



Ejemplo de evaluación de indicadores de eficiencia energética con la herramienta VisorEPBD



Título de la publicación

Ejemplo de evaluación de indicadores de eficiencia energética con la herramienta VisorEPBD

Contenido

Este documento ha sido elaborado con la colaboración del Grupo de Energética Edificatoria y Sostenibilidad de la Unidad de Calidad en la Construcción del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja – IETcc-CSIC.

Está permitida la reproducción, parcial o total, del presente documento, siempre que esté destinado al ejercicio profesional de los técnicos del sector. Por el contrario, debe contar con aprobación por escrito cuando esté destinado a fines editoriales en cualquier soporte impreso o electrónico.



Índice

1	Introducción	4
2	El VisorEPBD y la evaluación de la eficiencia energética	5
2.1	La herramienta <i>VisorEPBD</i>	5
2.2	Evaluación de la eficiencia energética con <i>VisorEPBD</i>	5
2.2.1	Datos de entrada	5
2.2.2	Balance de energía final suministrada y exportada	5
2.2.3	Ponderación de la energía suministrada y exportada	6
2.2.4	Agregación y obtención de indicadores	7
3	Ejemplo de evaluación de indicadores de eficiencia energética	8
3.1	Descripción del edificio	8
3.2	Indicadores de características de la envolvente	9
3.2.1	Trasmittancia térmica global (K)	10
3.2.2	Control solar ($q_{sol;jul}$)	13
3.2.3	Necesidades energéticas del edificio	15
3.3	Indicadores de consumo de energía	16
3.3.1	S1. Sistema de caldera colectiva a gas con bomba de calor	17
3.3.2	S2. Sistema de caldera colectiva de biomasa con bomba de calor	20
3.3.3	S3. Sistema de bomba de calor	23
3.4	Cuadros resumen	26
3.4.1	Indicadores de eficiencia energética	26



1. Introducción

Este documento muestra un ejemplo de evaluación de la eficiencia energética de los edificios en base a la propuesta del Documento Básico de Ahorro de energía DB-HE 2018 determinando los valores de indicadores que se proponen en el documento.

Los ejemplos muestran distintas opciones de diseño que no constituyen soluciones óptimas sino meros casos útiles para la introducción de datos de las distintas medidas de mejora de la eficiencia energética y de diversas tecnologías.



2. El VisorEPBD y la evaluación de la eficiencia energética

2.1. La herramienta *VisorEPBD*

Para la evaluación de la eficiencia energética del edificio y el cálculo de indicadores se ha desarrollado la aplicación *VisorEPBD* (<http://www.codigotecnico.org/visorepbd/>). *VisorEPBD* se basa en el procedimiento de evaluación de la eficiencia energética detallado en la norma *EN ISO 52000-1* y permite, a partir de las necesidades de energía final (energía producida y suministrada), obtener diversos indicadores de eficiencia energética (entre ellos, los indicadores de energía primaria) y, entre ellos, los propuestos para la actualización del *CTE DB-HE*¹.

2.2. Evaluación de la eficiencia energética con *VisorEPBD*

2.2.1. Datos de entrada

VisorEPBD se alimenta de entradas externas que consisten en:

- Parámetros generales (factor de exportación, factores de paso, intervalo de cálculo, paso de cálculo);
- Valores de consumo y producción de energía final en cada intervalo de cálculo, por vector energético, obtenidos mediante procedimientos de simulación energético o de mediciones.

Para la evaluación reglamentaria, los **parámetros generales** vendrán fijados por documentos reglamentarios (*CTE DB-HE*, *Certificación energética de edificios*), y las condiciones de simulación o de obtención de los datos de consumo y producción serán obtenidos en las condiciones que fijen dichos documentos.

Siguiendo la propuesta de actualización del *CTE DB-HE*, este documento adopta un **factor de exportación**, k_{exp} , con valor 0,0, un **intervalo de cálculo** mensual y un **paso de cálculo** anual.

Los **factores de paso** oficiales pueden consultarse en el Documento reconocido del RITE **Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España** incluye los factores de paso de energía final a energía primaria y emisiones.

En el contexto del *CTE DB-HE* solamente se consideran los **consumos de energía** procedentes de los siguientes usos (denominados *EPB*): calefacción, refrigeración, ventilación, ACS y, en uso terciario, iluminación, además de la **producción de energía *in situ***.

2.2.2. Balance de energía final suministrada y exportada

A partir de los datos de energía final consumida y producida *in situ* en cada intervalo de cálculo, *VisorEPBD* obtiene el balance de la energía suministrada (por las redes de suministro o el medioambiente) al edificio (energía importada al edificio) y de la energía exportada por el edificio.

El **factor de exportación**, k_{exp} , controla qué fracción de la energía exportada se tiene en cuenta en la evaluación de la eficiencia energética.

¹En estos momentos, la aplicación permite el uso de parámetros con valores distintos a los propuestos para los cálculos reglamentarios, aunque limita el uso de factores de paso a los oficialmente definidos en el correspondiente Documento de apoyo del RITE.



Energía final suministrada y exportada (por vector energético y considerando cada intervalo de cálculo)

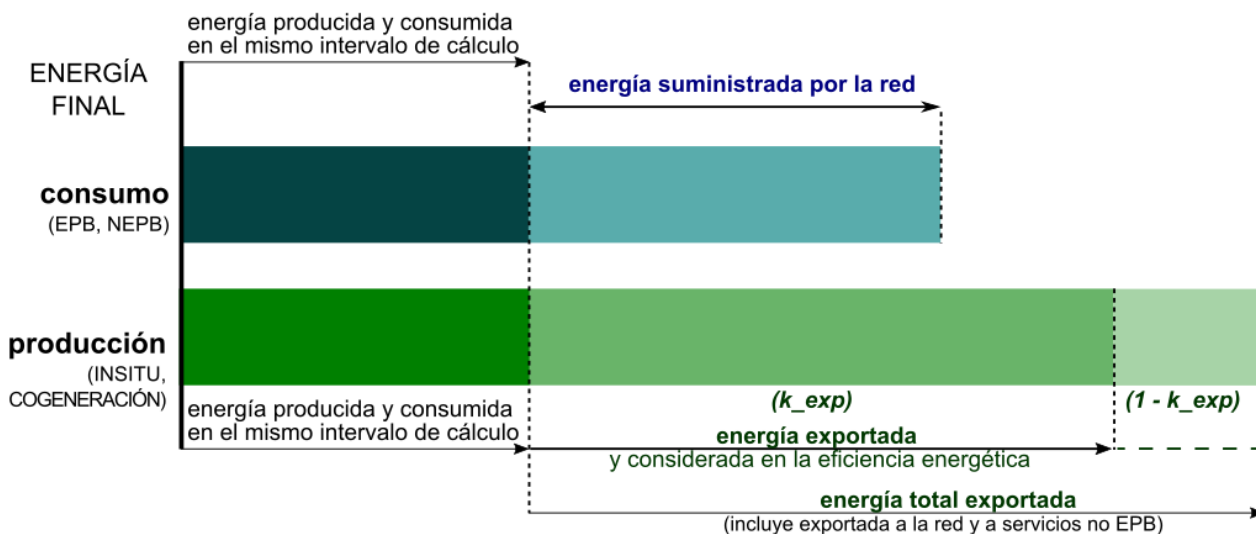


Figura 1: Esquema del balance energético de energía suministrada y consumida a partir de la energía consumida y producida *in situ*.

2.2.3. Ponderación de la energía suministrada y exportada

En esta etapa *VisorEPBD* convierte, mediante la ponderación con *factores de paso*², la energía final a **energía primaria**, emisiones, costes, etc, para cada intervalo de cálculo.

La energía exportada se pondera de dos modos, uno que tiene en cuenta los recursos utilizados para generarla (**paso A**) y otro que incluye también el impacto de la exportación de dicha energía, como recursos evitados a la red (**paso B**)³.

En la consideración del *paso B* interviene el mencionado *factor de exportación*, k_{exp} , que determina la fracción de la energía exportada que se tiene en cuenta para evaluar el impacto en la red.

Balance anual + indicadores de eficiencia energética (energía ponderada)

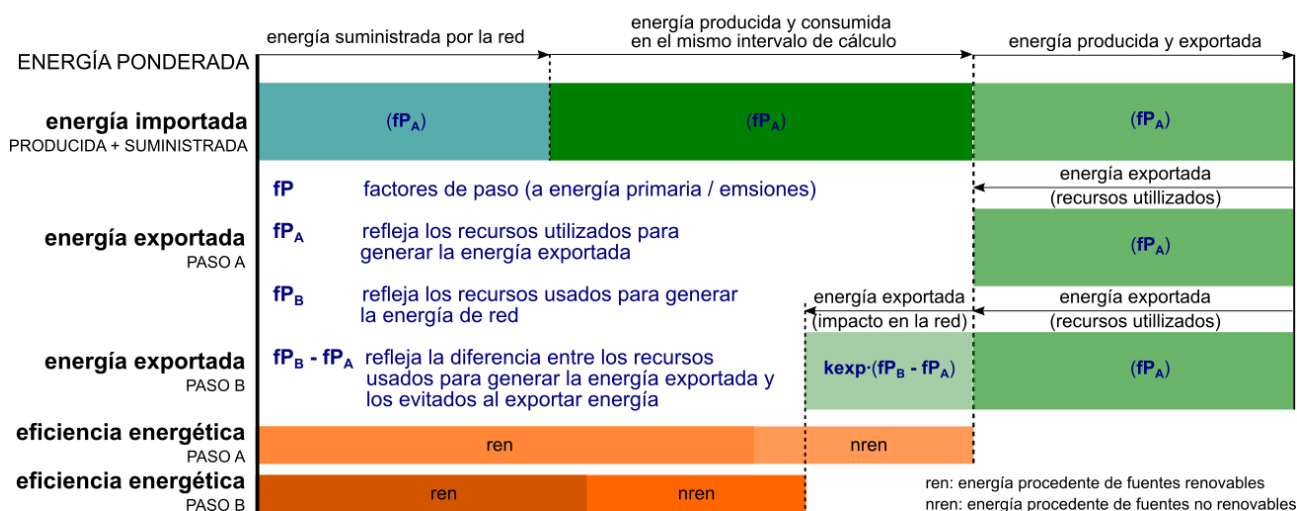


Figura 2: Esquema del balance global y cálculo de la eficiencia energética.

²En el contexto reglamentario del *CTE DB-HE* la ponderación utilizada está orientada a la obtención de **energía primaria** y, en la Certificación energética, también de las **emisiones de CO₂e**.

³En el caso en el que el factor de exportación, k_{exp} , sea igual a cero, como así ocurre en este documento, los valores obtenidos en los pasos A y B coinciden.



2.2.4. Agregación y obtención de indicadores

La **eficiencia energética** se define como la **diferencia entre la energía importada y la exportada por el sistema**, realizando el *VisorEPBD* este balance teniendo en cuenta los dos pasos anteriores, el paso A, considerando en la eficiencia energética los recursos empleados, y el paso B, teniendo en cuenta también el impacto de la energía exportada en la red.

Los indicadores de eficiencia energética (como el consumo de energía primaria, $C_{ep,tot}$) pueden, a su vez, descomponerse en la fracción procedente de fuentes renovables ($C_{ep,ren}$) y la procedente de fuentes no renovables ($C_{ep,nren}$).

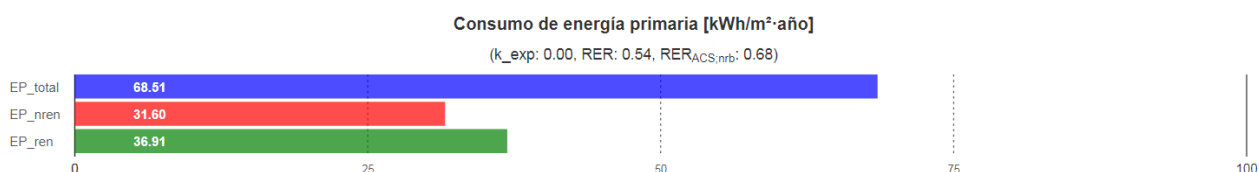


Figura 3: Gráfica en *VisorEPBD* del indicador de consumo de energía primaria total (paso A) y descomposición en sus partes, renovable y no renovable.

El ejemplo que se desarrolla a continuación se ha realizado bajo la premisa de considerar $k_{exp}=0$ tal y como establece la propuesta del DB-HE 2018.

3. Ejemplo de evaluación de indicadores de eficiencia energética

Para el desarrollo de este ejemplo se hará uso tanto de la versión de la Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC) adaptada a los nuevos indicadores que establece la propuesta del DB-HE 2018 (lleva ya por tanto incorporada la aplicación *VisorEPBD*) y la propuesta de actualización del DA DB-HE/1⁴.

3.1. Descripción del edificio

El modelo de estudio se muestra en la [Figura 4](#). Es un bloque de viviendas entre medianeras de 4 alturas (Baja + 3), con una distribución de 4 viviendas por planta (aprox. 90 m² por vivienda) y un núcleo central de comunicaciones.

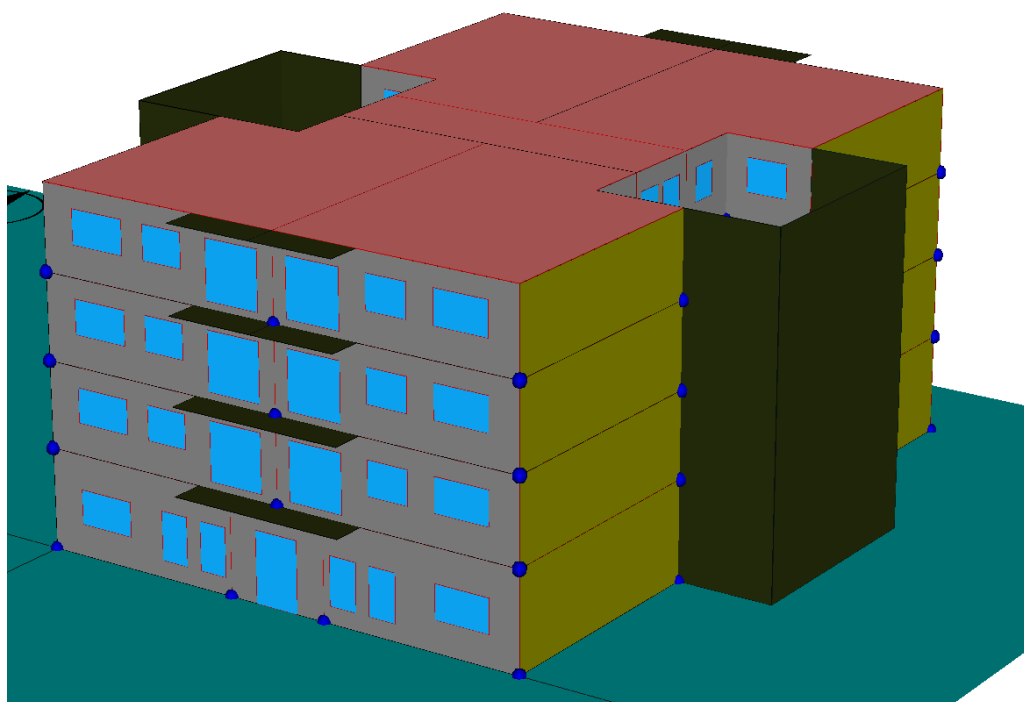


Figura 4: Bloque residencial 4 alturas

Los principales parámetros térmicos que caracterizan la envolvente y los sistemas del edificio en su situación base (empleando cerramientos tipo acordes al DB-HE 2018) se muestran en la [Tabla 1](#), [Tabla 2](#) y [Tabla 3](#).

Tabla 1: Características generales del caso de estudio

Parámetro	Valor
Zona climática	D3
Superficie acondicionada total (<i>A</i>)	1674 m ²
Volumen de la envolvente térmica (<i>V</i>)	4263 m ³
Superficie de la envolvente térmica (<i>A_{env}</i>)	1455 m ²
Compacidad (<i>V/A_{env}</i>)	2,93 m ³ /m ²
Demanda ACS (<i>D_{ACS}</i>)	100,8 l/viv · día
Ventilación (<i>q_{ven}</i>)	0,45 ren/h

⁴La herramienta **EnvolventeCTE**, desarrollada por el Grupo de energía edificatoria y sostenibilidad de la Unidad de Calidad en la Construcción del Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción (IETcc-CSIC), facilita igualmente el cálculo de los parámetros necesarios para el cálculo de los indicadores de calidad de la envolvente de este documento.



Tabla 2: Características de la envolvente térmica del edificio

Elemento	DB-HE 2018		
	$U [W/m^2 K]$	$e [cm XPS]$	$A [m^2]$
Cubierta, U_C	0,27	10 cm	418,0
Fachada, U_M	0,33	8 cm	618,0
Solera, U_T	0,46	6 cm	418,0
Hueco, U_H	1,54	H2	197,5
- marco, U_F ($F_F = 0,25$)	1,3	RPT	
- vidrio, U_g ($g_{\perp} = 0,7$)	1,6	BE 4/20/6	
Encuentro (PT)	$\psi [W/mK]$	$L [m]$	
PT forjado-fachada, $\psi_{forj-fach}$	0,10	195,8	
PT cubierta-fachada, $\psi_{cub-fach}$	0,24	111,5	
PT solera-fachada, $\psi_{sol-fach}$	0,28	50,6	
PT contorno huecos, ψ_{huecos}	0,05	535,5	
PT pilar, ψ_{pil}	1,20	1,0	
PT esquina-concava, ψ_{esq}	-0,16	50,0	

Tabla 3: Características de la instalación de iluminación del edificio base

Indicador	Valor
VEEI [$W/m^2 \cdot 100lx$]	0,73
P_{tot} Iluminación instalada [W]	3682,67

NOTA: El servicio de iluminación no se incluye en los indicadores de eficiencia energética de edificios de uso residencial.

3.2. Indicadores de características de la envolvente

La siguiente [Tabla 4](#) muestra el resultado de los indicadores de características de la envolvente así como los límites reglamentarios establecidos para la zona climática D, la compacidad del edificio y su grado de cumplimiento.

Tabla 4: Indicadores de características de la envolvente

	Valor del indicador	Valor reglamentario
$K [W/m^2 K]$	0,54	0,59
$Q_{sol,jul}/A_{util} [kWh/m^2/mes]$	0,43	2,00



3.2.1. Transmitancia térmica global (K)

En la [Tabla 5](#) se desglosa el cálculo de la Transmitancia térmica global (K) del edificio de ejemplo:

Tabla 5: Calidad de la envolvente térmica - Transmitancia térmica global (K)

Elemento	U [W/m^2K]	A [m^2]	$b_{tr,x}$	$b_{tr,x} \cdot U \cdot A$ [W/K]
Cubierta, U_C	0,27	418,0	1,0	112,86
Fachada, U_M	0,33	618,0	1,0	203,94
Solera, U_T	0,46	418,0	1,0	192,28
Hueco, U_H	1,54	197,5	1,0	304,15
Medianeras, U_A	—	—	0,0	—
Part. interiores, U_U	—	—	0,0	—
SUBTOTAL (1)		1652,68(a)		813,65
Encuentro (PT)	ψ [W/mK]	L [m]	$b_{tr,x}$	$b_{tr,x} \cdot \psi \cdot L$ [W/K]
PT forjado-fachada, $\psi_{forj-fach}$	0,10	195,8	1,0	19,58
PT solera-fachada, $\psi_{sol-fach}$	0,28	50,6	1,0	14,17
PT cubierta-fachada, $\psi_{cub-fach}$	0,24	111,5	1,0	26,76
PT contorno huecos, ψ_{huecos}	0,05	535,5	1,0	26,77
PT pilar, ψ_{pil}	1,20	1,0	1,0	1,20
PT esquina-concava, ψ_{esq}	-0,16	50,0	1,0	-8,00
SUBTOTAL (2)				80,49
TOTAL				894,14(1 + 2)
$K = \sum_x b_{tr,x} [\sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \psi_k] / \sum A_i$ [W/m^2K]				0,54((1 + 2)/a)

Este mismo cálculo de la Transmitancia térmica global (K) se puede realizar mediante la herramienta *EnvolventeCTE* tal y como se muestra a continuación:

Envolvente CTE Envolvente Clima Elementos Zona Climática D3 Ayuda Créditos

$K = 0.54 \text{ W/m}^2\text{K}$ $q_{sol,juj} = 0.43 \text{ kWh/m}^2\text{/mes}$ $A_{unil} = 1673.92 \text{ m}^2$

Transmitancia térmica global
 Transmisión de calor a través de la envolvente térmica (huecos, opacos y puentes térmicos)
 $H_{tr,adj} \approx \sum_x b_{tr,x} \cdot [\sum_i A_{x,i} \cdot U_{x,i} (\text{huecos} + \text{opacos}) + \sum_k l_{x,k} \cdot \psi_{x,k} (\text{PTs})] = 304.15 \text{ W/K} (\text{huecos}) + 509.50 \text{ W/K} (\text{opacos}) + 80.49 \text{ W/K} (\text{PTs}) = 894.14 \text{ W/K}$
 Superficie de intercambio de la envolvente térmica
 $\sum A = \sum b_{tr,x} \cdot A_x = 197.50 \text{ m}^2 (\text{huecos}) + 1455.18 \text{ m}^2 (\text{opacos}) = 1652.68 \text{ m}^2$
 Valor del indicador:
 $K = H_{tr,adj} / \sum A = 894.14 / 1652.68 = 0.54 \text{ W/m}^2\text{K}$

Figura 5: Cálculo de K a través de *EnvolventeCTE*. Resumen del cálculo global



Envolvente CTE | **Envolvente** | Clima | Elementos | Zona Climática D3 | Ayuda | Créditos

$K = 0.54 \text{ W/m}^2\text{K}$ $q_{\text{sol}} = 0.43 \text{ kWh/m}^2\text{/mes}$ $A_{\text{util}} = 1673.92 \text{ m}^2$

Huecos | **Opacos** | Puentes Térmicos | Carga / descarga de datos

Huecos de la envolvente térmica

Orientación	$A_{w,p}$ (m ²)	U (W/m ² K)	F _F (-)	$g_{gl;sh;wl}$ (-)	F _{sh;obst} (-)	Descripción
S	1.70	1.540	0.20	0.08	0.72	P01_E01_PE001_V
S	2.40	1.540	0.20	0.08	0.73	P01_E01_PE001_V_1
S	1.70	1.540	0.20	0.08	0.67	P01_E01_PE001_V_2
N	1.80	1.540	0.20	0.08	0.73	P01_E01_PE003_V
E	1.20	1.540	0.20	0.08	0.40	P01_E01_PE004_V
E	1.20	1.540	0.20	0.08	0.43	P01_E02_PE006_V
E	1.20	1.540	0.20	0.08	0.47	P01_E02_PE006_V_1
W	1.68	1.540	0.20	0.08	0.39	P01_E03_PE001_V
N	1.80	1.540	0.20	0.08	0.75	P01_E03_PE002_V
S	2.40	1.540	0.20	0.08	0.73	P01_E03_PE004_V

Figura 6: Cálculo de K a través de *EnvolventeCTE*. Cálculo de huecos

Envolvente CTE | **Envolvente** | Clima | Elementos | Zona Climática D3 | Ayuda | Créditos

$K = 0.54 \text{ W/m}^2\text{K}$ $q_{\text{sol}} = 0.43 \text{ kWh/m}^2\text{/mes}$ $A_{\text{util}} = 1673.92 \text{ m}^2$

Huecos | **Opacos** | Puentes Térmicos | Carga / descarga de datos

Elementos opacos de la envolvente térmica

A (m ²)	U (W/m ² K)	$b_{tr,x}$	Descripción
19.96	0.330	1.0	P01_E01_PE001
9.57	0.330	1.0	P01_E01_PE003
7.03	0.330	1.0	P01_E01_PE004
76.31	0.460	1.0	P01_E01_FTER001
10.57	0.330	1.0	P01_E02_PE005
8.17	0.330	1.0	P01_E02_PE006
35.18	0.460	1.0	P01_E02_FTER002
6.54	0.330	1.0	P01_E03_PE001
9.57	0.330	1.0	P01_E03_PE002
19.47	0.330	1.0	P01_E03_PE004
74.45	0.460	1.0	P01_E03_FTER003
8.74	0.330	1.0	P01_E04_PE001

Figura 7: Cálculo de K a través de *EnvolventeCTE*. Cálculo de opacos



Envolvente CTE | Envolvente | Clima | Elementos | Zona Climática D3 | Ayuda | Créditos

$K = 0.54 \text{ W/m}^2\text{K}$ $q_{sol;jul} = 0.43 \text{ kWh/m}^2/\text{mes}$ $A_{util} = 1673.92 \text{ m}^2$

Huecos | Opacos | Puentes Térmicos | Carga / descarga de datos

Puentes térmicos de la envolvente térmica

Longitud (m)	ψ (W/mK)	Descripción
195.78	0.10	FRENTE_FORJADO
111.51	0.24	UNION_CUBIERTA
50.00	-0.16	ESQUINA_CONCAVA_CERRAMIENTO
1.00	1.20	PILAR
50.63	0.28	UNION_SOLERA_PAREDEXT
535.50	0.05	HUECO_VENTANA

$\Sigma L = 944.42 \text{ m}$ $\Sigma \psi = 80.49 \text{ W/K}$

Donde:

- Longitud: longitud del puente térmico (m)
- ψ : transmitancia térmica lineal del puente térmico (W/mK)

NOTA: Para los puentes térmicos definidos en la tabla se considera, a efectos del cálculo de K, un factor de ajuste $b_{p,x} = 1.0$, de modo que solo deben incluirse aquellos pertenecientes a elementos con un factor de ajuste no nulo.

Figura 8: Cálculo de K a través de *EnvolventeCTE*. Cálculo de puentes térmicos

Así mismo la HULC ofrece los resultados de estos indicadores en la pantalla de verificación del HE1 una vez que se ha definido geométrica y constructivamente el edificio:

Verificación Requisitos Mínimos CTE-HE-2018

Calidad de la envolvente térmica | Demanda

Transmitancia térmica global, K ($\text{W/m}^2\text{K}$)	0.54	Valores límite	0.60	CUMPLE
Control solar, $Q_{sol;jul}/A_{util}$ ($\text{kWh/m}^2/\text{mes}$)	0.43		2.00	CUMPLE
Superficie útil de los espacios, A_{util} (m^2)	1673.92			
Superficie de cerramientos opacos, A_{opacos} (m^2)	1455.18			
Superficie de huecos, A_{huecos} (m^2)	197.50			
Longitud de puentes térmicos, L_{pt} (m)	944.42			

Detalle por componentes:

Huecos | Opacos | Puentes Térmicos | Espacios

Núm.	Nombre	Área	U	Orientaci	%	$g_{gl};w_i$	$g_{gl};sh$	$F_{sh};j_{ob}$	Ganancia
1	P01_E01_PE001_V	1.70	1.54	S	20.00	0.70	0.08	0.72	4.07
2	P01_E01_PE001_V	2.40	1.54	S	20.00	0.70	0.08	0.73	4.14
3	P01_E01_PE001_V	1.70	1.54	S	20.00	0.70	0.08	0.67	3.79
4	P01_E01_PE003_V	1.80	1.54	N	20.00	0.70	0.08	0.73	2.86
5	P01_E01_PE004_V	1.20	1.54	E	20.00	0.70	0.08	0.40	3.00
6	P01_E02_PE006_V	1.20	1.54	E	20.00	0.70	0.08	0.43	3.19
7	P01_E02_PE006_V	1.20	1.54	E	20.00	0.70	0.08	0.47	3.54
8	P01_E03_PE001_V	1.68	1.54	O	20.00	0.70	0.08	0.39	2.99
9	P01_E03_PE002_V	1.80	1.54	N	20.00	0.70	0.08	0.75	2.91
10	P01_E03_PE004_V	2.40	1.54	S	20.00	0.70	0.08	0.73	4.14
11	P01_E03_PE004_V	1.70	1.54	S	20.00	0.70	0.08	0.73	4.14
12	P01_E03_PE004_V	1.70	1.54	S	20.00	0.70	0.08	0.69	3.93

Actualizar

Figura 9: Cálculo de K y $q_{sol;jul}$ a partir de la HULC



3.2.2. Control solar ($q_{sol;jul}$)

En la [Tabla 6](#) se calcula el indicador de *Control Solar* del edificio empleando los valores de irradiación del mes de julio, los factores reductores por obstáculos remotos y por protecciones móviles de cada hueco⁵.

$$ControlSolar = Q_{sol;jul}/A_{util}$$

$$Q_{sol;jul} = \sum_k F_{sh,obst} \cdot g_{gl;sh;wi} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{w,p} \cdot H_{sol;jul}$$

Tabla 6: Calidad de la envolvente térmica - Control Solar

Elemento	$F_{sh,obst}$	$g_{gl;sh;wi}$	F_F	$A_{w,p}$ [m ²]	$H_{sol;jul}$ [kWh/m ² /mes]	$Q_{sol;jul;wi}$ [kWh/mes]
N	0,83	0,08	0,20	80,80	58,91	252,84
E	0,56	0,08	0,20	19,20	124,81	85,88
S	0,66	0,08	0,20	79,80	89,15	300,50
O	0,56	0,08	0,20	17,70	125,24	79,44
SUBTOTAL				197,50		718,66
A_{util}						1674,00
$Q_{sol;jul}$						0,43

NOTAS:

$F_{sh,obst}$: Se consideran solo las sombras del retranqueo de huecos para el cálculo simplificado de esta tabla.

$g_{gl;sh;wi}$: Transmitancia total de energía solar para un vidrio doble bajo emisivo con persiana exterior oscura.

F_F : 20% marco.

$H_{sol;jul}$: Irradiación solar media acumulada del mes de julio, obtenida a partir de la tabla 19 del borrador actualizado del DA DB HE/1 *Cálculo de parámetros característicos de la envolvente*.

El cálculo de los valores característicos del vidrio y el elemento de sombreado utilizado pueden obtenerse en la tabla 12 del borrador del DA DB-HE/1 o mediante la herramienta [EnvolventeCTE](#), así como realizar el cálculo completo del valor del *Control Solar*.

⁵Estos valores de irradiación por orientación y clima, así como los factores reductores por sombras remotas y por protecciones móviles pueden calcularse a través de programas de simulación energética pero están disponibles, para facilitar estos cálculos, de forma tabulada en el DA DB-HE/1 de Parámetros característicos de la envolvente térmica. La [Tabla 6](#) se ha realizado de forma simplificada a partir de los mismos



Envolvente CTE Envlovente Clima Elementos Zona Climática D3 Ayuda Créditos

Huecos

Tipo de vidrio: Vidrio doble bajoemisorio

Dispositivo de protección solar móvil: Exterior

Opacidad del dispositivo de sombra móvil: Opaco $\tau_{e,B}$: 0.01

Color del dispositivo de sombra móvil: oscuro $\rho_{e,B}$: 0.31

Propiedades del acristalamiento (vidrio doble bajoemisorio, sombreado exterior)

Transmitancia térmica del vidrio, $U_{g1} = 1.60$

Factor de transmitancia de energía solar del vidrio a incidencia normal, $g_{g1;n} = 0.67$

Factor de dispersión del vidrio, $F_w = 0.90$

Factor de transmitancia de energía solar del vidrio, **sin** las sombras solares móviles en uso normal, $g_{g1;wi} = F_w \cdot g_{g1;n} = 0.60$

Factor de transmitancia de energía solar del vidrio, **con** las sombras solares móviles en uso normal, $g_{g1;sh;wi} = 0.08$

Factor de transmitancia solar del dispositivo de sombra móvil, $\tau_{e,B}$: 0.00

Factor de reflexión solar del dispositivo de sombra móvil, $\rho_{e,B}$: 0.30

Figura 10: Cálculo de $g_{g1;sh;wi}$ a través de *EnvolventeCTE*.

Envolvente CTE Envlovente Clima Elementos Zona Climática D3 Ayuda Créditos

$K = 0.54 \text{ W/m}^2\text{K}$ $q_{sol;jul} = 0.43 \text{ kWh/m}^2\text{mes}$ $A_{util} = 1673.92 \text{ m}^2$

Huecos Opacos Puentes Térmicos Carga / descarga de datos

Huecos de la envolvente térmica

Orientación	$A_{w,p}$ (m ²)	U (W/m ² K)	F_F (-)	$g_{g1;sh;wi}$ (-)	$F_{sh;obst}$ (-)	Descripción
S	1.70	1.540	0.20	0.08	0.72	P01_E01_PE001_V
S	2.40	1.540	0.20	0.08	0.73	P01_E01_PE001_V_1
S	1.70	1.540	0.20	0.08	0.67	P01_E01_PE001_V_2
N	1.80	1.540	0.20	0.08	0.73	P01_E01_PE003_V
E	1.20	1.540	0.20	0.08	0.40	P01_E01_PE004_V
E	1.20	1.540	0.20	0.08	0.43	P01_E02_PE006_V
E	1.20	1.540	0.20	0.08	0.47	P01_E02_PE006_V_1
W	1.68	1.540	0.20	0.08	0.39	P01_E03_PE001_V
N	1.80	1.540	0.20	0.08	0.75	P01_E03_PE002_V
S	2.40	1.540	0.20	0.08	0.73	P01_E03_PE004_V

Figura 11: Cálculo de $q_{sol;jul}$ a través de *EnvolventeCTE*

Control solar

Ganancias solares en el mes de julio con los dispositivos de sombra activados

$Q_{sol;jul} = \sum (F_{sh;obst} \cdot g_{g1;sh;wi} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{w,p} \cdot H_{sol;jul}) = 715.71 \text{ kWh/mes}$

Superficie útil

$A_{util} = 1673.92 \text{ m}^2$

Valor del indicador:

$q_{sol;jul} = Q_{sol;jul} / A_{util} = 715.71 / 1673.92 = 0.43 \text{ kWh/m}^2\text{mes}$

Figura 12: Cálculo general de $q_{sol;jul}$ a través de *EnvolventeCTE*



3.2.3. Necesidades energéticas del edificio

Una vez definido geométrica y constructivamente el edificio podemos evaluar las necesidades energéticas del mismo. Aunque estas no sean un indicador reglamentario en el nuevo DB-HE 2018 nos permite identificar cuales son los puntos en los que es necesario enfocar las posibles medidas de mejora y tener una idea por tanto de lo ajustado o correcto del diseño (de lo *pasivo* que puede ser nuestro edificio).

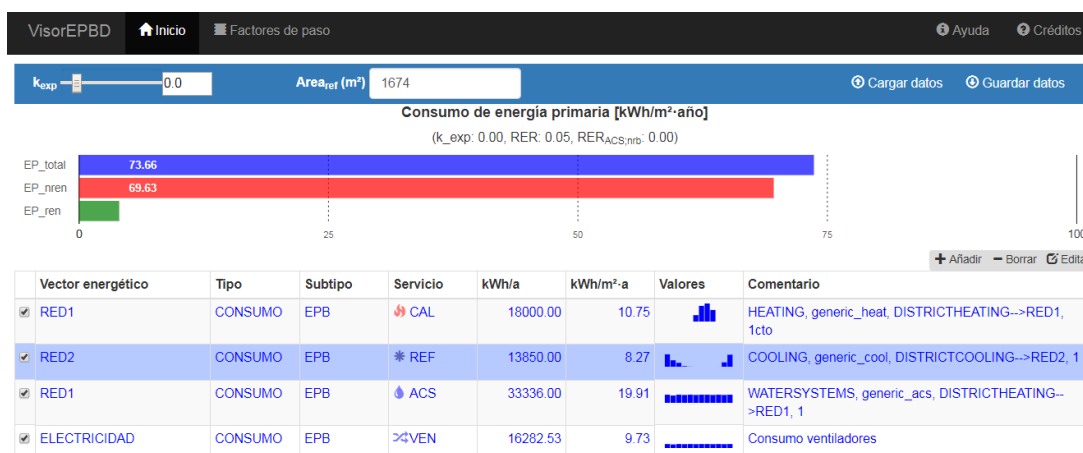


Figura 13: Necesidades energéticas del edificio visualizadas desde *VisorEPBD*



Figura 14: Necesidades energéticas del edificio visualizadas desde *HULC*



3.3. Indicadores de consumo de energía

Una vez constatado el cumplimiento de las condiciones de la envolvente térmica para el control de la demanda energética se procede al cálculo de los indicadores reglamentarios de consumo de energía del edificio.

Se plantean diferentes sistemas de abastecimiento de las necesidades de climatización y ACS, la incorporación de diferentes producciones de energía in situ así como la implementación de recuperadores de calor como medida de mejora de la ventilación:

Tabla 7: Sistemas de acondicionamiento

	Calefacción			Refrigeración			ACS		
	Sistema	η_{gen}	η_{d+e+c}	Sistema	η_{gen}	η_{d+e+c}	Sistema	η_{gen}	η_{d+e+c}
S1	Caldera indiv. gas	0,95	0,95	BdC aire-aire	2,50	0,95	Caldera gas	0,85	0,88
S2	Caldera centr. biom.	0,72	0,90	BdC aire-aire	2,50	0,95	Caldera biom.	0,72	0,84
S3	BdC aire-aire	3,00	0,95	BdC aire-aire	2,50	0,95	BdC aire-agua	3,00	0,88

Tabla 8: Medidas de mejora - producción de energía in situ

	Descripción	Energía producida
PV	Paneles solares fotovoltaicos, $80m^2$ (5 kWp)	12800 kWh/an
PT	Paneles solares térmicos	Cobertura ACS $\geq 50\%$

Tabla 9: Medidas de mejora - ventilación

	Tecnología	Parámetros
V1	Doble flujo + recup. calor	$\eta = 0,70 \rightarrow q_{eq} = 0,135$ [ren/h]

Dada la zona climática donde se sitúa el edificio (D3), los valores límites de los indicadores de consumo de energía primaria no renovable $C_{ep,nren,lim}$ y consumo de energía primaria total $C_{ep,tot,lim}$ son los que se desglosan en la siguiente tabla:

Tabla 10: Valores límite de los consumos de energía primaria

Indicador	Valor límite
$C_{ep,nren,lim}$	38 kWh/m ² a
$C_{ep,tot,lim}$	76 kWh/m ² a

3.3.1. S1. Sistema de caldera colectiva a gas con bomba de calor

En la [Figura 15](#) vemos los resultados de los indicadores aplicando al edificio una caldera mixta de gas para calefacción y ACS y bomba de calor para refrigeración. Puede apreciarse que no se cumple con los valores límite reglamentarios de $C_{ep,nren,lim}$ ni con la aportación mínima de renovables de ACS.

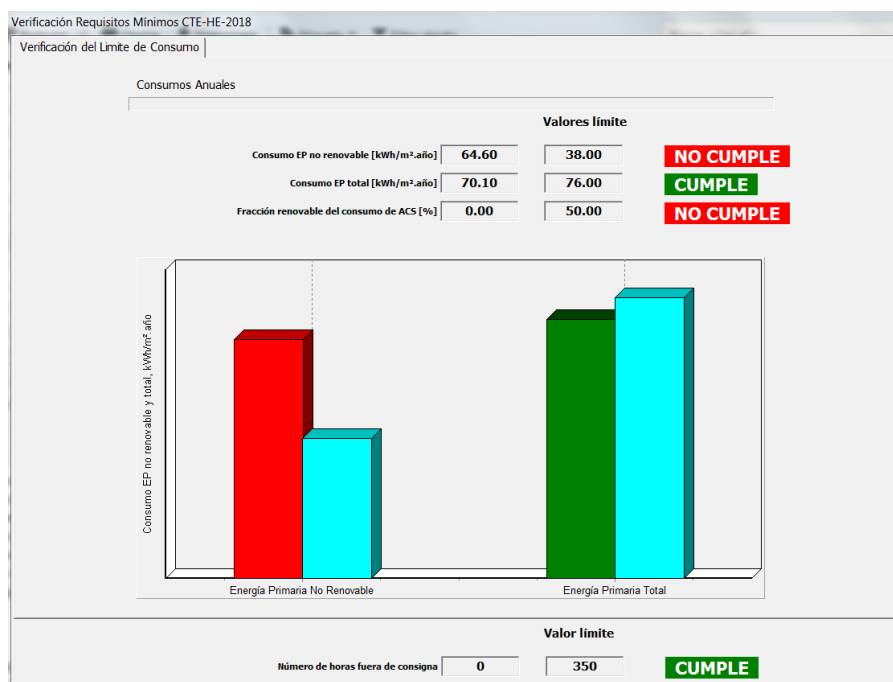


Figura 15: Indicadores para S1

Sobre este caso base puede apreciarse en las siguientes figuras [Figura 16](#) y [Figura 17](#) cómo afecta la incorporación de un recuperador de calor como medida de mejora.



Figura 16: Necesidades energéticas para el edificio con recuperador de calor

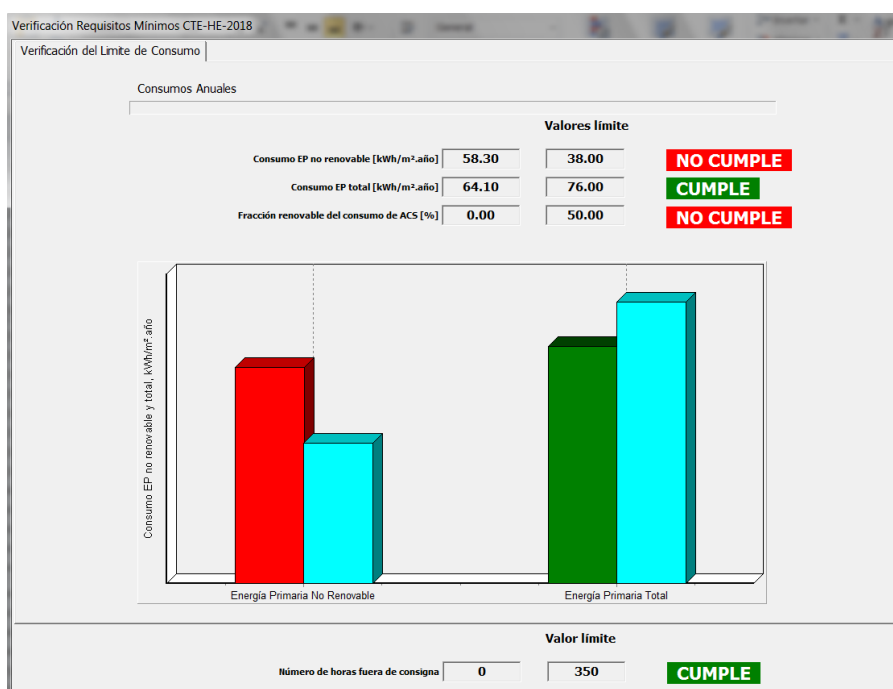


Figura 17: Indicadores para S1 con recuperador de calor

Como puede observarse la incorporación de un recuperador de calor produce una reducción de ambos niveles de consumo de energía primaria puesto que disminuyen las demandas y por tanto los consumos de calefacción y refrigeración pese al aumento de consumo que suponen los nuevos ventiladores del recuperador de calor. No obstante todavía no se llega al cumplimiento en el indicador de $C_{ep,ren}$, ni lógicamente al de aportación mínima renovable de ACS.



Tabla 11: Indicadores de consumo de energía primaria para el edificio con S1 sin y con recuperador de calor

Indicador	Sin recuperador de calor	Con recuperador de calor	Valor límite
$C_{ep,nren}$ [$kWh/m^2 a$]	64,60	58,30	38
$C_{ep,tot}$ [$kWh/m^2 a$]	70,10	64,10	76

A partir del sistema S1 sin recuperador de calor implementamos progresivamente de las medidas de mejora que suponen la incorporación de paneles solares térmicos (PST) y paneles fotovoltaicos (PV) como producción de energía in situ. Puede apreciarse como en la [Figura 18](#) (solo con paneles solares térmicos) aún no se llega al cumplimiento de todos los indicadores mientras que en la [Figura 19](#) ya se alcanza el cumplimiento total.

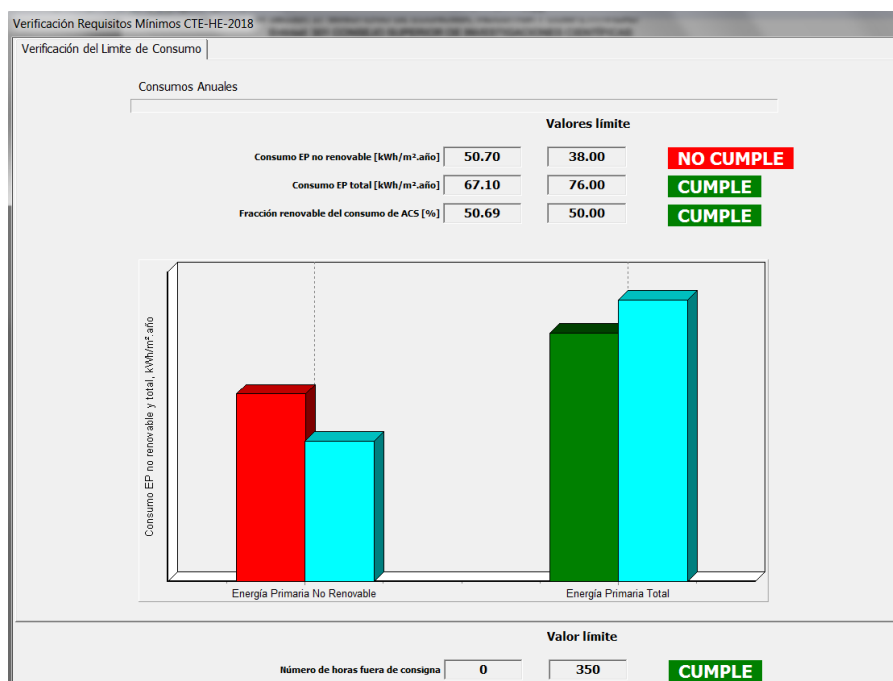


Figura 18: Indicadores para S1 con PST

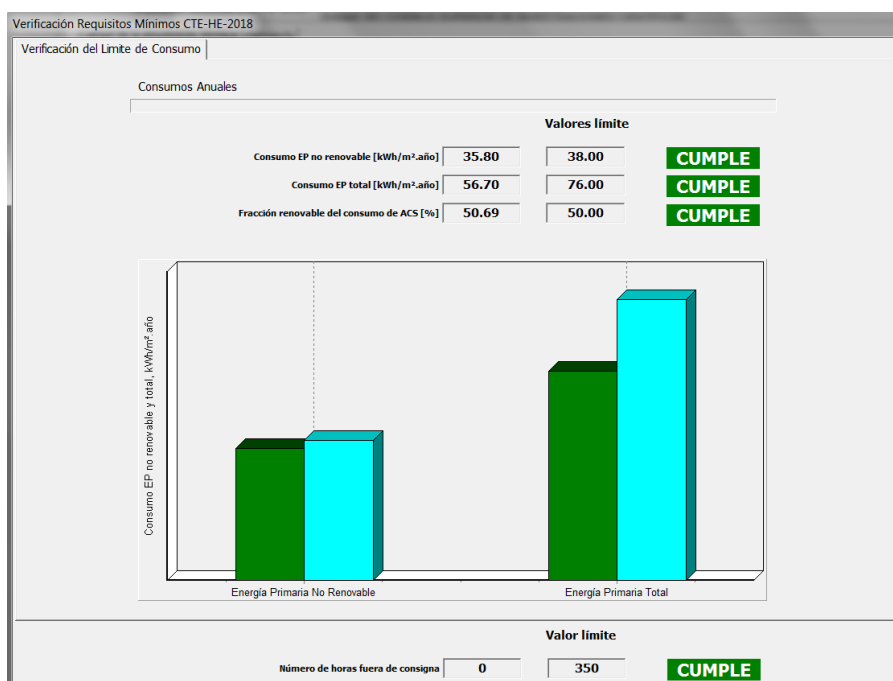


Figura 19: Indicadores para S1 con PST y PV

3.3.2. S2. Sistema de caldera colectiva de biomasa con bomba de calor

En la [Figura 20](#) vemos los resultados de los indicadores aplicando al edificio base el sistema S2 (caldera de biomasa + Bdc). Puede apreciarse la aportación energética de renovable que implica ya de por sí la caldera de biomasa permite cumplir directamente con el límite de aportación renovable para ACS superior al 50 % así como con el límite de EP_nren.

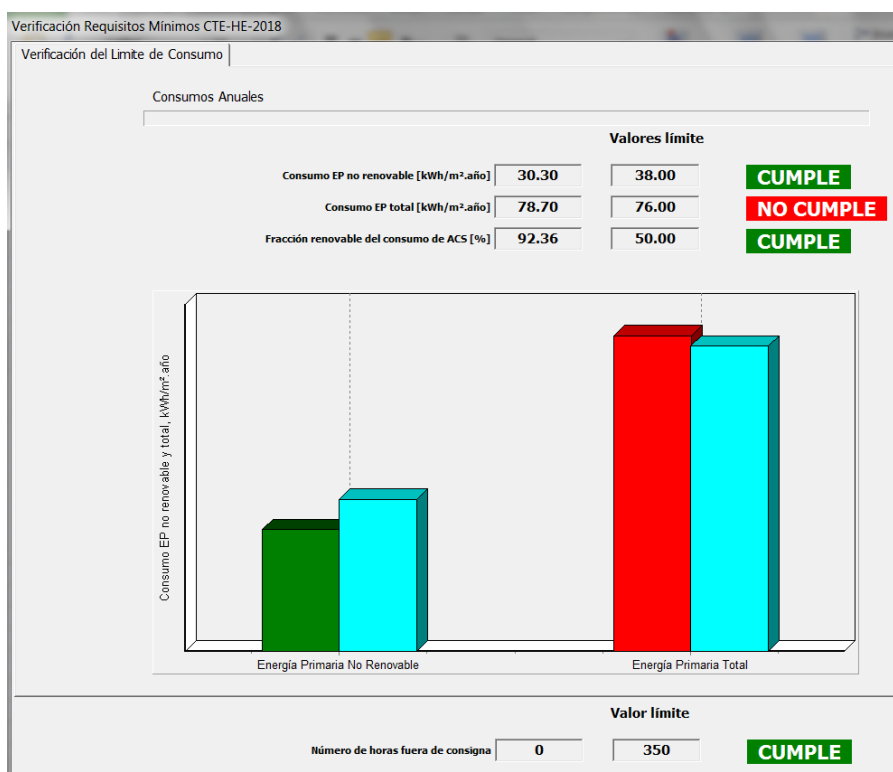


Figura 20: Indicadores para el edificio con S2



En este caso en el que se está cerca del cumplimiento de todos los indicadores normativos la incorporación de un recuperador de calor posibilita como puede verse en la [Figura 21](#) alcanzar el cumplimiento total sin necesidad de incorporar ninguna otra aportación energética renovable de producción in situ.

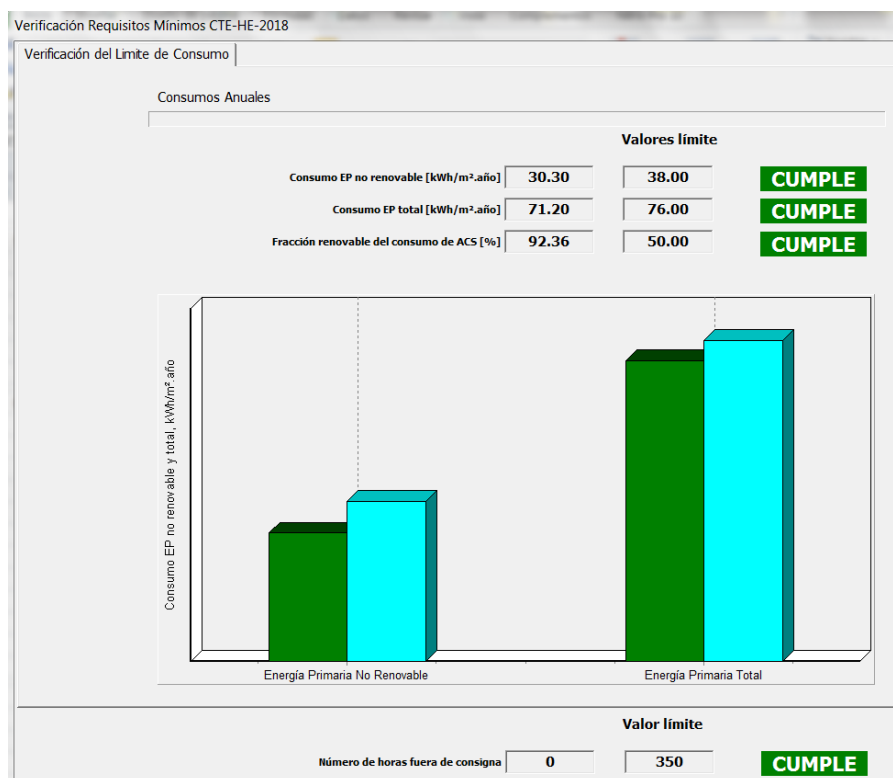


Figura 21: Indicadores para el edificio con S2 y recuperador de calor

El otro camino alternativo sería implementar las medidas de mejora de incorporación de paneles solares térmicos (PST), [Figura 22](#), y paneles fotovoltaicos (PV), [Figura 23](#), sobre el sistema S2 sin recuperador de calor. Puede observarse cómo la producción de energía in situ permite alcanzar ya simplemente con PST el cumplimiento holgado de todos los indicadores.

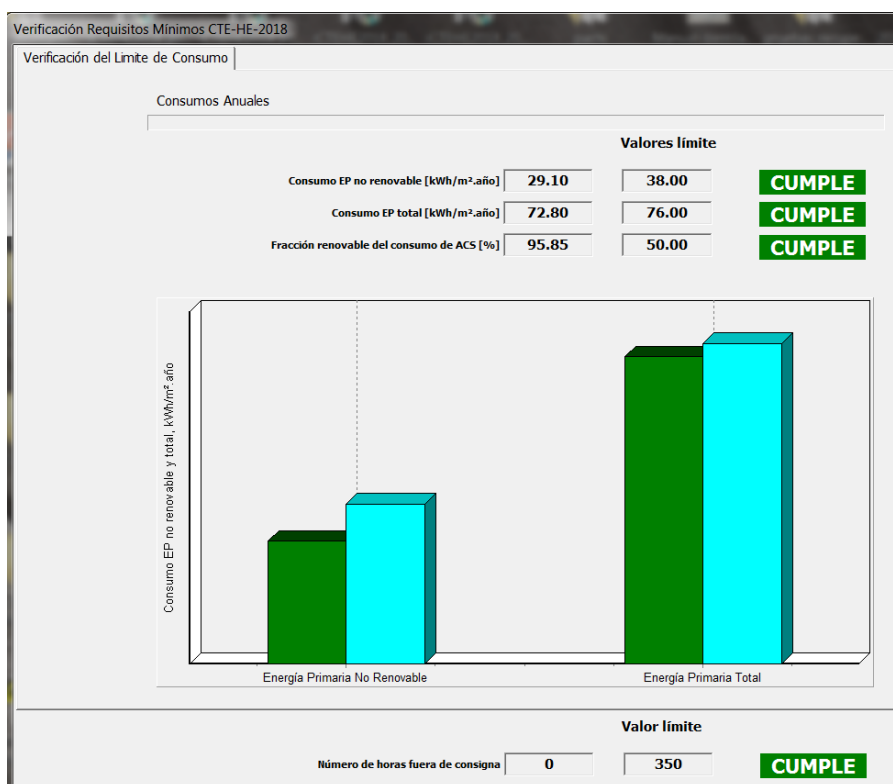


Figura 22: Indicadores para el edificio con S2 + PST

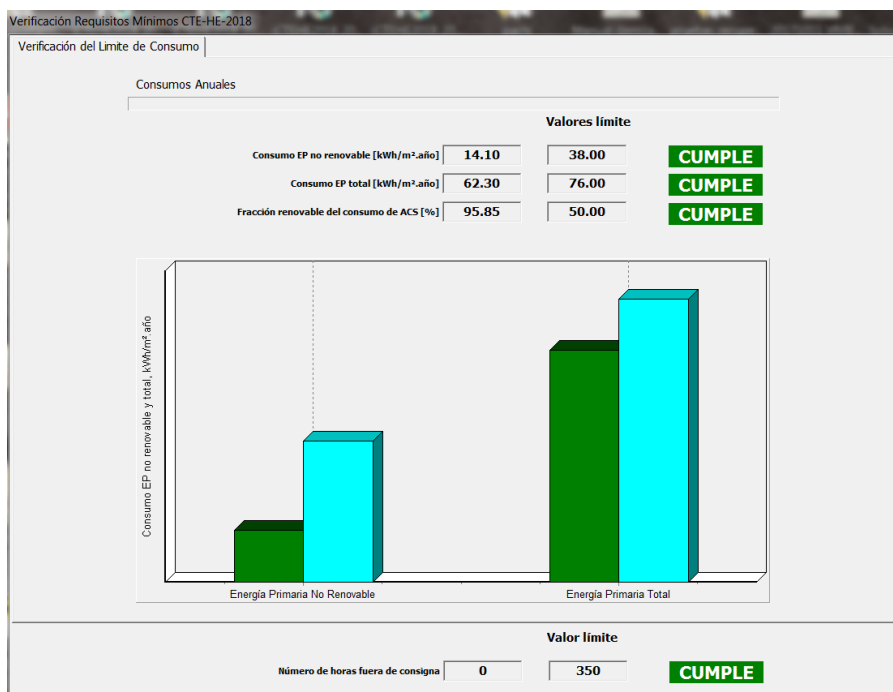


Figura 23: Indicadores para el edificio con S2 + PST + PV



3.3.3. S3. Sistema de bomba de calor

En la [Figura 24](#) vemos los resultados de los indicadores aplicando al edificio base el sistema S3 (BdC). En este caso, la bomba de calor aporta un suministro de energía del medioambiente en el modo de calefacción (la energía rechazada en el modo de refrigeración no es un suministro de energía).

Puede apreciarse que no se llega al cumplimiento de ninguno de los indicadores aunque fracción renovable de la bomba de calor supone ya una aportación importante a la fracción renovable de consumo de ACS.

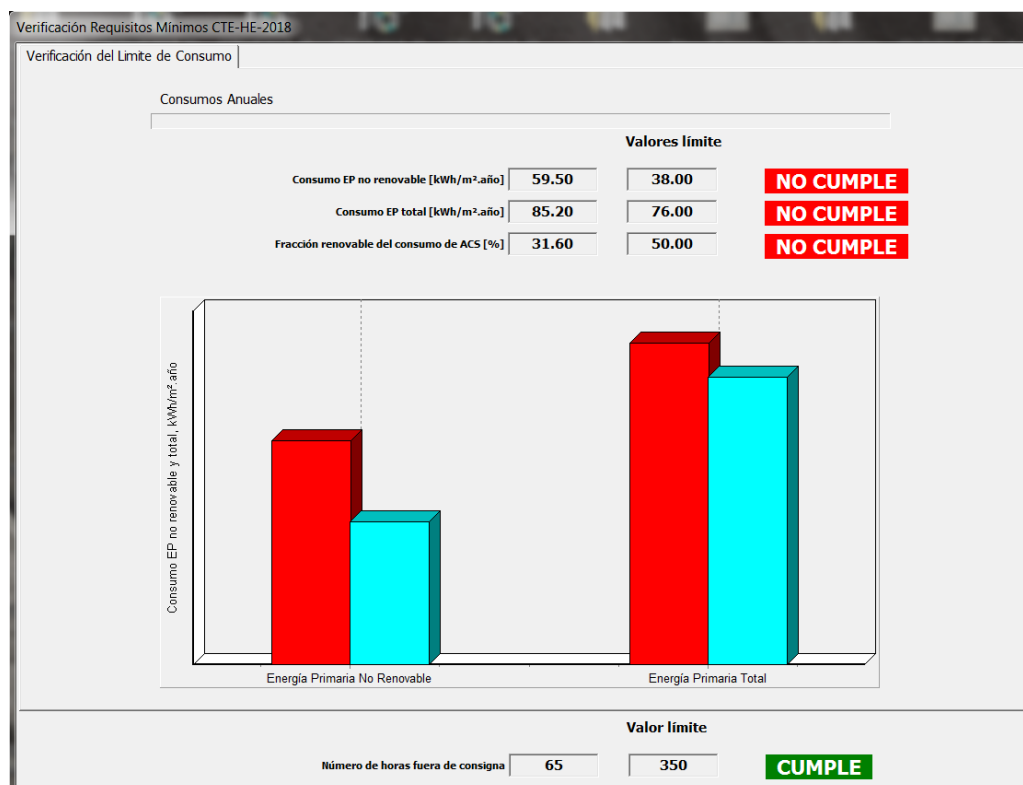


Figura 24: Indicadores para el edificio con S3

Tal y como se observa en los anteriores casos la incorporación de un recuperador de calor sobre el sistema S3 mejora los indicadores al descender los consumos de energía puesto que se produce una reducción de las necesidades energéticas del edificio, pero los valores alcanzados distan todavía de los valores mínimos reglamentarios.

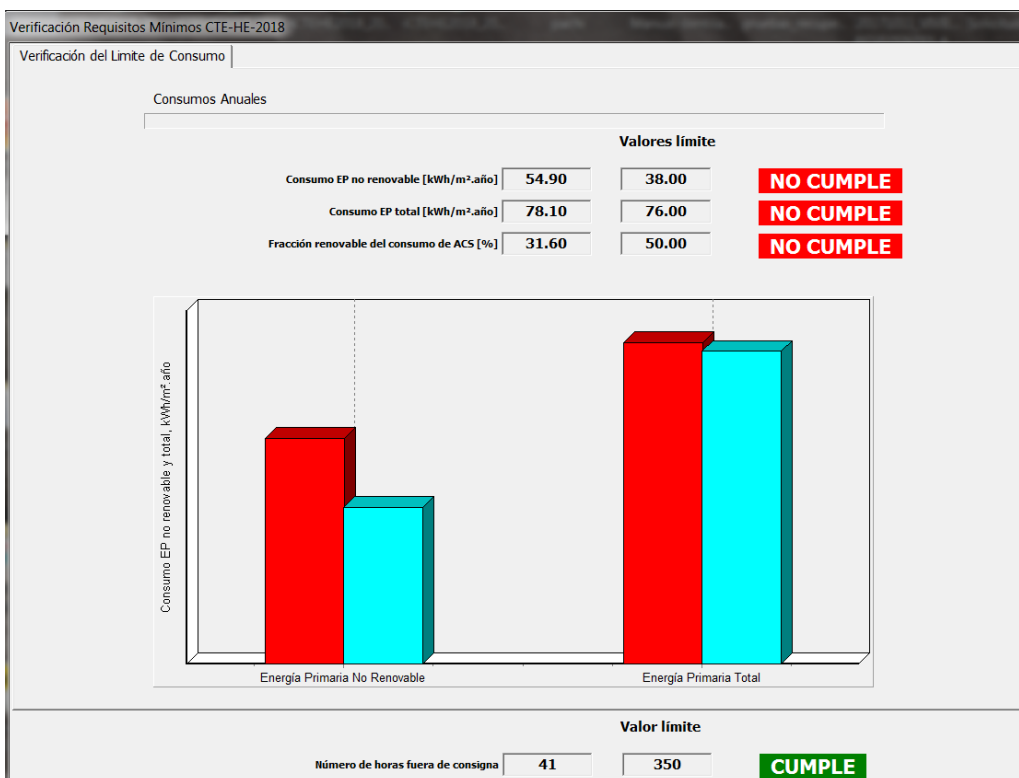


Figura 25: Indicadores para el edificio con S3 con recuperador de calor

Al incorporar paneles solares térmicos (PST), [Figura 26](#), y paneles fotovoltaicos (PV), [Figura 27](#), como producción de energía renovable in situ puede apreciarse que se llega al cumplimiento de los valores mínimos de indicadores.

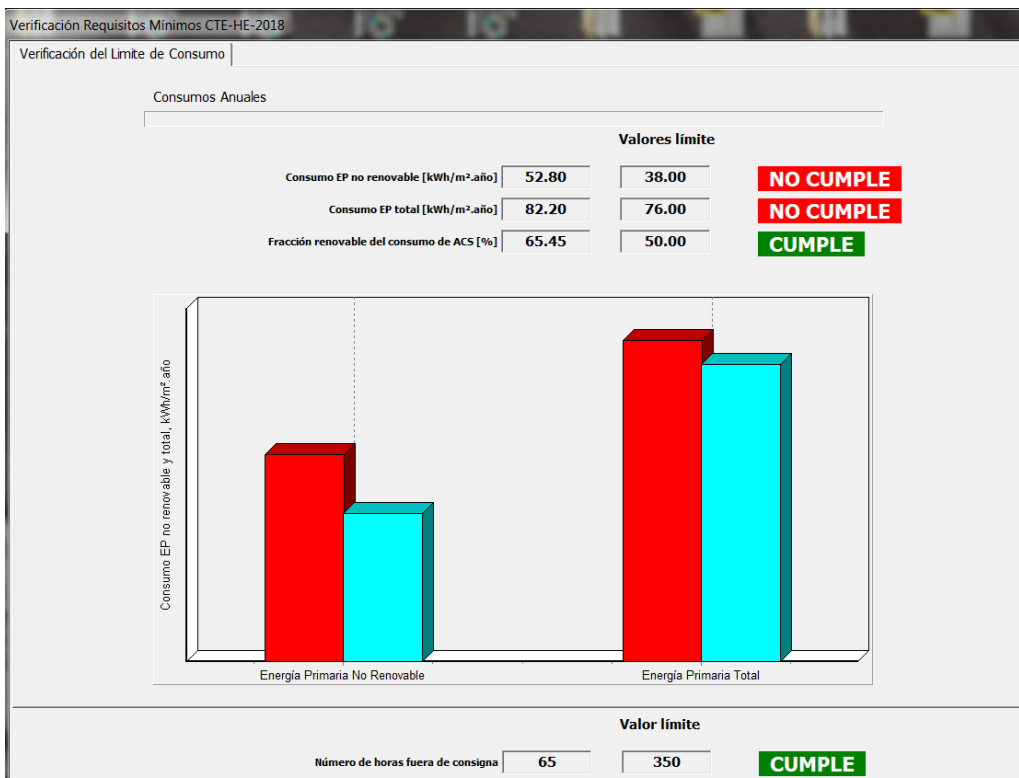


Figura 26: Indicadores para el edificio con S3 + PST

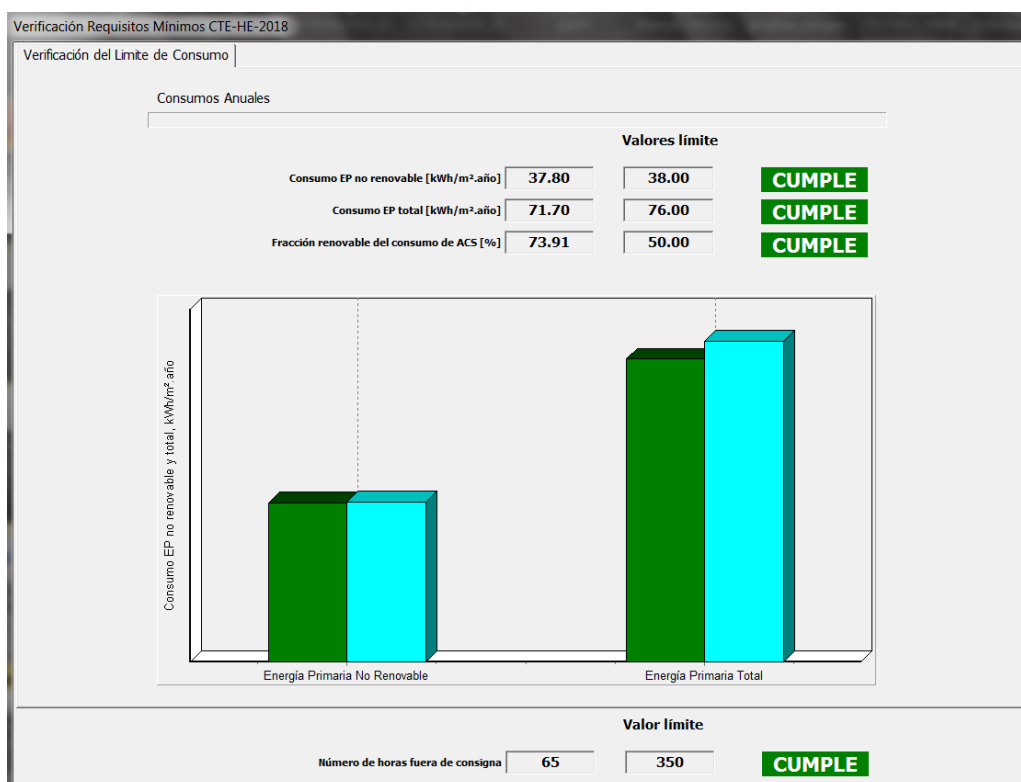


Figura 27: Indicadores para el edificio con S3 + PST + PV



3.4. Cuadros resumen

3.4.1. Indicadores de eficiencia energética

Tabla 12: Indicadores de eficiencia energética según sistemas [kWh/m^2a]

	$C_{ep,tot}$	$C_{ep,tot,lim}$	$C_{ep,nren}$	$C_{ep,nren,lim}$	% ACS cubierto	% ACS cubierto lim
S1 (Caldera Gas + BdC)	70,10	76	64,60	38	0,0	50
S1+Rec. calor (Caldera Gas + BdC)	64,10	76	58,30	38	0,0	50
S1+PST(Caldera Gas + BdC)	67,10	76	50,70	38	50,69	50
S1+PST+PV(Caldera Gas + BdC)	56,70	76	35,80	38	50,69	50
S2 (Biomasa+ BdC)	78,70	76	30,30	38	92,36	50
S2+Rec. calor (Biomasa+ BdC)	71,20	76	30,30	38	92,36	50
S2+PST (Biomasa+ BdC)	72,80	76	29,10	38	95,85	50
S2+PST+PV (Biomasa+ BdC)	62,30	76	14,10	38	95,85	50
S3 (BdC + BdC)	85,20	76	59,50	38	31,60	50
S3+Rec. calor (BdC + BdC)	78,10	76	54,90	38	31,60	50
S3+PST (BdC + BdC)	82,20	76	52,80	38	65,45	50
S3+PST+PV (BdC + BdC)	71,70	76	37,80	38	73,91	50

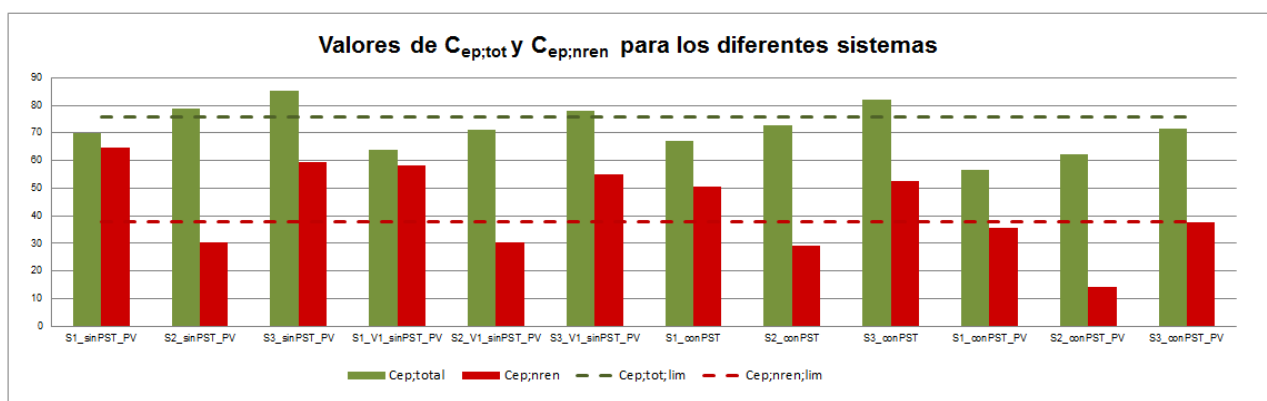


Figura 28: Comparativa indicadores $C_{ep,total}$ y $C_{ep,nren}$

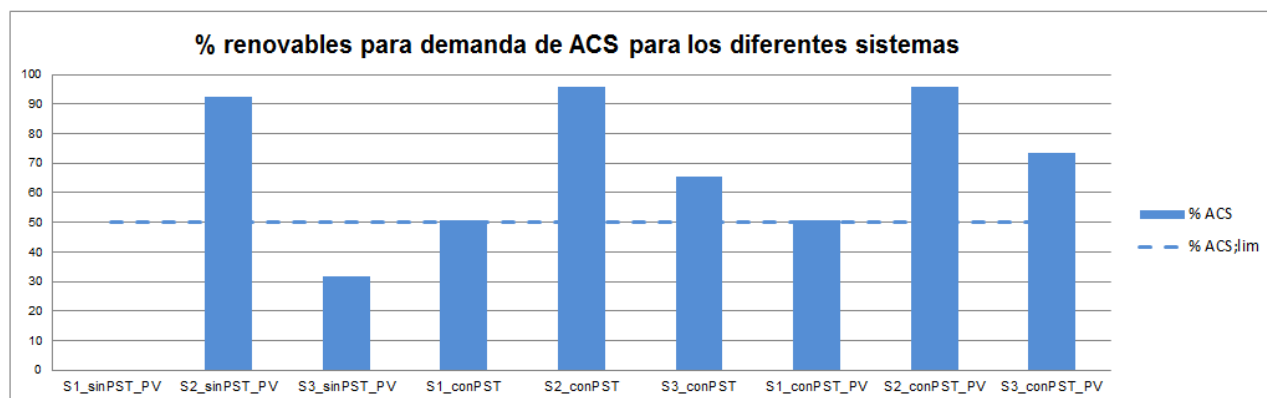


Figura 29: Comparativa indicadores de % ACS