COMPORTAMIENTO ENERGETICO Y ECONOMICO ACCIONES DE REHABILITATCION:

EDIFICIO UNIFAMILIAR AISLADO TIPO PB+1 CON INSUFLADO EN FACHADAS, FALSO TECHO BAJO CUBIERTA Y AISLAMIENTO BAJO PAVIMENTO EN SOLERA (REHABILITACION URSA)

URSA Ibérica deseaba disponer de datos actualizados acerca de la estimación técnico económica de diferentes acciones de rehabilitación de los edificios en el contexto de España para ello ha encargado la realización de una serie de casos de estudio sobre diferentes edificios con diferentes intervenciones de rehabilitación con el fin de cuantificar los beneficios técnicos y económicos que la rehabilitación comporta.

El presente estudio se refiere a la rehabilitación de un edificio unifamiliar aislado tipo PB+1 en el que se desea evaluar el impacto energético y económico que representa realizar un sistema INSUFLADO en las cámaras con URSA PUREONE Pure Floc KD 100 mm en las fachadas, de instalación de un falso techo con aislante URSA TERRA PLUS 32 de 100 mm bajo la cubierta y de un aislante URSA XPS N-III de 40 mm bajo el pavimento en la solera de la Planta Baja.

METODOLOGIA

Para poder estimar el impacto de una acción de rehabilitación en un edificio es necesario efectuar una estimación de la demanda y el consumo energético del edifico en la situación que se encuentre antes de realizar la rehabilitación y repetir el mismo calculo con el edifico después de la rehabilitación.

La comparación de las demandas / consumos antes y después de efectuar la rehabilitación permite evaluar la mejora que aporta la acción rehabilitadora.

Traduciendo el consumo de energía final a su coste económico y estimando el coste de inversión en rehabilitación se puede efectuar la estimación del impacto económico de la inversión realizada en acciones de rehabilitación.

Para los cálculos energéticos se ha usado Sketchup como herramienta de modelado tridimensional y OpenStudio/EnergyPlus como herramienta de simulación energética, cuando se realizan cálculos paramétricos se usa la herramienta jEplus que permite acelerar los cálculos con varias zonas climáticas o con varias variables sobre un mismo modelo.

Para las evaluaciones económicas se han usado los datos de costes de intervención incluidas en el Generador de Precios de CYPE.

Para estimar los costes de operación del edifico se han usado las tarifas domésticas de los suministros energéticos considerando solo los términos de energía (parte variable) de las mismas por lo que no se incluyen los costes fijos que son independientes del mayor o menor consumo energético.

DESCRIPCION DEL EDIFICIO:

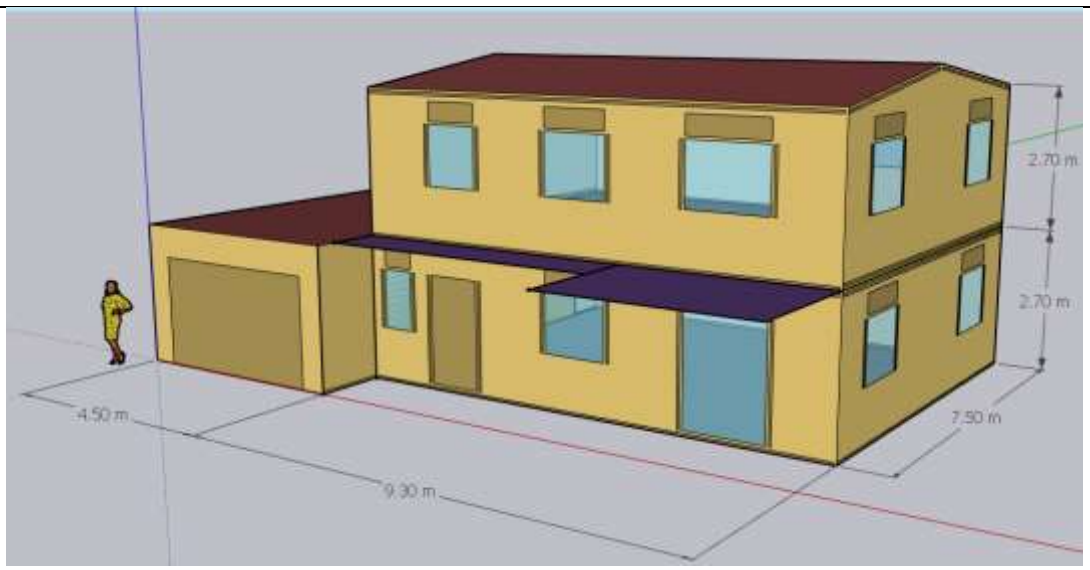
En este caso de estudio se plantea sobre un edifico unifamiliar aislado de tipo PB+1 compuesto por planta baja y una planta superior.

La vivienda está constituida por la planta baja y la primera, una pequeña construcción en planta baja se destina a garaje privado.

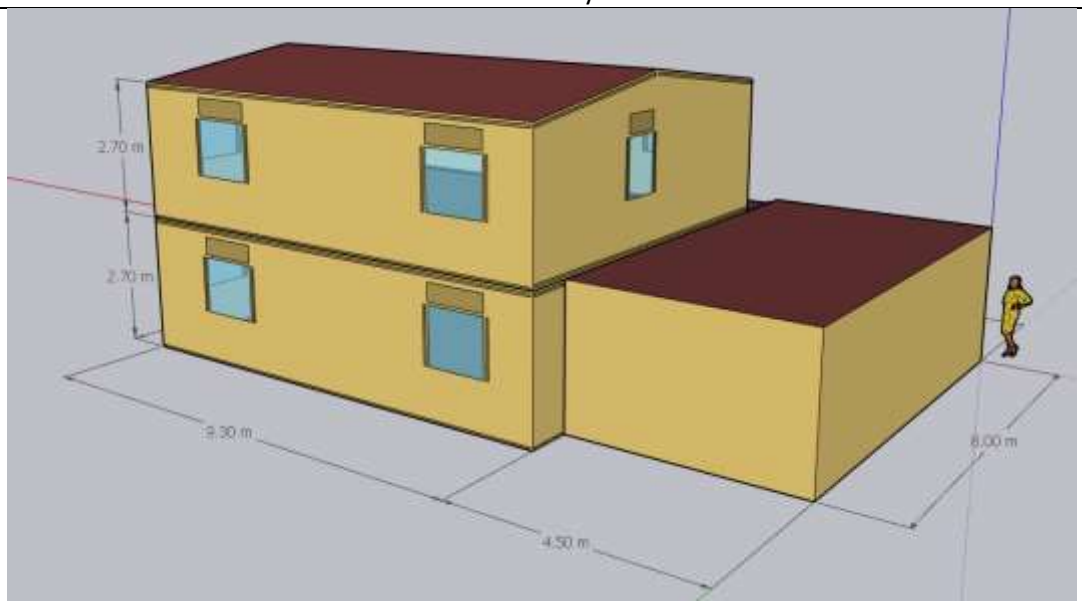
La superficie acondicionada de la vivienda es de 139,5 m2 y el garaje adosado es de 36 m2.

En los esquemas adjuntos se puede visualizar la geometría del edificio

El edifico presenta cuatro fachadas todas ellas expuestas al exterior.



Fachada Sur y Este



Fachada Norte y Oeste

CONSTRUCCION EDIFICIO ANTES DE REHABILITACION

Para la modelización de la envolvente se han considerado las construcciones siguientes:

	Situación Inicial	Rehabilitación URSA
Fachadas	Enlucido de mortero ½ pie de Fabrica de ladrillo perforado Camara de aire 100 mm Tabique ladrillo hueco Enlucido de yeso	URSA PUREONE Pure Floc KD 100 mm

Huecos	Vidrio simple 6 mm Carpintería de madera	
Cubierta	Tejas Mortero Forjado Unidireccional entrevigado de Enlucido de yeso -- --	 URSA TERRA PLUS 32 de 100 mm Placa de Yeso Laminado
Forjados intermedios	Plaqueta de gres Capa de mortero Forjado Unidireccional entrevigado de hormigón aligerado Enlucido de yeso	
Solera	Plaqueta de Gres --- Capa de mortero Losa de hormigón	 URSA XPS N-III de 40 mm

No se ha considerado en la rehabilitación el cambio de ventanas ya que no forman parte de la oferta de productos URSA.

PUENTES TERMICOS

Se han incluido en el modelo los puentes térmicos más relevantes que se presentan en el edifico:

Intersecciones de las fachadas con los forjados

Jambas laterales de ventanas

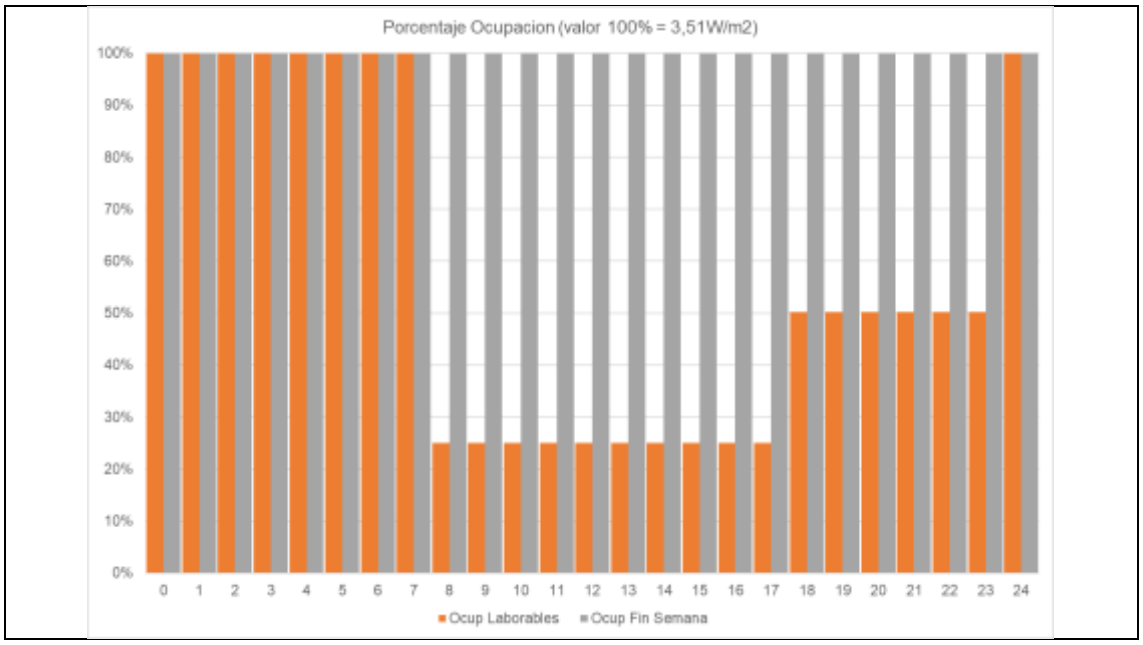
Capialzados de ventanas donde se aloja la persiana enrollable con aislamiento de Resistencia térmica 0,83 m2K/W

PERFILES OCUPACIONALES

Para los cálculos energéticos se han considerado las hipótesis siguientes:

Ocupación:

Se ha considerado una tasa de ocupación de 1 persona cada 20 m2 de vivienda con una actividad de 70 W/persona y con un perfil horario de presencia en el edifico de acuerdo con el grafico siguiente:

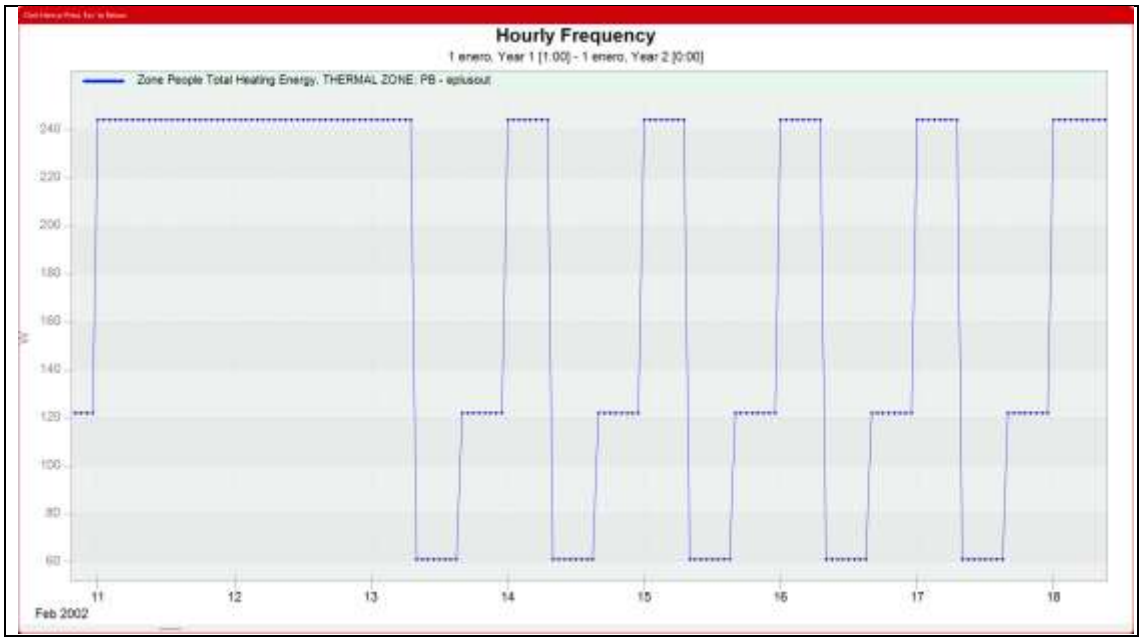


Esta tasa de ocupación y perfil horario coincide exactamente con el que prescribe el Documento DB HE en su Anejo D

En el grafico siguiente se aprecia la evolución horaria de las cargas debidas a la ocupación durante una semana empezando en sábado.

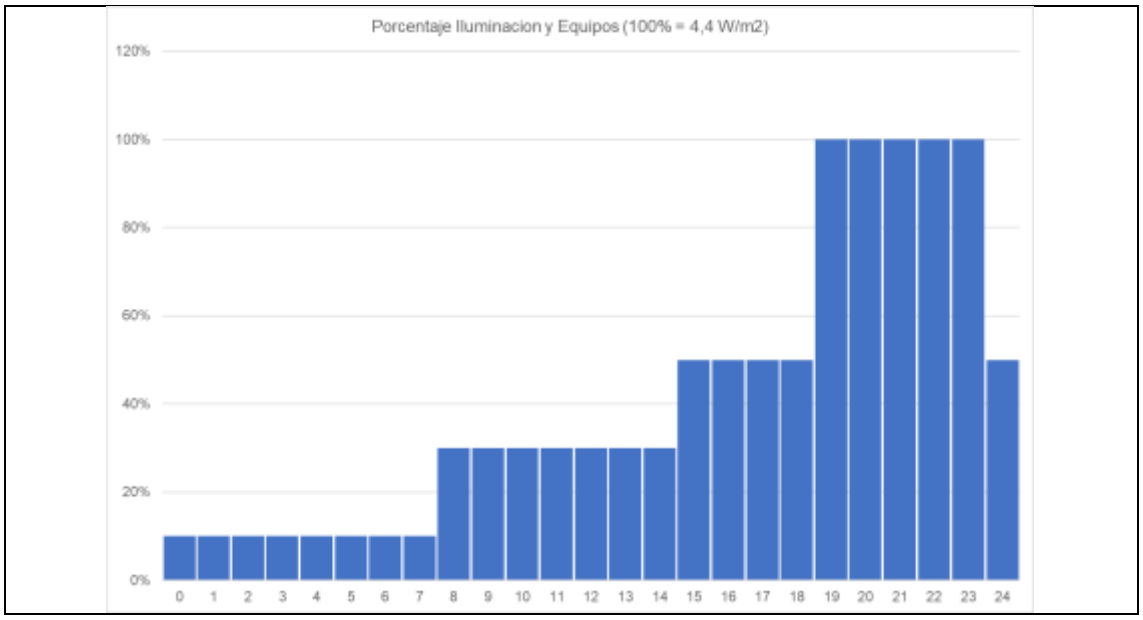
69,75 m2 por vivienda con una tasa de ocupación de 20 m2/persona = 3,48 personas

3,48 personas * 70 W/persona = 243,6 W por vivienda tal como se aprecia en el grafico



Iluminación y Equipos:

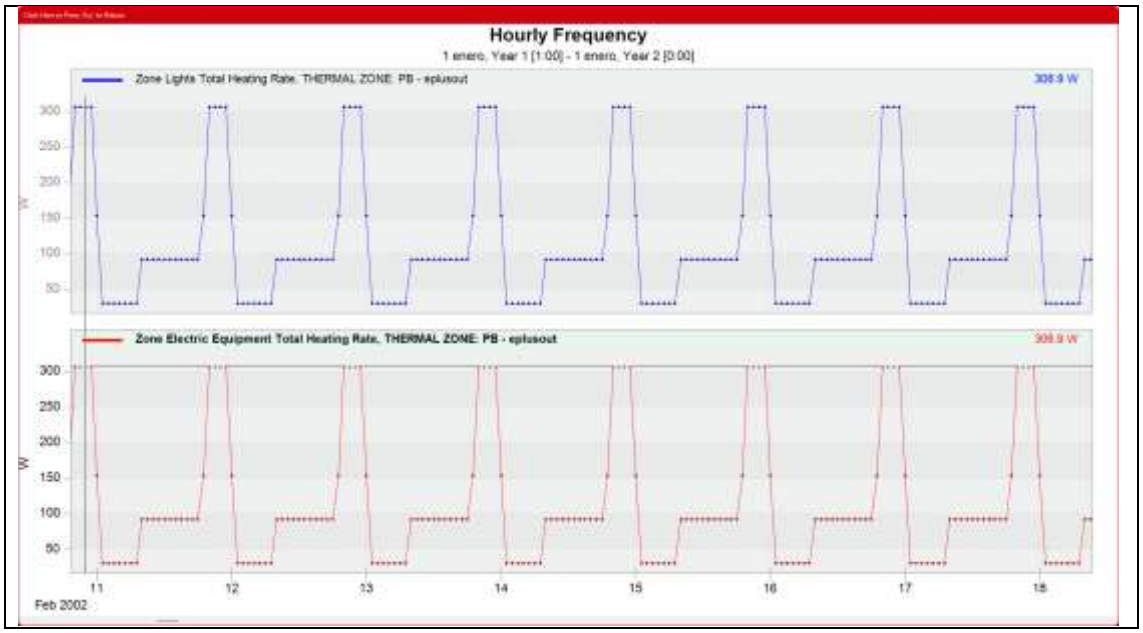
Las cargas derivadas de la disipación térmica de los aparatos de iluminación y equipos que existen en el edifico se estiman con un valor pico de 4,4 W/m2 y con un perfil horario tal como se indica en el gráfico adjunto



Tanto el valor pico como el perfil horario coincide exactamente con el que prescribe el Documento DB HE en su Anejo D

En los gráficos adjuntos se aprecia la evolución de las cargas debidas a iluminación y equipos para un día

69,75 m2 * 4,4 W/m2 = 306,9 W

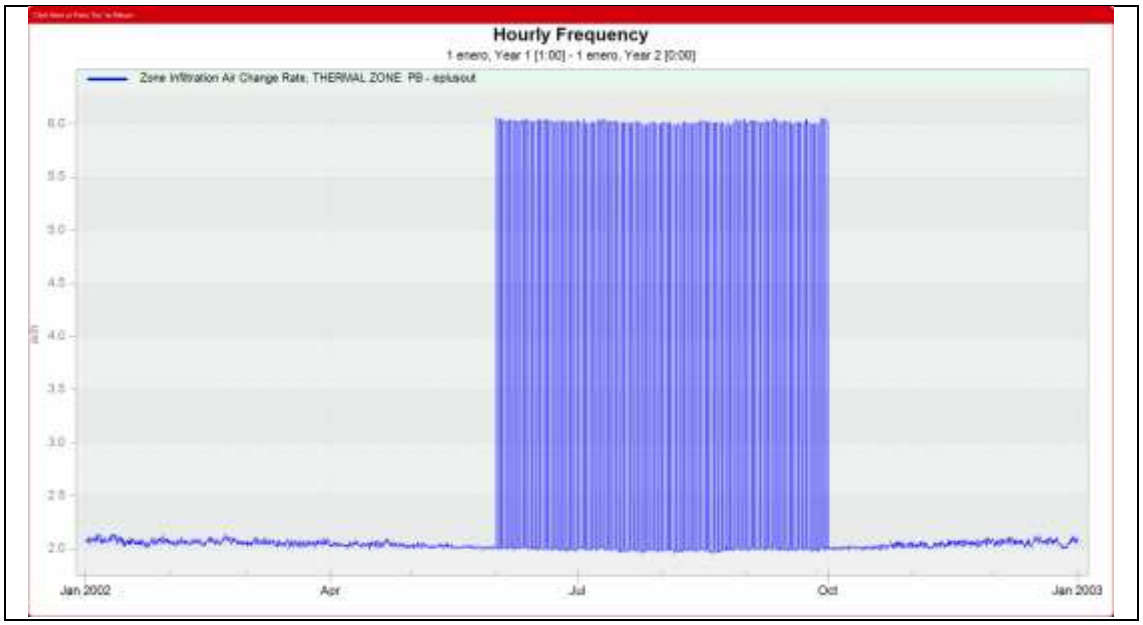


Infiltración de aire

En las condiciones de uso se ha considerado una tasa de infiltración de aire constante de 2 volúmenes por hora (huecos de hermeticidad sin rehabilitar) en situación inicial y de 0,75 ACH en el edificio rehabilitado, aunque no se rehabiliten los huecos se ha considerado una mejora debido a que la infiltración de aire a través de los cerramientos opacos se verá mejorada (reducida) por la rehabilitación y el usuario probablemente sea más consciente del comportamiento energético del edificio y tratará de optimizar (minimizar) la abertura de ventanas.

Durante las noches de verano se dispondrá adicionalmente re una renovación de aire de 4 volúmenes por hora para aprovechar el efecto del enfriamiento gratuito.

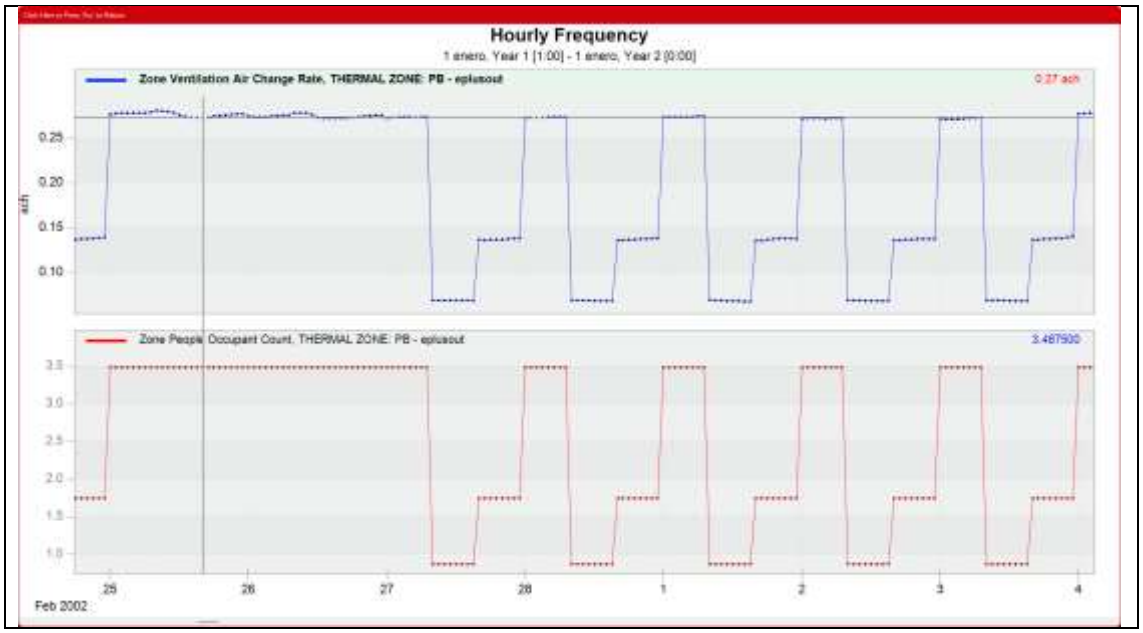
En el grafico siguiente se aprecia la tasa de infiltración constante de aire y el suplemento debido a la infiltración nocturna durante las noches de verano



Ventilación:

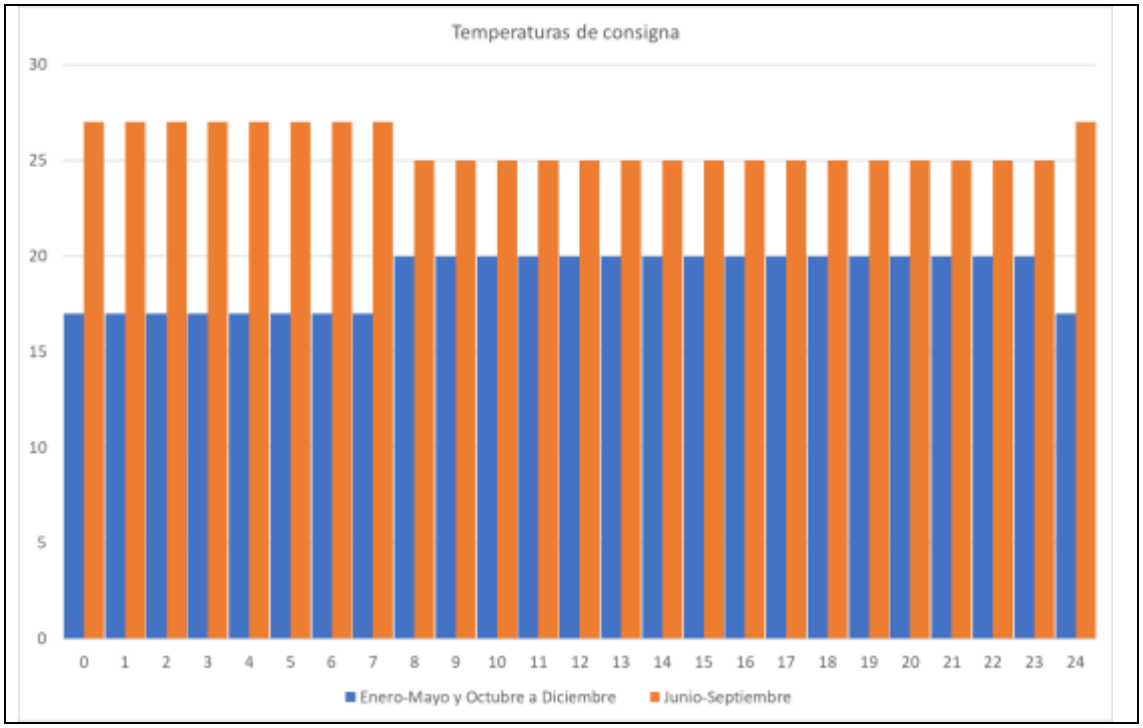
Se ha considerado que además de la infiltración de aire derivada de la hermeticidad del edificio este dispondrá de una ventilación (natural o mecánica) que aporte 4 l/s/ por persona de esta forma se asegura una calidad de aire interior acorde a la tasa de ocupación sin provocar excesos de perdidas térmicas debidas a una posible sobre ventilación.

En los gráficos siguientes se aprecia la evolución semanal de la tasa de ventilación y su paralelismo con la tasa de ocupación de una de las viviendas



TEMPERATURAS DE CONSIGNA

Se han considerado las temperaturas de consigna para calefacción y refrigeración que se representan en el grafico siguiente:



Estas temperaturas coinciden con las que se describen en el Anejo D del DB HE excepto que para la consigna de refrigeración durante las horas centrales del día se ha establecido una consigna de 25ºC (igual a la que establece el DB HE para el atardecer) con el fin de asegurar el confort a los usuarios que permanecen en el edifico durante estas horas los días laborables y a

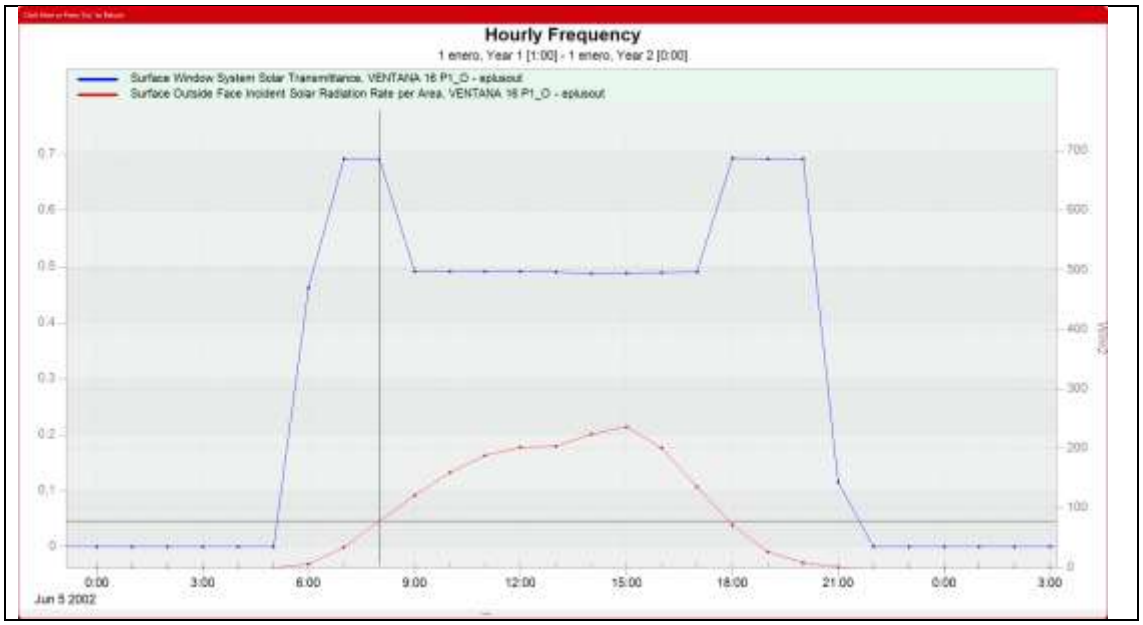
la totalidad de ocupantes durante los fines de semana tal como se aprecia en los perfiles de presencia de personas en la determinación de los perfiles de ocupación.

Todo ello tiene por objetivo no infra valorar la demanda / consumo de refrigeración durante estas horas especialmente críticas del edifico ya que la temperatura es máxima y la radiación solar elevada.

PROTECCION SOLAR

Se ha establecido una protección solar en los huecos de forma que durante los meses de verano se reduzca el factor solar en un 30% siempre que la radiación solar incidente sobre el hueco supere los 100 W/m2.

En el grafico siguiente se aprecia como se reduce la transmitancia solar de un hueco (línea azul) cuando la radiación solar aumenta por encima de 100 W/m2 (línea roja)



Esta forma de proceder está en línea con la modelización de la protección solar que se prescribe en las bases de cálculo de la Calificación Energética de los Edificios y que pretende minimizar el impacto del sobrecalentamiento en verano.

ZONAS CLIMATICAS

El cálculo se efectúa para una ciudad representativa de cada una de las zonas climáticas en que se suele subdividir España.

Zona climática	Ciudad representativa
A	Málaga
B	Valencia
C	Barcelona
D	Madrid
E	León

REHABILITACION

La rehabilitación consiste en este caso en efectuar un sistema de INSUFLADO en las cámaras con aislante URSA PUREONE Pure Floc KD 100 mm la incorporación de un falso techo con aislamiento URSA TERRA PLUS 32 de 100 mm bajo la cubierta y la instalación de un aislante URSA XPS N-III de 40 mm bajo el pavimento en la solera de la Planta Baja, todos los demás elementos constructivos mantienen la misma construcción inicial.

La acción de rehabilitación permite reducir los puentes térmicos existentes por lo que en el modelo de edificio rehabilitado se ha adecuado a la situación después de la rehabilitación.

Los perfiles ocupacionales y temperaturas de consigna se mantienen idénticos en el edifico antes de rehabilitación y después de haber efectuado las acciones de rehabilitación descritas.

RESULTADOS DEMANDA ENERGETICA ANUAL

Zona	Ciudad	**INICIAL** (antes rehabilitación)		**Rehabilitación 100 mm**	
		Calef. kWh	Refrig. kWh	Calef. kWh	Refrig. kWh
A	Málaga	8043	3775	3172	2634
B	Valencia	10377	5859	4323	3988
C	Barcelona	15316	3482	6868	2650
D	Madrid	20264	4742	9361	3150
E	León	32254	413	16231	313

Reducción porcentual de la demanda

Zona	Ciudad	**Reducción demanda energética %**		
		Rehabilitación 100 mm		
		Calef.	Refrig.	TOTAL
A	Málaga	61%	30%	51%
B	Valencia	58%	32%	49%
C	Barcelona	55%	24%	49%
D	Madrid	54%	34%	50%
E	León	50%	24%	49%

RESULTADOS ANUALES DE CONSUMO ENERGIA FINAL Y COSTES DE OPERACIÓN

Para estimar el consumo de energía final se debe estimar el rendimiento medio estacional de los sistemas de calefacción y refrigeración.

Para estimar el coste de operación anual es preciso considerar el coste del suministro energético.

Consumo = Demanda / Rendimiento medio estacional

Coste Operación = Consumo * Coste unitario

Para los cálculos actuales hemos usado los valores siguientes:

	Rendimiento medio estacional	Coste energético
Calefacción	0,85	0.05+21% = 0.0605 €/kWh
Refrigeración	3	0.17+21% = 0.2057 €/kWh

Para los rendimientos estacionales de los sistemas se han considerado unos valores medios que se consideran representativos de un aparato de combustión para calefacción y de una bomba de calor para refrigeración.

En el coste de la energía se han usado como referencia la parte variable de las tarifas domésticas de gas y electricidad sin tomar en consideración los valores excepcionalmente altos actuales (marzo 2022) confiando que a medio largo plazo los precios energéticos se estabilicen.

Zona	Ciudad	**Coste operacional anual**					
		INICIAL (antes rehabilitación)			**Rehabilitación 100 mm**		
		Calef. €	Refrig. €	TOTAL €	Calef. €	Refrig. €	TOTAL €
A	Málaga	573	259	831	226	181	406
B	Valencia	739	402	1140	308	273	581
C	Barcelona	1090	239	1329	489	182	671
D	Madrid	1442	325	1767	666	216	882
E	León	2296	28	2324	1155	21	1177

La reducción de los costes de operación del edificio se resume en la tabla siguiente

Zona	Ciudad representativa	**Ahorro económico €/año**
		Rehabilitación 100 mm
A	Málaga	425
B	Valencia	559
C	Barcelona	658
D	Madrid	885
E	León	1147

REDUCCION CONSUMO ENERGIA PRIMARIA NO RENOVABLE.

Para estimar la reducción del consumo de energía primaria no renovable es preciso considerar el factor de paso de Energía Final a Energía primaria no renovable.

Se ha considerado un coeficiente de paso de Energía final a Energía Primaria no renovable de 1,195 para la calefacción (referencia Gas Natural) y de 1,954 para la refrigeración (referencia Electricidad)

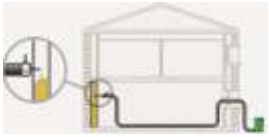
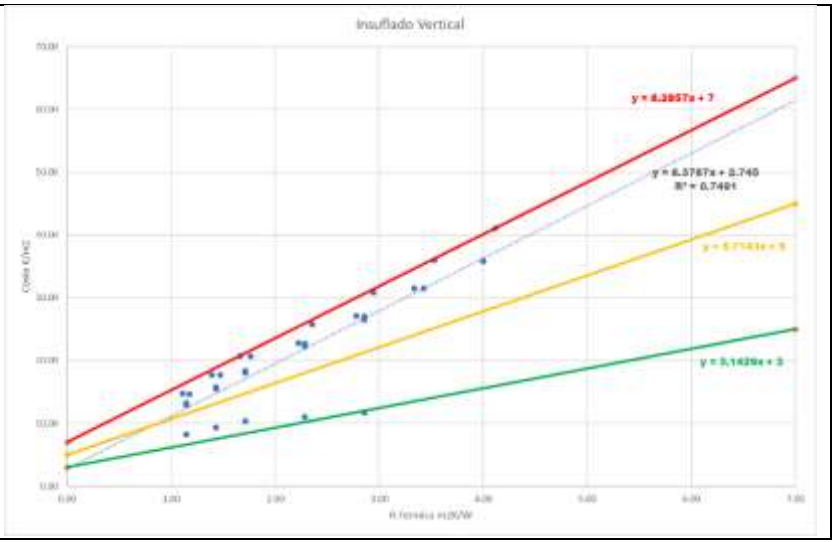
Reducción EPnr = Reducción consumo E.Final * Coeficiente de paso de E.Final a EPnr

Zona	Ciudad	**Reducción Energía Primaria no renovable %**		
		Rehabilitación 90 mm		
		Calef.	Refrig.	TOTAL
A	Málaga	61%	30%	55%
B	Valencia	58%	32%	53%
C	Barcelona	55%	24%	52%
D	Madrid	54%	34%	52%
E	León	50%	24%	50%

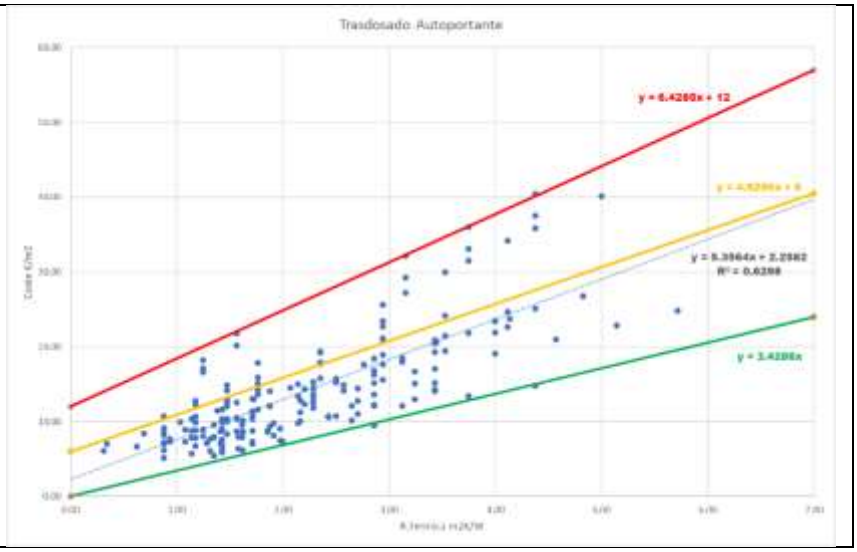
INVERSION EN REHABILITACION

Se han considerado las superficies netas (huecos excluidos) de las fachadas que serán objeto de rehabilitación.

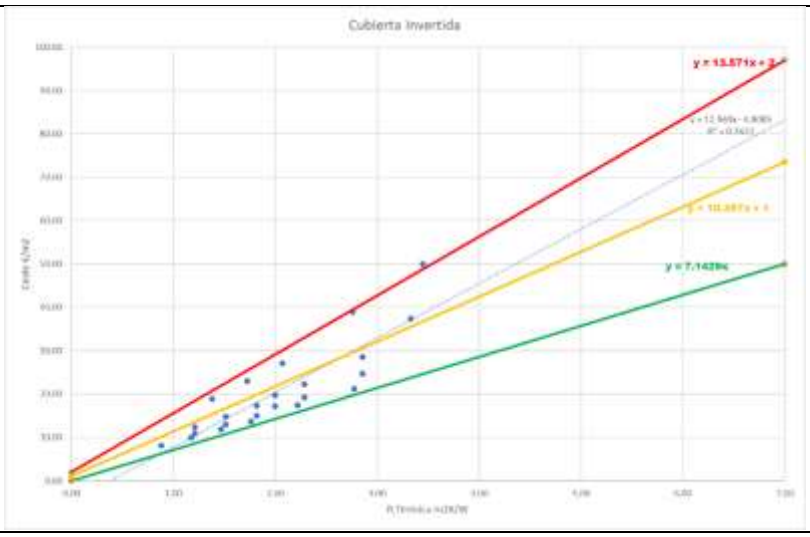
Para el coste unitario de la insuflación de aislante en cámaras de aire verticales se usan los valores del estudio de “Correlación prestaciones / coste aislante instalado” basados en los datos del Generador de Precios de CYPE (versión marzo 2022).

Insuflado  **Coste medio:** **€/m²=5.7143*Rt+5**	

Para este caso concreto considerando que la resistencia térmica de cada caso obtendríamos un coste de instalación del aislante de 21 €/m2 y 15 €/m2 de coste de instalación del sistema Trasdosado al que debe añadirse un 10% de Beneficio Industrial y el 10% de IVA (rehabilitación)

Falso Techo **Coste medio:** **€/m²=4.9286*Rt+6**	

El coste de instalación del falso techo se estima en 33 €/m2 al que debe añadirse el coste del aislante que asciende en este caso a 21 €/m2 y a ambos debe añadírsele el beneficio industrial 10% y la tasa de IVA 10%

Solera **Coste medio: €/m²=10,375*Rt+1**	

El coste de retirar y volver a colocar el pavimento se estima en 57 €/m2 al que debe añadirse el coste del aislante que asciende en este caso a 14 €/m2 en ambos casos debe añadírsele el beneficio industrial 10% y la tasa de IVA 10%

	Superficie m2	**Inversión Rehabilitación**
		Rehabilitación 100 mm
Fachadas	141.73	6326
Huecos	25.64	
Solera	69.75	5956
Cubierta	70.36	4632
TOTAL	307.48	16914

ANALISIS VIAVILIDAD ECONOMICA SIN CONSIDERAR SUBVENCIONES

Para el análisis de viabilidad económica consideraremos los indicadores siguientes:

Retorno de la inversión: se evalúa como la relación entre el ahorro económico proporcionado por la intervención en relación al coste de la inversión

Tiempo de recuperación: representado por el número de años que se tarda en recuperar la inversión inicial mediante el ahorro económico debido a la inversión

Tasa Interna de retorno: Representa el porcentaje de interés de los flujos de caja debidos a la inversión y los ahorros producidos

Valor actual neto: permite evaluar la viabilidad de proyectos de inversión y representa el valor actual de todos los flujos de caja debidos a la inversión y los ahorros proporcionados

Para todos los cálculos anteriores es preciso definir:

Horizonte temporal en este caso habida cuenta la larga durabilidad de la intervención propuesta se considera un periodo de cálculo de 50 años.

Variación de los precios futuros de la energía, en este caso se ha considerado que el precio de la energía permanece constante a lo largo del tiempo

Tasa de interés de referencia en este caso se ha usado un 1%.

Zona	Ciudad	**Rehabilitación 100 mm**			
		Retorno inversión	Tiempo recuperación	TIR	VAN
		€ ahorrados / € invertidos	años	%	€
A	Málaga	1.26	40	0.93%	-257
B	Valencia	1.65	30	2.18%	5006
C	Barcelona	1.95	26	3.01%	8892
D	Madrid	2.62	19	4.71%	17779
E	León	3.39	15	6.49%	28060

SUBVENCIONES

Se ha establecido un programa de subvenciones para facilitar las obras de rehabilitación con los criterios siguientes:

Zona	Reducción mínima de la demanda energética anual global de calefacción y refrigeración de la vivienda unifamiliar o del edificio
A, B y α	Sin requisito
C	25 %
D y E	35 %

El montante de las ayudas depende del % de reducción del consumo de energía primaria no renovable.

Reducción EPnr	% máximo del coste	Máximo por vivienda
$30\% \leq \Delta C_{ep,nren} < 45\%$	40	8.100
$45\% \leq \Delta C_{ep,nren} < 60\%$	65	14.500
$\Delta C_{ep,nren} \geq 60\%$	80	21.400

En este caso de ejemplo las subvenciones susceptibles de ser obtenidas son:

Zona	Ciudad referencia	**Subvención posible**	
		Rehabilitación 100 mm	
		Montante	% en relación al coste
A	Málaga	10994	65%
B	Valencia	10994	65%
C	Barcelona	10994	65%
D	Madrid	10994	65%
E	León	10994	65%

ANALISIS VIAVILIDAD ECONOMICA CONSIDERANDO SUBVENCIONES

Efectuando el cálculo de la viabilidad económica incluyendo el efecto beneficioso de las subvenciones obtendremos:

Zona	Ciudad	**Rehabilitación 100 mm**

		Retorno inversión	Tiempo recuperación	TIR	VAN
		€ ahorrados / € invertidos	años	%	€
A	Málaga	3.59	14	6.93%	10737
B	Valencia	4.72	11	9.34%	16000
C	Barcelona	5.56	9	11.06%	19886
D	Madrid	7.48	7	14.94%	28773
E	León	9.69	5	19.38%	39053

CONCLUSIONES

La rehabilitación energética de los elementos opacos de un edifico es “atractiva” en todas las zonas climáticas ya que en todas se obtienen reducciones de demanda / consumo de energía y una mejora de las condiciones de confort

Desde un punto de vista económico los escenarios de rehabilitación estudiados presentan un VAN positivo excepto en la zona A, si se toman en consideración las subvenciones existentes el VAN es positivo en todas las zonas climáticas y hacen la inversión todavía más atractiva.

La rehabilitación de los elementos opacos de un edifico es suficiente para acceder a un nivel de las subvenciones elevado.

Las inversiones en hechas en la rehabilitación de elementos opacos de un edificio son “interesantes” desde un punto de vista energético con reducciones de la demanda energética de entre un 51 % a un 49 % y de reducción de la Energía Primaria no renovable con valores entre el 50 % al 55 % en función de la zona climática.

Las inversiones hechas en rehabilitación de los elementos opacos de un edificio proporcionan ahorros económicos promedios desde 42 hasta 1147 € anuales por vivienda.

Cada euro dedicado a la rehabilitación de la envolvente opaca de un edificio permite recuperar desde 0,93 hasta 6,49 € sin considerar el efecto de las subvenciones y entre 6,93 a 19.38 € si consideramos el efecto de las subvenciones.

La inversión en la rehabilitación de los elementos opacos de la envolvente de un edifico se recupera entre 15 a 40 años sin considerar las subvenciones y entre 5 a 14 años si se consideran las subvenciones.

Las subvenciones actualmente disponibles hacen más atractiva la inversión en la rehabilitación energética de los elementos opacos de la envolvente del edificio por lo que debe aprovecharse la oportunidad que representan estas subvenciones.

La mejora de confort es evidente ya que se reduce sensiblemente la sensación de pared fría / caliente gracias al aislamiento aportado por la rehabilitación.

Las consideraciones de viabilidad económica son menos ambiciosas que los criterios de reducción de demanda / consumo o mejora del confort.

MEJORA DEL CONFORT

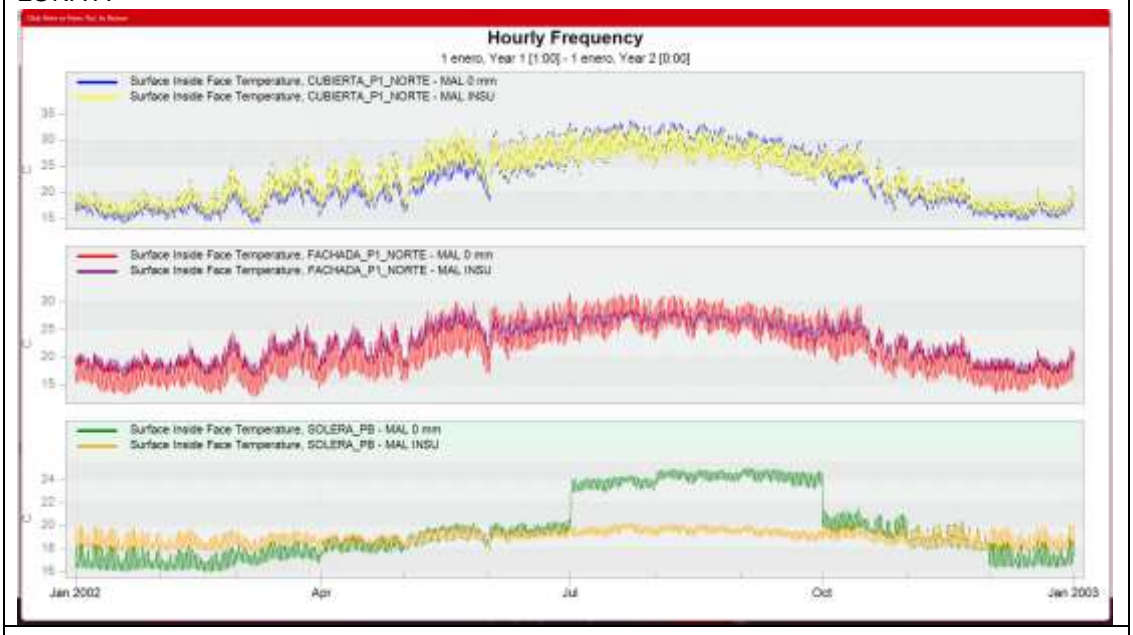
El aislamiento térmico asociado las acciones de rehabilitación no solo es útil desde un punto de vista de reducir las necesidades / consumo de energía o desde un punto de vista económico

en cuanto a la viabilidad de la inversión, sino que también aporta beneficio en cuanto al confort percibido por los usuarios.

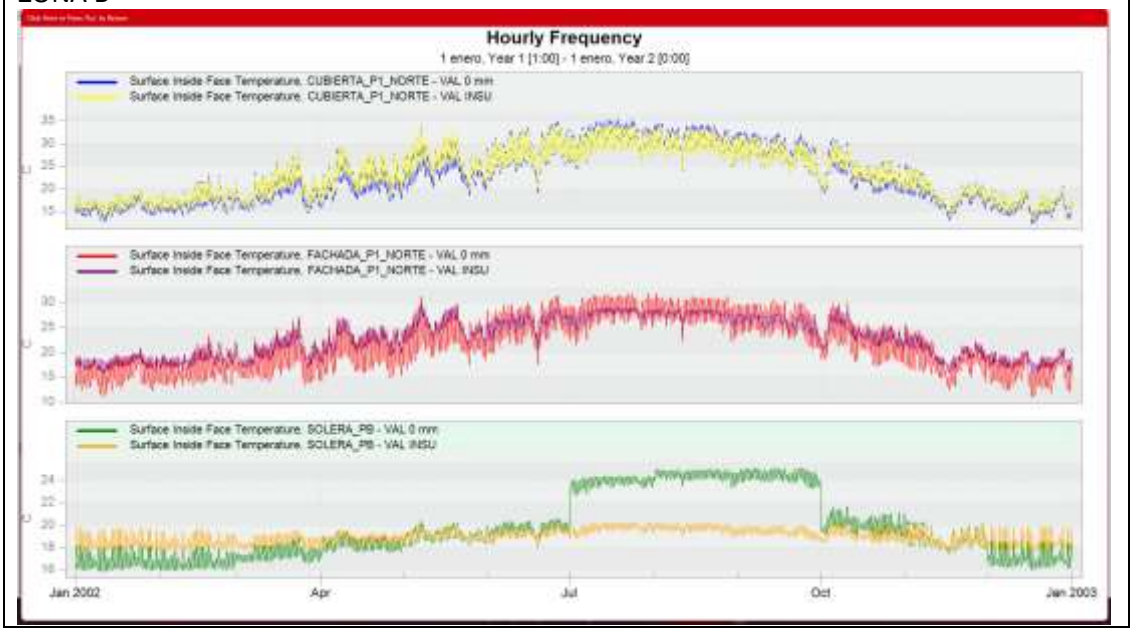
La percepción del confort se debe fundamentalmente a la sensación que provocan las paredes frías en invierno y las calientes en verano.

Para visualizar este efecto se comparan las temperaturas superficiales interiores en tres cerramientos de referencia, en este caso se han elegido la vertiente de la cubierta orientada al Norte, la fachada Norte de la planta superior y el suelo de la primare planta (solera), se ha considerado la evolución horaria en el edificio antes de ser rehabilitado y después de la acción de rehabilitación en cada una de las zonas climáticas consideradas.

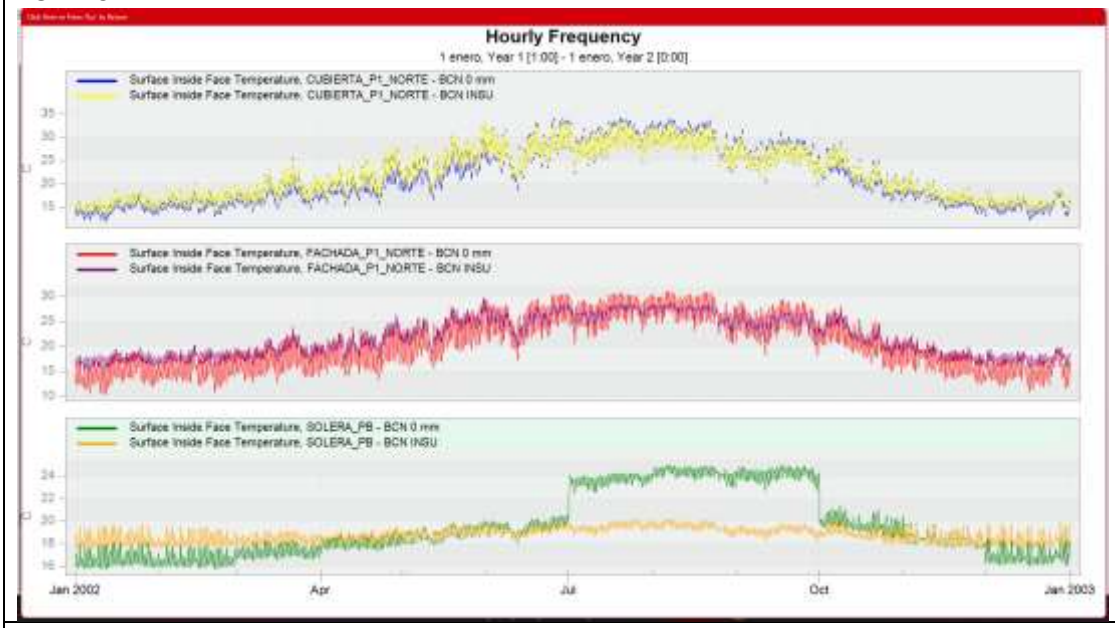
ZONA A



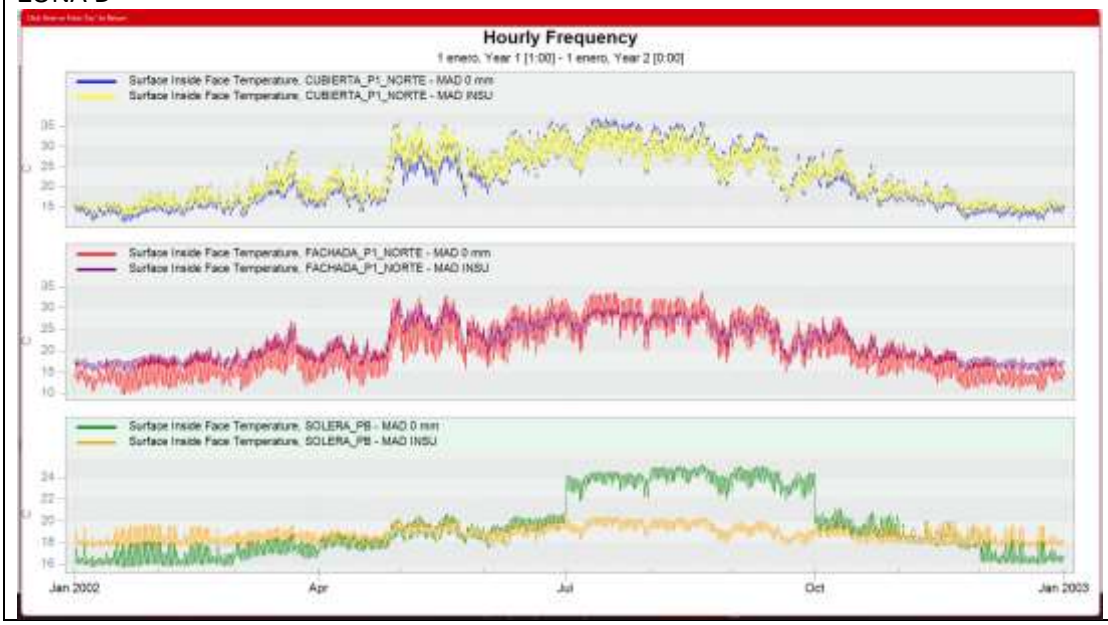
ZONA B



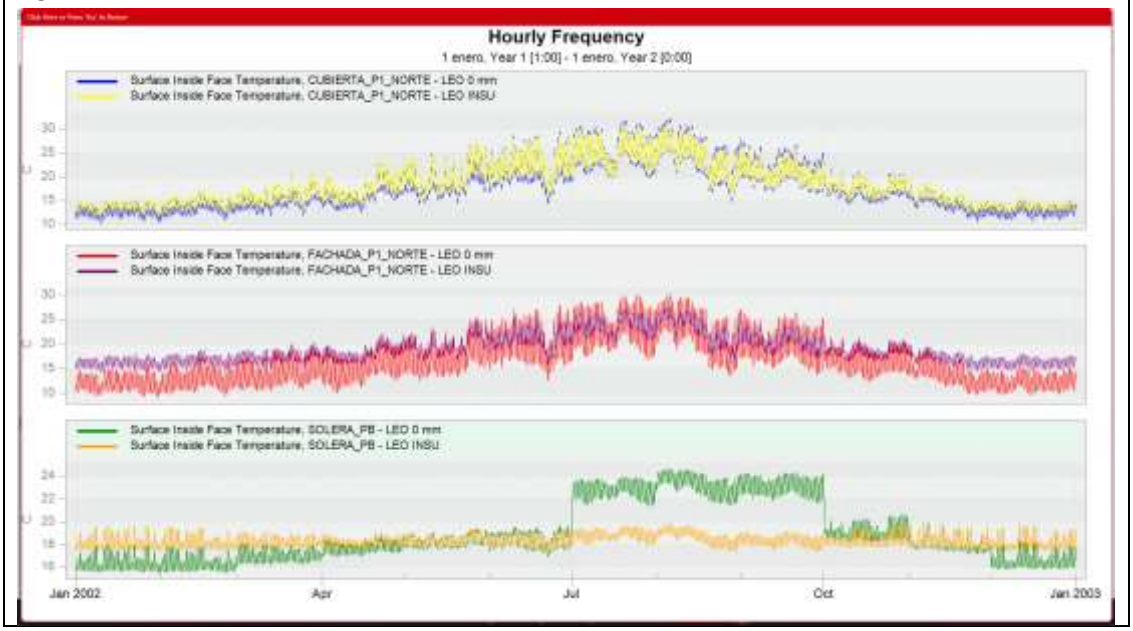
ZONA C


Hourly Frequency
1 enero, Year 1 [1:00] - 1 enero, Year 2 [0:00]
Surface Inside Face Temperature, CUBIERTA_P1_NORTE - BCN 0 mm
Surface Inside Face Temperature, CUBIERTA_P1_NORTE - BCN INSU
Surface Inside Face Temperature, FACHADA_P1_NORTE - BCN 0 mm
Surface Inside Face Temperature, FACHADA_P1_NORTE - BCN INSU
Surface Inside Face Temperature, SOLERA_PB - BCN 0 mm
Surface Inside Face Temperature, SOLERA_PB - BCN INSU
Jan 2002
Apr
Jul
Oct
Jan 2003

ZONA D


Hourly Frequency
1 enero, Year 1 [1:00] - 1 enero, Year 2 [0:00]
Surface Inside Face Temperature, CUBIERTA_P1_NORTE - MAD 0 mm
Surface Inside Face Temperature, CUBIERTA_P1_NORTE - MAD INSU
Surface Inside Face Temperature, FACHADA_P1_NORTE - MAD 0 mm
Surface Inside Face Temperature, FACHADA_P1_NORTE - MAD INSU
Surface Inside Face Temperature, SOLERA_PB - MAD 0 mm
Surface Inside Face Temperature, SOLERA_PB - MAD INSU
Jan 2002
Apr
Jul
Oct
Jan 2003

ZONA E



Sensación de pared fría / calurosa

Para cuantificar la mejora del confort aportada por el aislamiento incluido en la reforma se contabilizarán los grados hora en que la temperatura superficial de los cerramientos de referencia es inferior a la de consigna en calefacción (sensación de pared fría) y el número de horas en que la temperatura superficial de los cerramientos de referencia supera a la temperatura de consigna en refrigeración (sensación de pared cálida).

Grados Hora de sensación de techo frio / caluroso

		GRADOS HORA SENSACION TECHO FRIO / CALUROSO			
Zona	Ciudad referencia	Sin rehabilitar		Rehabilitación 100 mm	
		frio	caluroso	frio	caluroso
A	Málaga	6187	7576	4821	6892
B	Valencia	7180	11166	5836	10222
C	Barcelona	10516	7902	8756	7180
D	Madrid	12898	10550	10908	9670
E	León	23056	1734	19806	1413

Grados Hora de sensación de fachada frio / caluroso

		GRADOS HORA SENSACION FACHADA Fría / Calurosa			
Zona	Ciudad referencia	Sin rehabilitar		Rehabilitación 100 mm	
		frio	caluroso	frio	caluroso
A	Málaga	7881	4404	2008	3124
B	Valencia	8898	6337	2588	4661
C	Barcelona	12423	4489	4060	3092
D	Madrid	15781	6029	5198	4092
E	León	27138	1003	9573	316

Grados Hora de sensación de suelo frio / caluroso

		GRADOS HORA SENSACION SUELO FRIO / CALUROSO			
Zona	Ciudad referencia	Sin rehabilitar		Rehabilitación 100 mm	
		frio	caluroso	frio	caluroso
A	Málaga	6940	0	4018	0
B	Valencia	7173	2	4236	0
C	Barcelona	8032	0	4983	0
D	Madrid	8121	5	4918	0
E	León	9596	0	5861	0

CONSIDERACIONES

No deberían confundirse las inversiones realizadas en aislamiento con las que se realizan para la rehabilitación ya que el coste del aislante representa solo la menor parte del coste total de intervención.

Los resultados obtenidos sirven para evaluar el impacto energético y económico de la acción de rehabilitación mediante sistema TRASDOSADO en las fachadas, el aislamiento de la cubierta y el suelo en contacto con el terreno (rehabilitación URSA) sin incluir los beneficios adicionales que supondría la rehabilitación de los huecos (rehabilitación integral).

La hipótesis anterior representa que la intervención sobre los elementos opacos es la primera acción rehabilitadora considerada y que las demás que puedan existir vendrán a complementar este primer paso.

En otros tipos de edificios los resultados serán ligeramente diferentes.

En otros escenarios de evolución de precios de la energía o de las tasas de interés los resultados económicos serian también diferentes.

La rehabilitación de los elementos opacos tiene también un efecto positivo sobre el aumento de valor patrimonial del inmueble, pero no se ha tenido en cuenta en este estudio.

Los proyectos de rehabilitación deberían abordarse caso por caso por los técnicos especialistas capaces de evaluar en cada ocasión la mejor combinación de técnicas y niveles de rehabilitación.

Josep Sole

Arquitecto Técnico