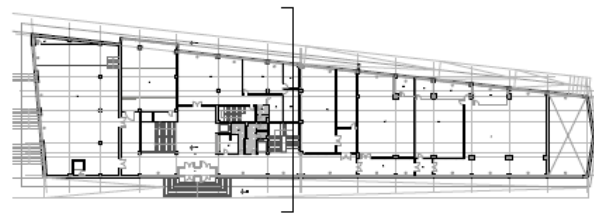
Estructura	Pilares de hormigón armado y forjado reticular. Cimentación a base de pilotes de 60cm y profundidad entre 6 y 12 metros con el correspondiente encepado y muros perimetrales de hormigón armado.		
Envolvente	Bloques de hormigón con cámara de aire y trasdosado de ladrillo HD en la mayoría de 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



Miguel Á. García-Fuentes. División de Energía. Fundación CARTIF

Aspectos históricos y arquitectónicos



Miguel Á. García-Fuentes. División de Energía. Fundación CARTIF

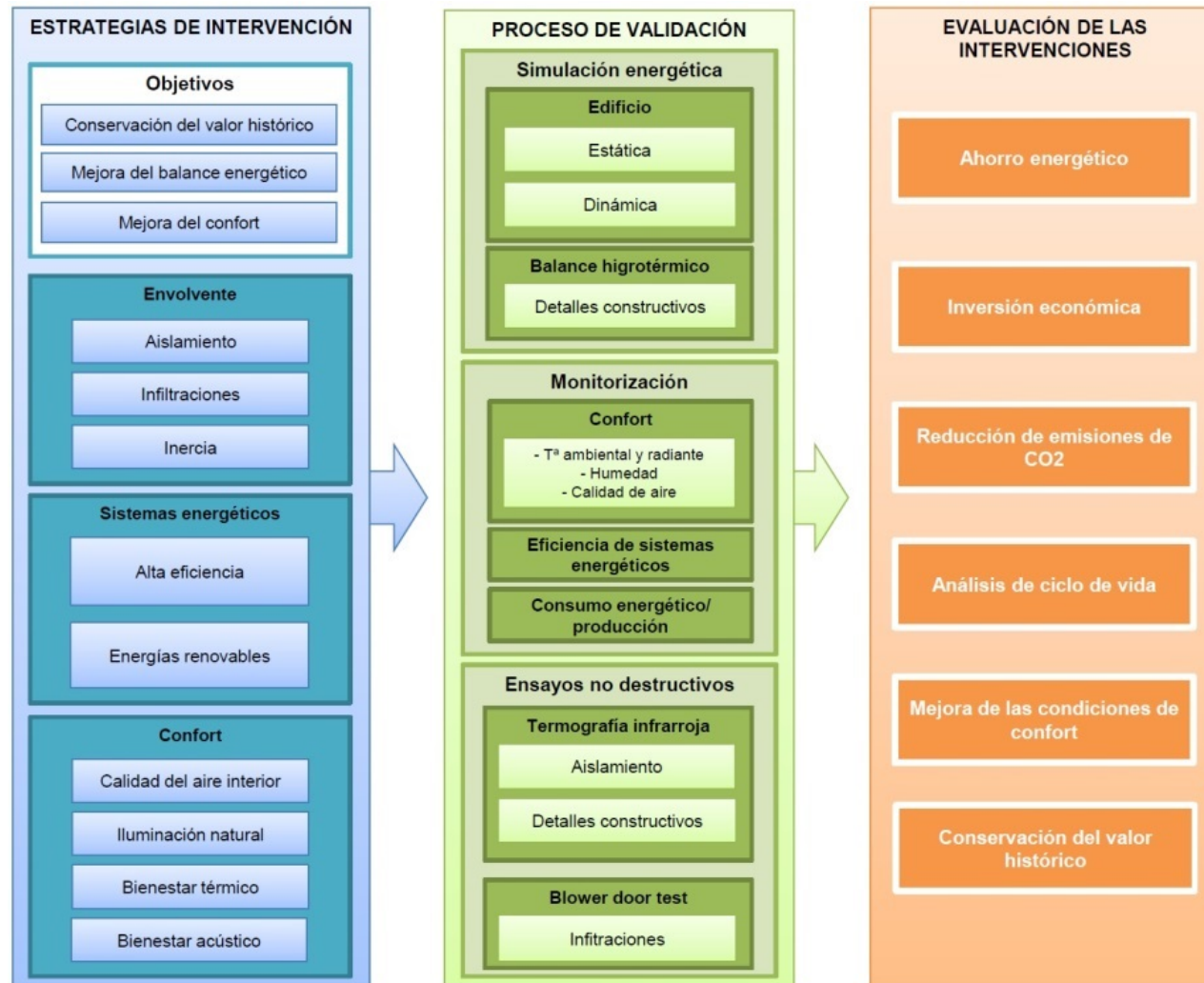
Aspectos históricos y arquitectónicos



Metodología de diagnóstico

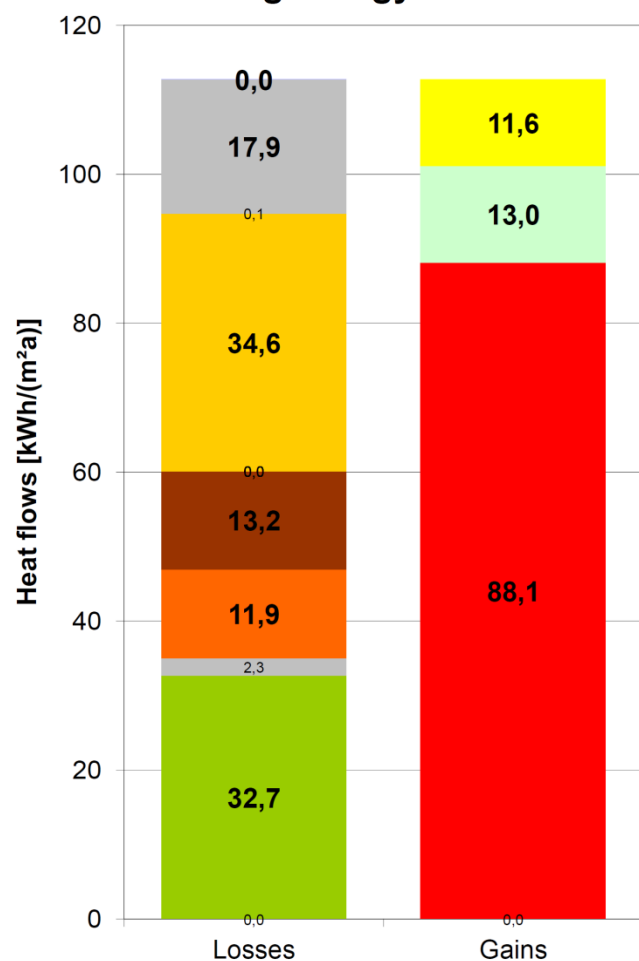


Metodología



Diagnóstico: simulación energética

Heating energy balance



Specific building demands with reference to the treated floor area				use: Monthly method	
		Treated floor area	10525,5 m²	Requirements	Fulfilled?*
Space heating	Annual heating demand	90 kWh/(m²a)		15 kWh/(m²a)	no
	Heating load	33 W/m²		10 W/m²	no
Space cooling	Overall specific space cooling demand	kWh/(m²a)		-	-
	Cooling load	W/m²		-	-
	Frequency of overheating (> 25 °C)	12,3 %		-	-
Primary Energy	space heating and dehumidification, cooling, DHW, space heating and auxiliary electricity	kWh/(m²a)		120 kWh/(m²a)	
		kWh/(m²a)		-	-
	Specific primary energy reduction through solar electricity	kWh/(m²a)		-	-
Airtightness	Pressurization test result n ₅₀	1/h		0,6 1/h	

* empty field: data missing; -: no requirement

Diagnóstico: simulación energética

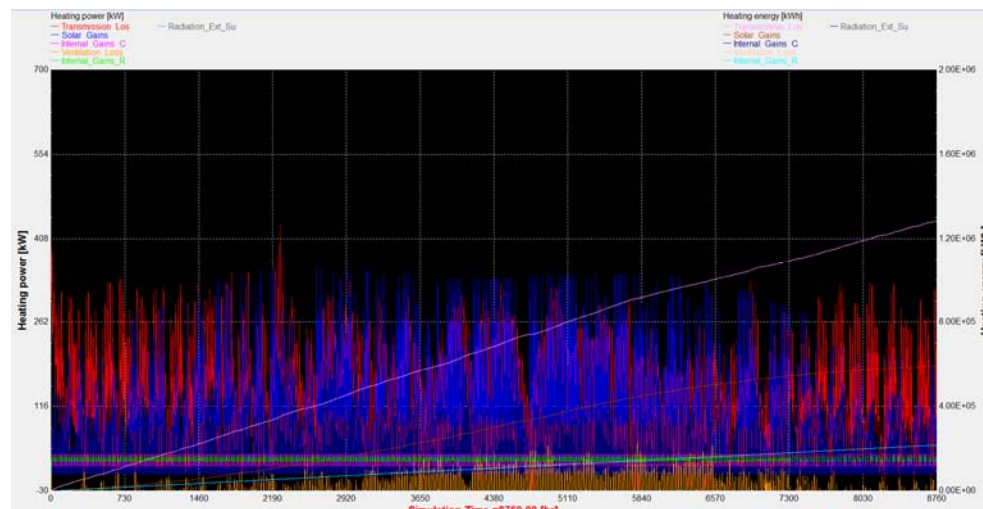
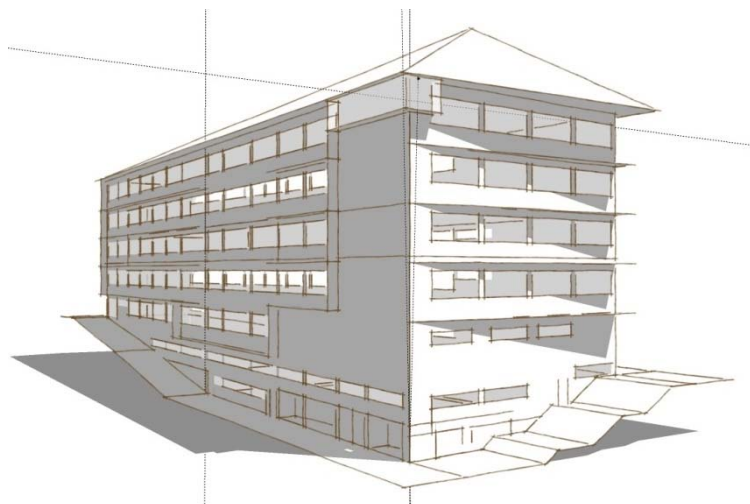


Tabla 2 – Resultados de las simulación para la comparación de herramientas

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)

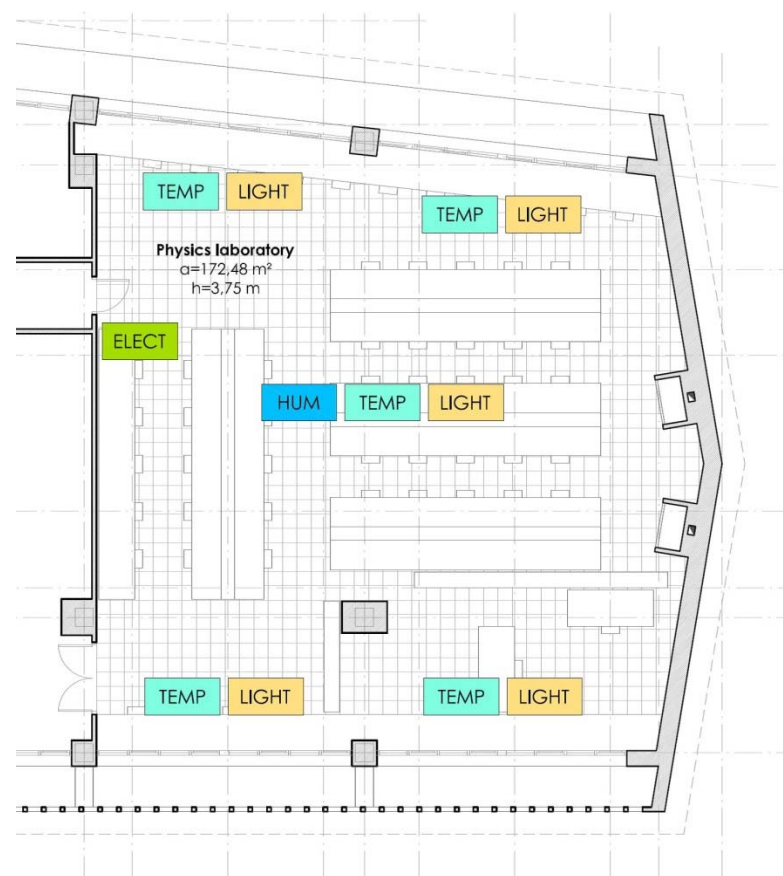
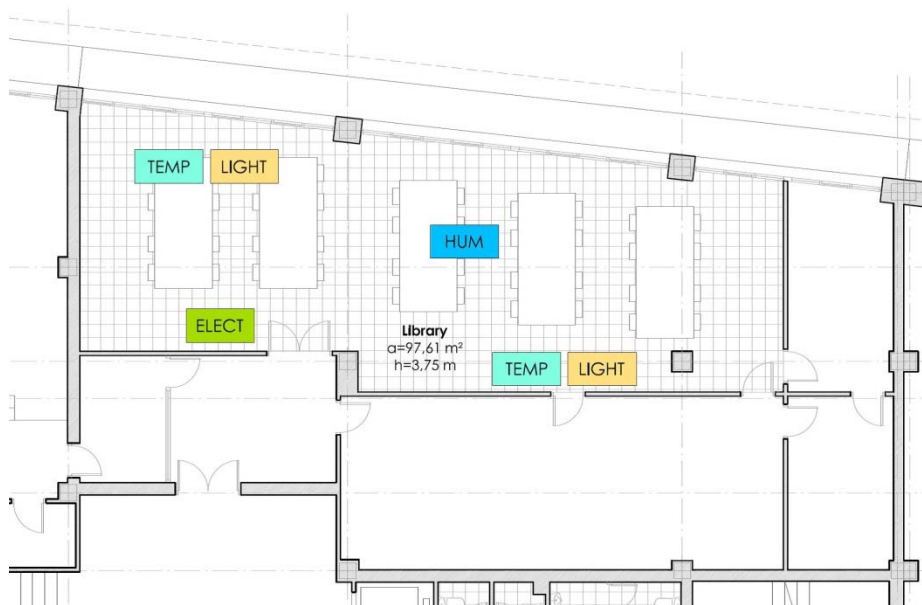


Diagnóstico: monitorización



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/m²)
	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

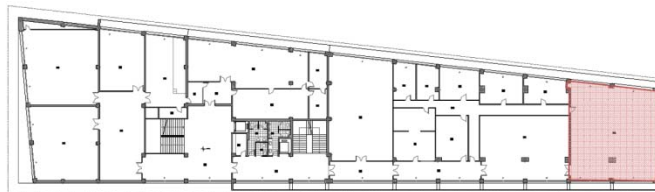
Condiciones iniciales del ensayo

- 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 - 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 %

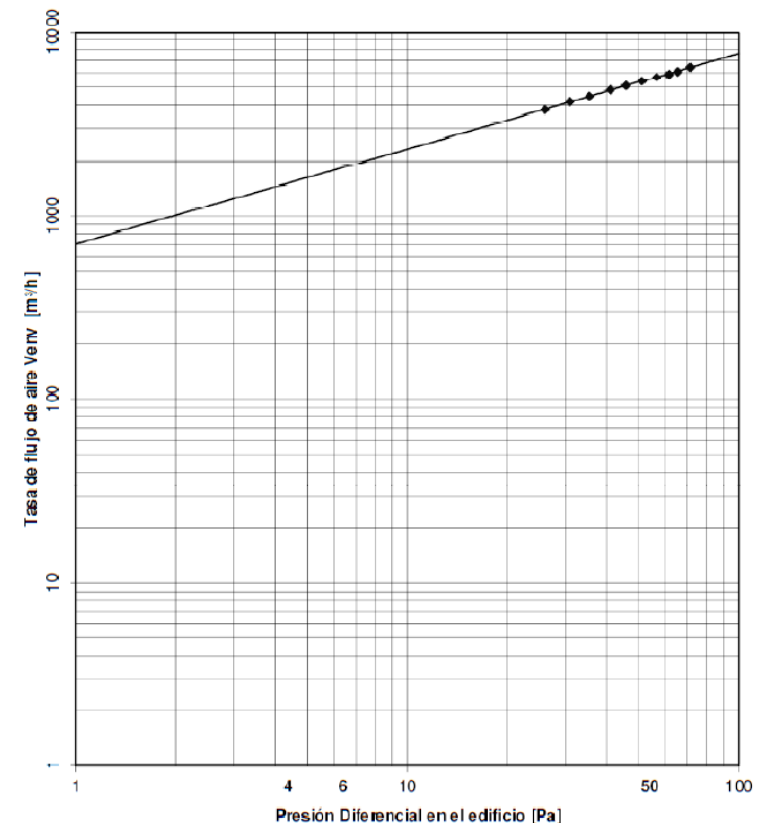
Elementos de medida

Diafragma	Edificio Presión	Ventilador Presión	Flujo del ventilador V _f	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	-0,66
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 _f =	172 m²	A ₀ =	521 m²
	V ₅₀	Incertidumbre:	n ₅₀	Incertidumbre:	w ₅₀	Incertidumbre:	q ₅₀
	m³/h	%	1/h	%	m³/m²h	%	m³/m²h
Despresurización	5191	+/- 12 %	9,2	+/- 13 %	30,2	+/- 13 %	10,0

RESULTADOS

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



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 V _f	Tolerancia
0 ABODE	[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. 657
n	[-]	0,52	max. 0,53	min. 0,50

Resultados		V =	567 m³	A _p =	172 m²	A ₀ =	521 m²	
	V ₅₀	Incertidumbre	n ₅₀	Incertidumbre	w ₅₀	Incertidumbre	q ₅₀	Incertidumbre
	m³/h	%	1/h	%	m³/m²·h	%	m³/m²·h	%
Despresurización	5191	+/- 12 %	9,2	+/- 13 %	30,2	+/- 13 %	10,0	+/- 13 %

RESUMEN DE RESULTADOS

Laboratorio -1- (sin cerrar chimeneas de ventilación)

- V₅₀ 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).

- n₅₀ 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.

- w₅₀ 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.

- q₅₀ Caudal a 50 Pa / Superficie de la envolvente = 10,0 m³/m²·h

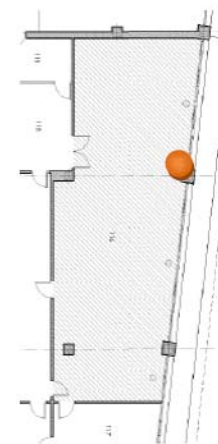
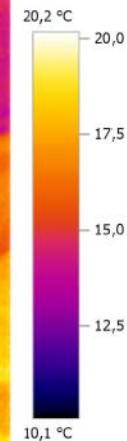
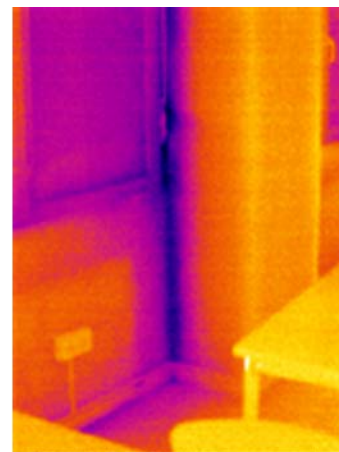
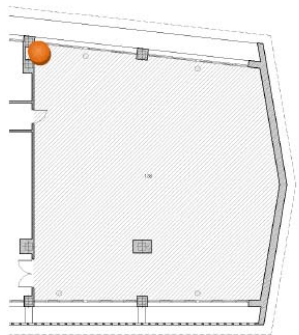
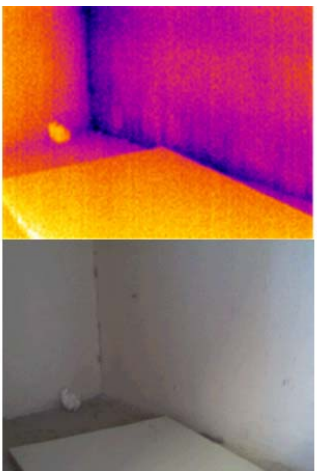
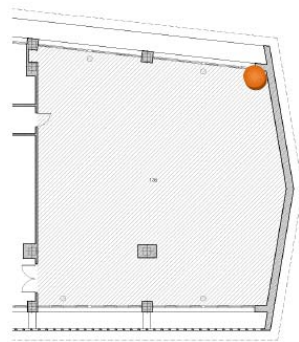
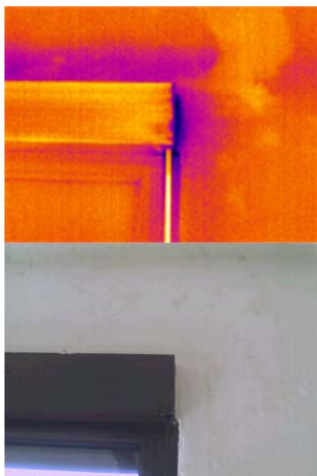
Este valor ajusta (normaliza) la tasa de infiltración de la vivienda según los m² de los cerramientos que delimitan la envolvente.

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

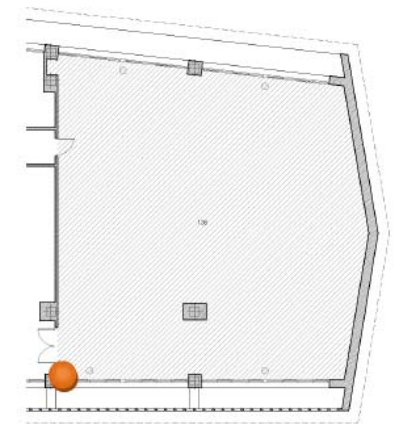
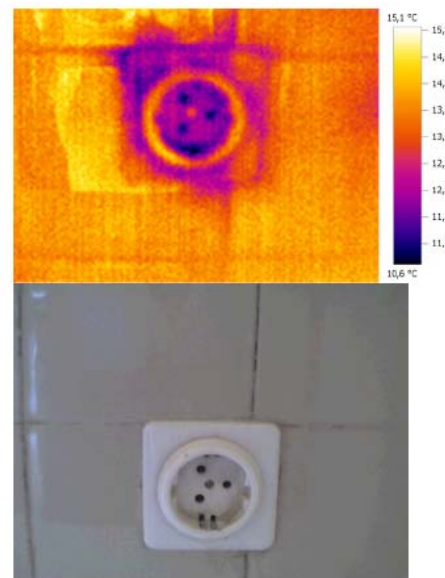
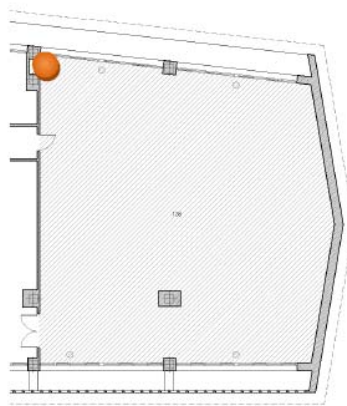
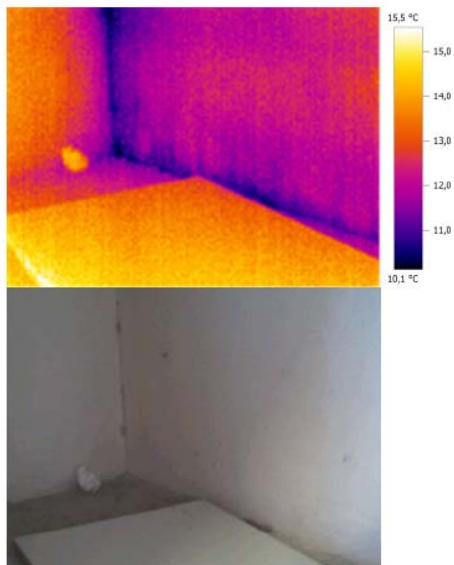
Laboratorio -2- (cerrando chimeneas de ventilación)

- V₅₀ Caudal medio a 50 Pa (m³/h) = 4778 m³/h
- n₅₀ Renovaciones / hora a 50 Pa (1/h) = 8,4 h⁻¹
- w₅₀ Caudal a 50 Pa / Superficie útil de la vivienda = 27,8 m³/m²·h
- q₅₀ 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

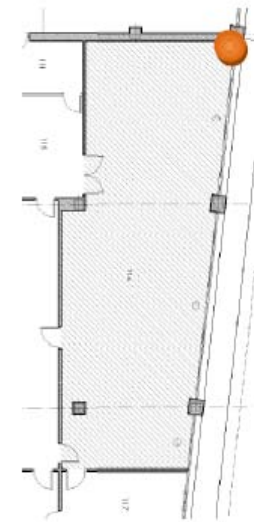
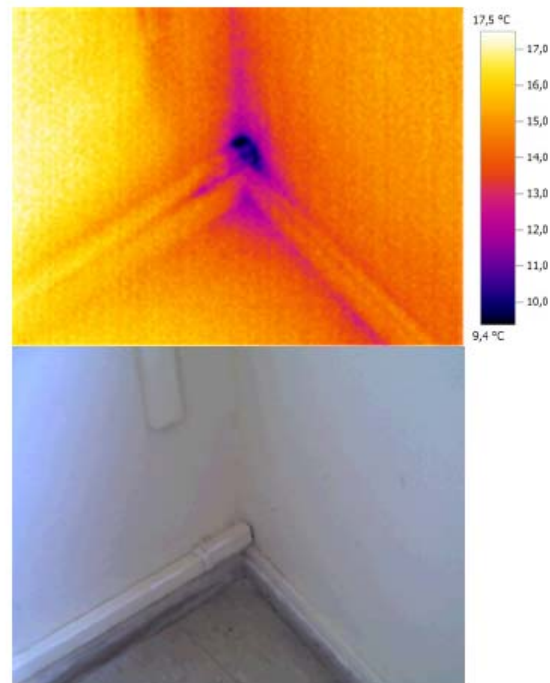
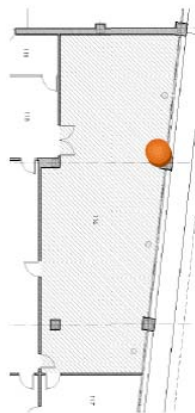
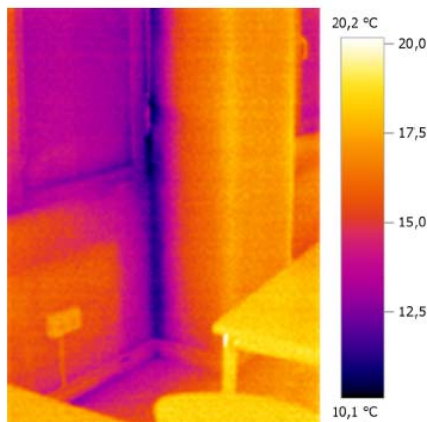
Diagnóstico: blower door test



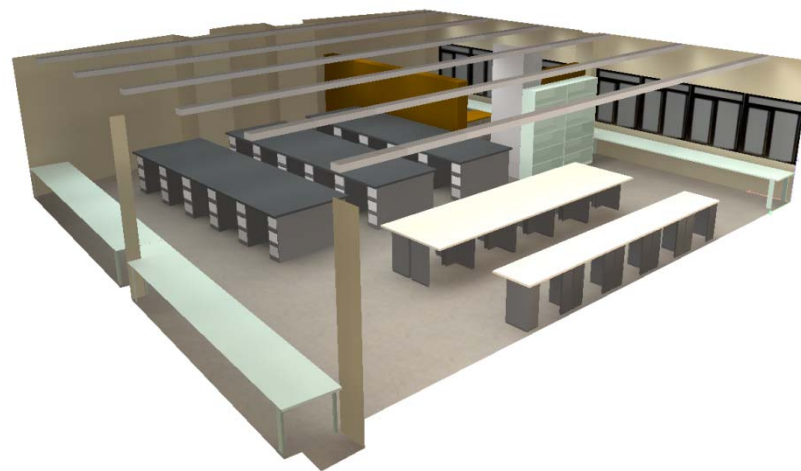
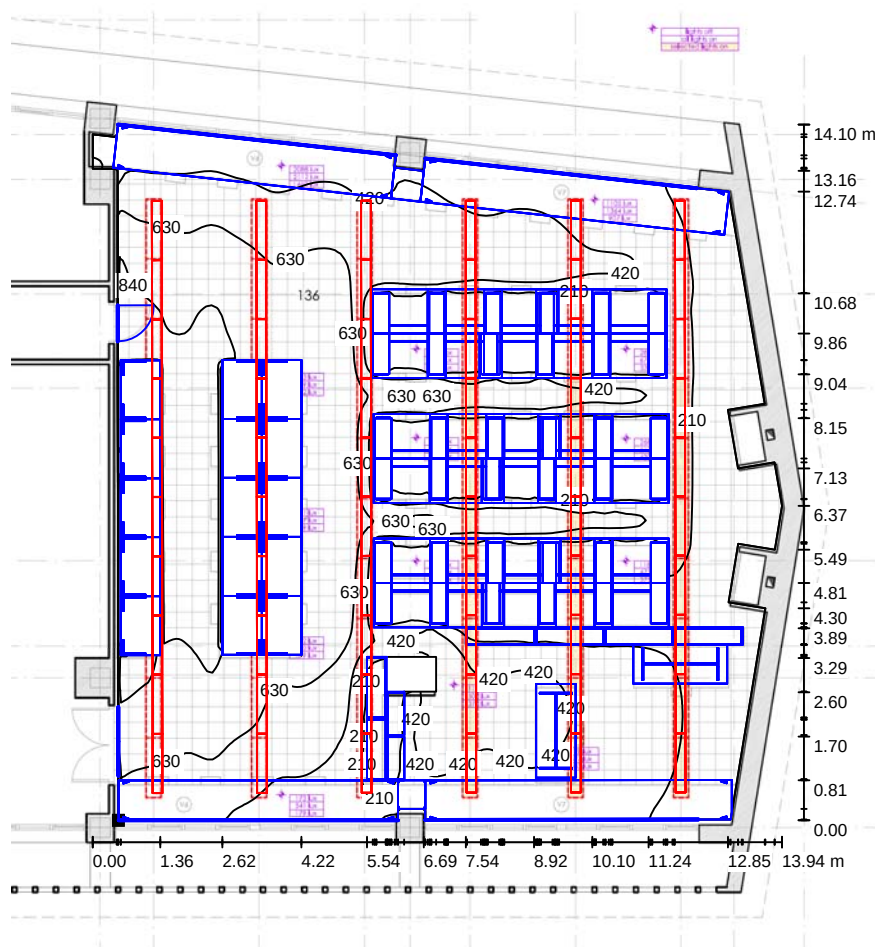
Diagnóstico: blower door test



Diagnóstico: blower door test



Diagnóstico: confort visual



Estrategias de intervención



Propuestas de intervención



	Soluciones pasivas	Soluciones activas	Control optimizado
Eficiencia energética	• Aislamiento interior/exterior • Reducción infiltraciones	• Distribución térmica • Eficiencia de los equipos térmicos o lumínicos	• Sistema de iluminación
Confort	-	-	• Sistema de iluminación • Sistema de climatización
Integración de EERR	-	• Solar fotovoltaica • Caldera de biomasa	-

Intervenciones

- Integración de energías renovables



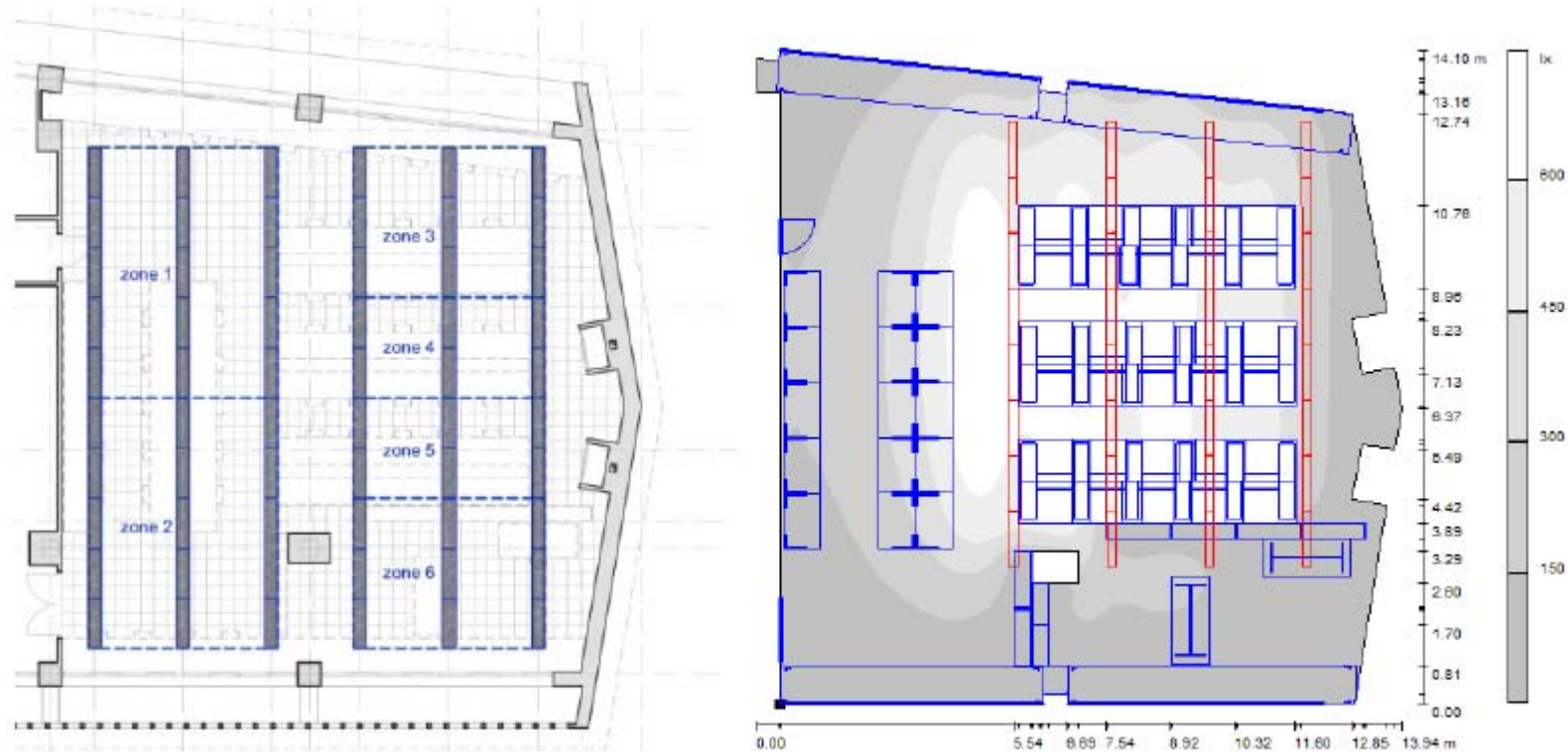
Intervenciones

- Integración de energías renovables



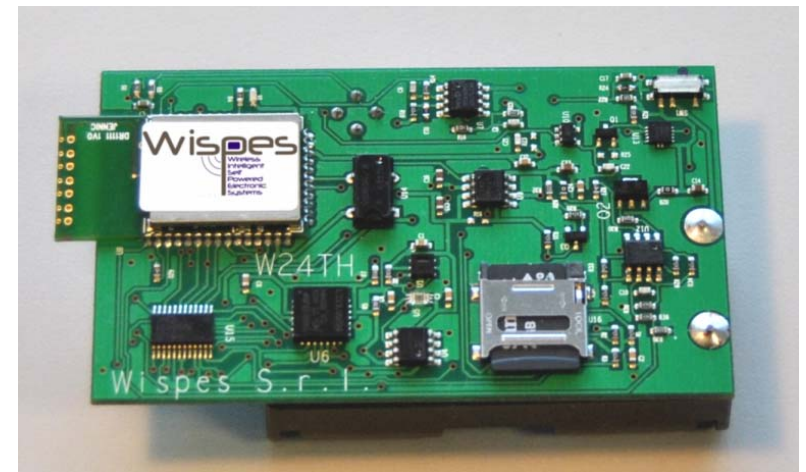
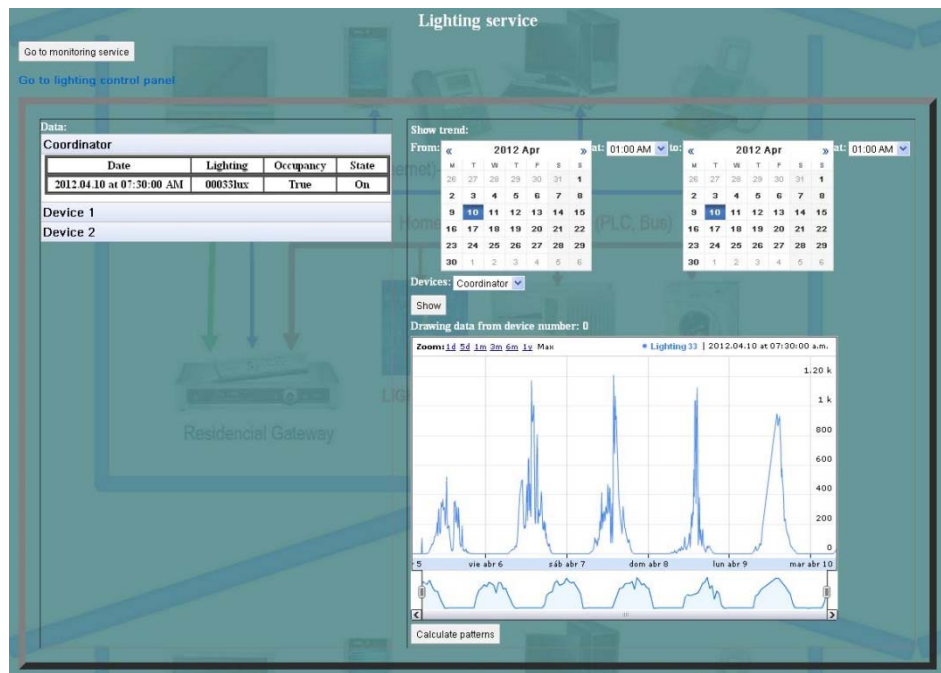
Intervenciones

- Redistribución de los circuitos de luminarias



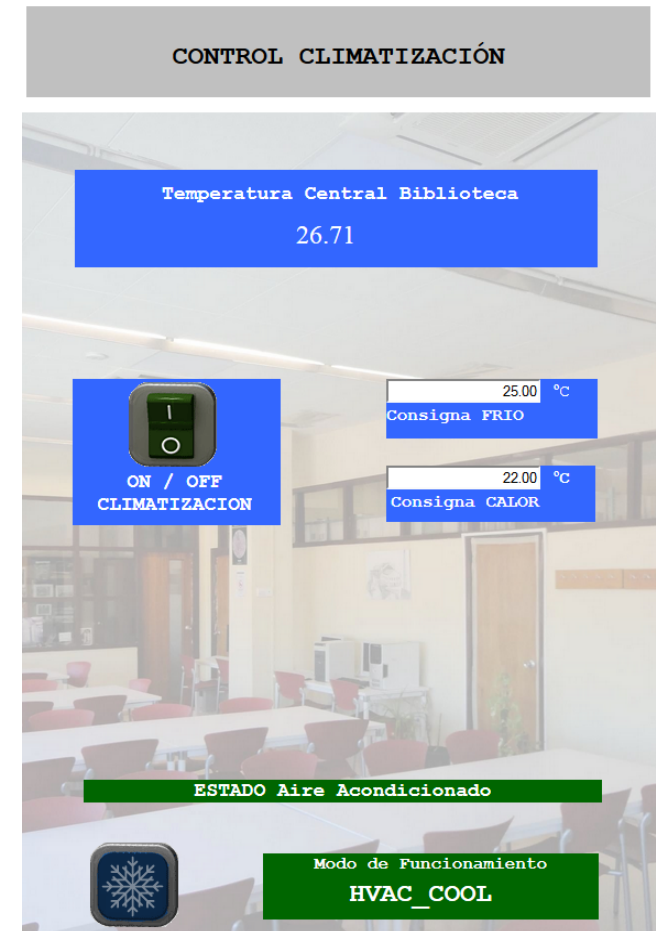
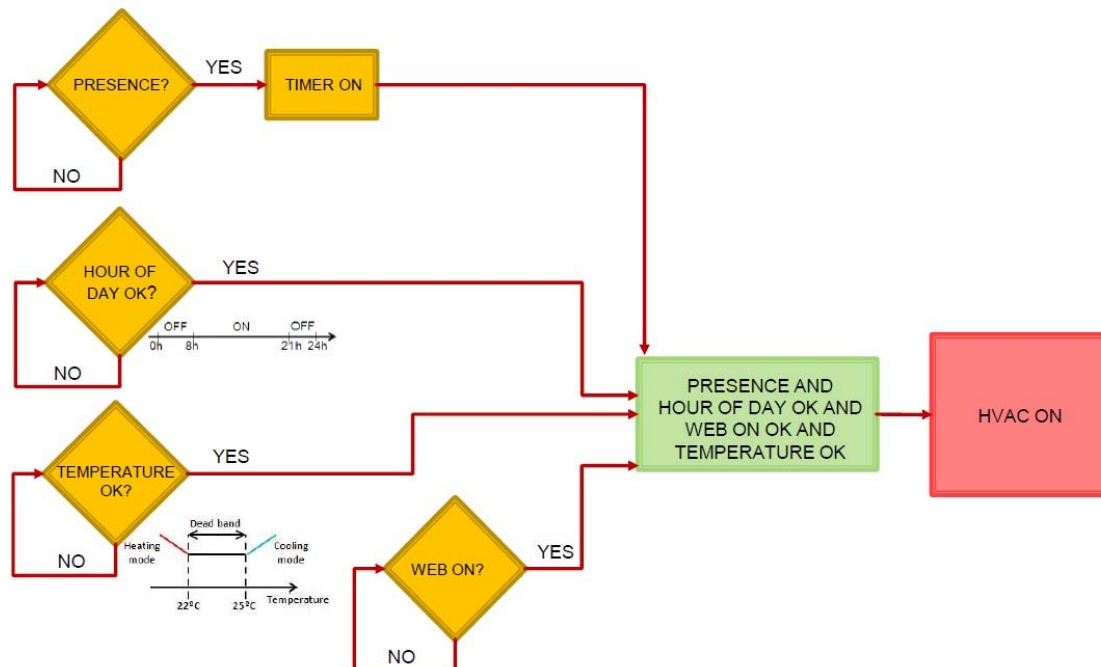
Intervenciones

- 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.



- **Miguel Á. García-Fuentes**
- miggar@cartif.es
- División de Energía, Fundación CARTIF

The research leading to these results has received funding from the European Community's Seventh Framework Programme (FP7/2007-2013) under grant agreement n° 260162



This document reflects only the author's views. The European Union is not liable for any use that may be made of the information contained therein.

Logo Partner