

Estudio elaborado por: **tecnalia**
Corporación Tecnológica

Determinación de la importancia de
los factores de influencia de una ventana en
la demanda energética de un edificio

Nº INFORME

058061

CLIENTE

Asociación Española del Aluminio y Tratamientos de Superficie

PERSONA DE CONTACTO

Jon De Olabarria

DIRECCIÓN

Calle Príncipe de Vergara, 74
28006 Madrid

OBJETO

DETERMINACIÓN DE LA IMPORTANCIA DE LOS FACTORES DE INFLUENCIA DE UNA VENTANA EN LA DEMANDA ENERGÉTICA DE UN EDIFICIO

FECHA DE RECEPCIÓN

09 de marzo 2016

FECHA DE EMISIÓN

17 de junio 2016



Julen Hernández

Área de eficiencia energética y Sostenibilidad Industrial
División de Energía



Sergio Sáiz

Área de eficiencia energética y Sostenibilidad Industrial
División de Energía

* Los resultados del presente informe conciernen, única y exclusivamente al material ensayado.

* Este informe no podrá ser reproducido sin la autorización expresa de FUNDACIÓN TECNALIA R&I, excepto cuando lo sea de forma íntegra.

Indice

1	Objeto	3
2	Descripción del estudio	3
2.1	Fase 1. Definición de los modelos de edificio tipo a estudiar:.....	3
2.2	Fase 2. Estudio Técnico: Simulación energética mediante el programa Desing Builder	4
2.3	Fase 3: Tabla de resultados según zona climática.....	6
3	Conclusiones	10
4	Anexos	11
4.1	Anexo 1: Datos edificio simulado.....	11
4.2	Anexo 2: Tablas de resultados de todas las simulaciones.....	13

1 Objeto

Determinar de forma analítica y dinámica los distintos factores de influencia de las ventanas en la demanda energética global de un edificio. Los factores que se van a considerar son:

- Permeabilidad al aire
- Coeficiente de transmisión térmica del perfil
- Propiedades térmicas y solares del vidrio
- % de marco en la ventana

2 Descripción del estudio

Para poder evaluar la influencia de las características de una ventana en la demanda energética de un edificio se ha planteado un estudio dividido en 3 fases:

1. Definición de los modelos de edificio tipo a estudiar
2. Estudio técnico
3. Tabla de resultados según zona climática

2.1 Fase 1. Definición de los modelos de edificio tipo a estudiar:

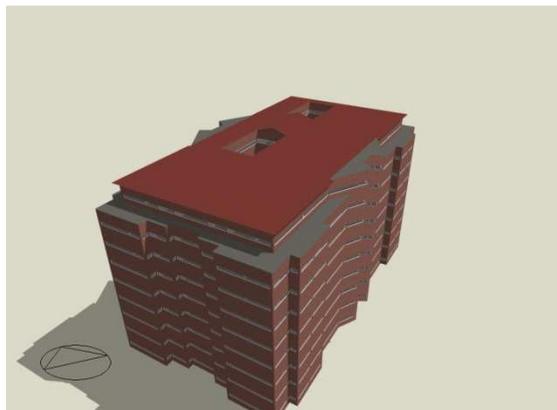
Se ha definido una tipología de edificio:

- Edificio de viviendas: Típico edificio de bloque de viviendas

A continuación se muestran imágenes de los modelos estudiados:



Modelo de edificio viviendas con un 30% de huecos en fachada



Modelo de edificio viviendas con un 20% de huecos en fachada

Los edificios, se han modelizado asegurando el cumplimiento del CTE 2013 y cumpliendo con los límites exigidos en las propiedades térmicas de los sistemas y productos utilizados. En el Anexo se pueden ver las características de los cerramientos, huecos, particiones, cubiertas, suelos, etc. utilizados.

2.2 Fase 2. Estudio Técnico: Simulación energética mediante el programa Desing Builder

Los modelos se han simulado con el programa de simulación energética DESING BUILDER, herramienta más completa en cálculo de demandas energéticas (utiliza como motor de cálculo Energyplus) frente a los programas de simulación puramente normativos.

Se ha llevado a cabo una parametrización de 32 modelos de simulación distintas. La parametrización se ha realizado considerando 2 zonas climáticas distintas:

- Zona A
- Zona E

La parametrización se ha realizado modificando las siguientes propiedades de una ventana:

- Permeabilidad al aire
- Factor solar
- Coeficiente de transmisión térmica del vidrio
- Coeficiente de transmisión térmica del marco
- % de marco

Los modelos simulados corresponden a los definidos en la siguiente tabla:

% marco	Permeabilidad	Uv	f	Uf	Ensayo n°
%	Clasificación	W/m2K	-	W/m2K	n°
20	C4	2	0,69	2,0	1
				3,5	2
		1	0,5	2,0	3
				3,5	4
		1	0,69	2,0	5
				3,5	6
		2	0,5	2,0	7
				3,5	8
	C2	2	0,69	2,0	9
				3,5	10
		1	0,5	2,0	11
				3,5	12
		1	0,69	2,0	13
				3,5	14
		2	0,5	2,0	15
				3,5	16
30	C4	2	0,69	2,0	17
				3,5	18
		1	0,5	2,0	19
				3,5	20
		1	0,69	2,0	21
				3,5	22
		2	0,5	2,0	23
				3,5	24
	C2	2	0,69	2,0	25
				3,5	26
		1	0,5	2,0	27
				3,5	28
		1	0,69	2,0	29
				3,5	30
		2	0,5	2,0	31
				3,5	32

Tabla 1: Valores de las características las ventanas que influyen en la demanda energética de un edificio, utilizados en cada una de las simulaciones realizadas

Todas las demás propiedades del edificio se han mantenido en las 32 simulaciones realizadas.

Una vez ejecutados los modelos de simulación con Desing Builder, se evalúan los resultados obtenidos para realizar una interpretación adecuada de los mismos.

2.3 Fase 3: Tabla de resultados según zona climática

Para una correcta interpretación de los resultados, se han realizado una serie de comparativas que permiten realizar un análisis de influencia en la demanda energética del edificio entre distintos casos de estudio de las 32 iteraciones realizadas. Estas comparativas se han realizado con el objetivo de ver la influencia de cada uno de los parámetros estudiados por separado en la demanda energética del edificio. En las tablas del anexo 2 se puede ver entre qué simulaciones se han realizado las comparativas.

Todas las comparativas consideran los casos simulados de la tabla 1:

- Estudio del efecto del **Coefficiente de transmisión térmica del marco (U_f)** : Los casos estudiados y comparados, consideran una disminución del valor U_f (W/m^2K) de un 43%:
 - $U_f = 3,5$ (W/m^2K)
 - $U_f = 2,0$ (W/m^2K)
- Estudio efecto del **% del marco de la ventana**: Los casos estudiados y comparados, consideran una disminución del % de marco del 33%:
 - Del 30 % de marco
 - Al 20 % de marco
- Estudio efecto **permeabilidad al aire de la ventana, según UNE-EN 12.207:2000**: Los casos estudiados y comparados, consideran una disminución de las infiltraciones por ventana del 25%:
 - Clase de permeabilidad al aire: C2
 - Clase de permeabilidad al aire: C4
- Estudio efecto **factor solar del vidrio**: Los casos estudiados y comparados, consideran una disminución del factor solar de un 28%:
 - Factor solar: 0,69
 - Factor solar: 0,50
- Estudio del efecto del **Coefficiente de transmisión térmica del vidrio (U_v)**: Los casos estudiados y comparados, consideran una disminución del valor U_v (W/m^2K) de un 50%:
 - $U_v = 2$ (W/m^2K)
 - $U_v = 1$ (W/m^2K)

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos en % de influencia en la demanda energética total del edificio:

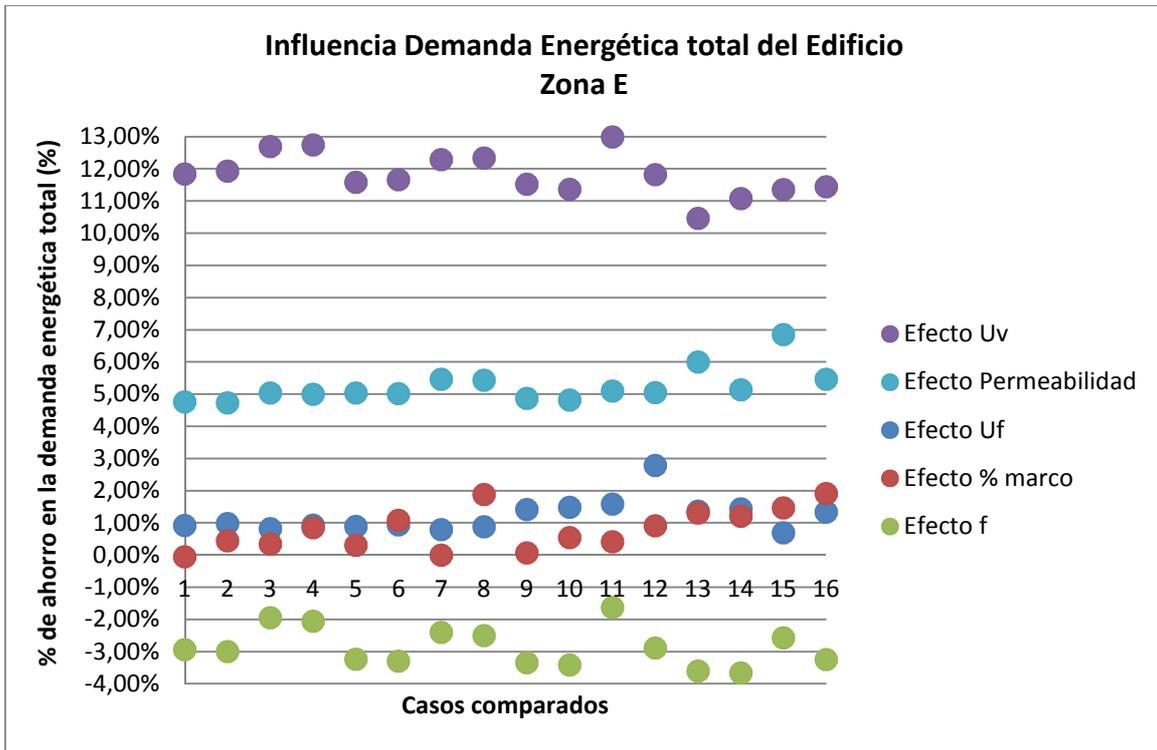
Comparativa nº	Efecto Uf		Efecto % marco		Efecto Permeabilidad		Efecto f		Efecto Uv	
	zona E	zona A	zona E	zona A	zona E	zona A	zona E	zona A	zona E	zona A
1	0,92%	0,16%	-0,05%	-3,90%	4,76%	1,96%	-2,94%	10,33%	11,84%	2,15%
2	0,98%	0,29%	0,45%	-3,76%	4,73%	1,97%	-3,00%	10,22%	11,93%	2,21%
3	0,82%	0,10%	0,35%	-2,35%	5,03%	2,50%	-1,94%	12,92%	12,69%	4,98%
4	0,93%	0,22%	0,85%	-2,17%	5,00%	2,48%	-2,06%	12,82%	12,74%	5,04%
5	0,89%	0,17%	0,30%	-4,16%	5,04%	1,73%	-3,24%	9,83%	11,58%	2,38%
6	0,94%	0,28%	1,08%	-4,08%	5,02%	1,73%	-3,29%	9,74%	11,66%	2,45%
7	0,79%	0,10%	0,00%	0,00%	5,47%	2,41%	-2,41%	12,31%	12,29%	5,06%
8	0,88%	0,22%	1,88%	-2,21%	5,43%	2,40%	-2,50%	12,21%	12,34%	5,12%
9	1,41%	0,30%	0,06%	2,10%	4,87%	2,10%	-3,35%	8,97%	11,53%	2,39%
10	1,48%	0,46%	0,55%	2,11%	4,82%	2,11%	-3,42%	8,82%	11,37%	2,51%
11	1,59%	0,18%	0,41%	-2,20%	5,10%	2,64%	-1,63%	9,30%	12,99%	2,75%
12	2,79%	-1,98%	0,91%	-2,04%	5,05%	2,60%	-2,89%	11,22%	11,83%	5,08%
13	1,37%	0,31%	1,31%	-3,95%	6,00%	1,92%	-3,60%	8,47%	10,46%	2,57%
14	1,43%	0,43%	1,20%	-3,84%	5,14%	1,95%	-3,67%	8,36%	11,07%	2,67%
15	0,69%	0,21%	1,47%	-2,15%	6,85%	0,31%	-2,57%	10,77%	11,35%	5,01%
16	1,33%	0,37%	1,91%	-2,00%	5,46%	2,61%	-3,24%	10,62%	11,44%	5,07%
Promedio	1,20%	0,11%	0,79%	-2,16%	5,23%	2,09%	-2,86%	10,43%	11,82%	3,59%

Tabla 2: Resultados de las comparativas realizadas entre las distintas simulaciones energéticas ejecutadas

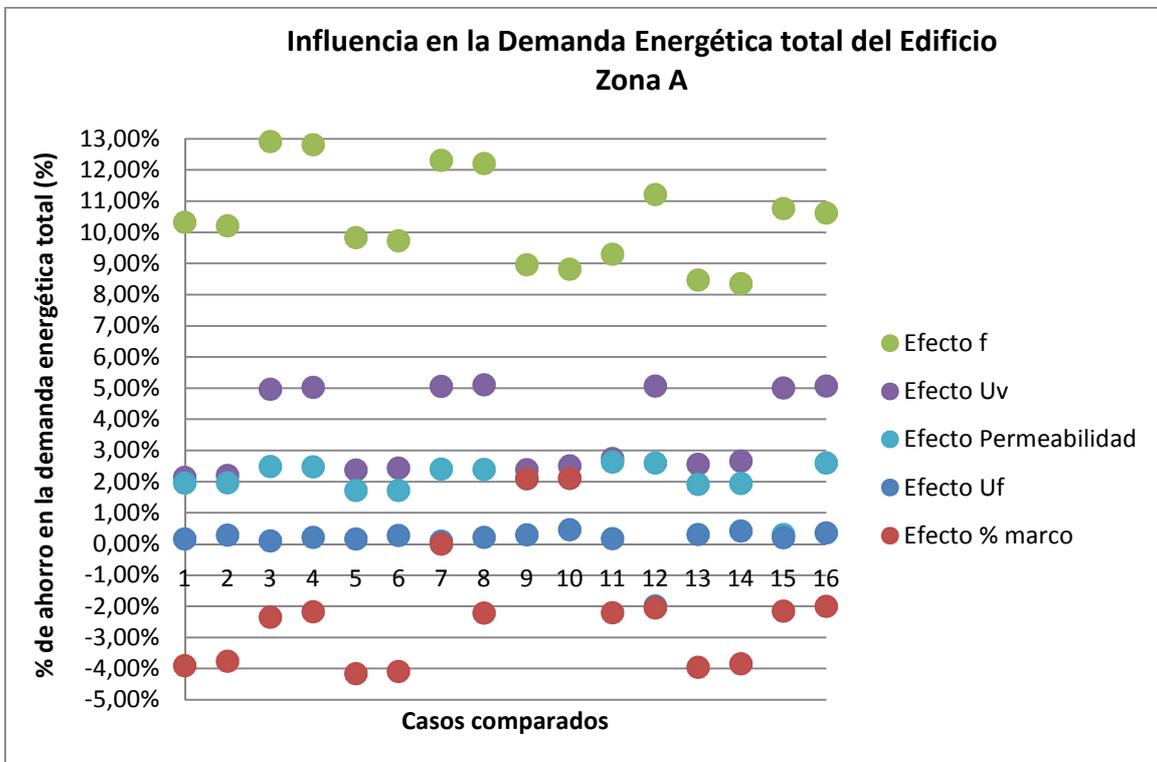
Estos % representan la variación que se da entre distintos casos de estudio cambiando exclusivamente uno de los parámetros de la ventana que pueden influir en la demanda energética de un edificio. Los cambios realizados ya se han especificado en la página anterior.

También se pueden revisar los resultados obtenidos en Demanda Energética total, de calefacción y de refrigeración de cada una de las 32 simulaciones energéticas realizadas en el anexo 2 del presente informe.

Se trasladan estos resultados a gráficas independientes, una para la zona A y otra para la zona E:



Gráfica 1: Resultados de influencia en la demanda energética total del edificio de cada efecto por separado para la zona E



Gráfica 2: Resultados de influencia en la demanda energética total del edificio de cada efecto por separado para la zona A

Donde se puede apreciar qué parámetros son los que más influyen en la demanda energética de un edificio, además de apreciar también qué parámetros influyen positiva o negativamente, dependiendo de la zona climática en la que se encuentra el edificio.

Teniendo en cuenta los resultados anteriores se obtienen los siguientes resultados generales:

- Por cada 1% de disminución en el valor de U_f (W/m^2K), la demanda energética del edificio disminuye de promedio en :

<i>Zona E</i>	<i>Zona A</i>
0,028 %	0,003 %

- Por cada 1% de disminución en el % de marco, la demanda energética del edificio disminuye de promedio en:

<i>Zona E</i>	<i>Zona A</i>
0,020 %	-0,060 %

- Por cada 1% de disminución en el valor de infiltraciones por ventana (renov/h), la demanda energética del edificio disminuye de promedio en:

<i>Zona E</i>	<i>Zona A</i>
0,210 %	0,080 %

- Por cada 1% de disminución en el valor de factor solar (f), la demanda energética del edificio disminuye de promedio en:

<i>Zona E</i>	<i>Zona A</i>
-0,104%	0,379 %

- Por cada 1% de disminución en el valor de U_v (W/m^2K), la demanda energética del edificio disminuye de promedio en:

<i>Zona E</i>	<i>Zona A</i>
0,236 %	0,072 %

3 Conclusiones

Las conclusiones que se obtienen en el estudio realizado son claras:

- **La zona climática es crítica a la hora de tomar la decisión de elegir una ventana**, ya que utilizar una misma ventana para condiciones climáticas muy distintas hará que el comportamiento de la misma sea muy diferente.
- Independientemente de la zona climática en la que se encuentre el edificio, **las características térmicas y solares del vidrio de la ventana se consideran cruciales en la influencia de la demanda energética del edificio, siendo una u otra la que mayor influencia tendrá dependiendo de la zona climática, pero siendo ambas importantes en todos los casos.**
- **Las características térmicas del marco y % de marco, tienen una influencia baja o muy baja en la demanda energética del edificio.** Aunque el % de marco si tenga algo de influencia en la demanda energética de un edificio que esté ubicado en zonas cálidas, debido, sobre todo, al efecto de sombreadamiento.
- **La permeabilidad al aire de una ventana**, es un parámetro que no se debe de olvidar ya que dependiendo de la zona en la que se encuentre el edificio, **la influencia en la demanda energética del edificio puede ser considerable**, tal y como se puede apreciar en los resultados obtenidos en la zona E. En zonas cálidas esta influencia disminuye.

Teniendo en cuenta los resultados y las conclusiones anteriores, se determina que el % de influencia de una ventana en la demanda energética total de un edificio, será determinada por la influencia de las características térmicas y solares de sus componentes y de la permeabilidad al aire de la misma, teniendo en cuenta la importancia de cada uno de los efectos, en orden descendente, de la siguiente manera:

1. Características térmicas y solares del vidrio (factor solar y coeficiente de transmisión térmica)
2. Permeabilidad al aire de la ventana (infiltraciones por ventana, en renov/hora)
3. Propiedades térmicas y dimensionales del marco de la ventana.

Nota:

- Los resultados obtenidos son exclusivos para las 32 simulaciones realizadas en este estudio y los % dados son exclusivos de las comparativas realizadas y que se pueden ver en el anexo 2. Cualquier variación en los parámetros de partida introducidos en las simulaciones, en los valores de las características térmicas de las ventanas y en las comparativas realizadas, hará variar los resultados.
- Este estudio se ha realizado mediante simulaciones energéticas que consideran todos los parámetros térmicos de un edificio (no solamente los estrictamente normativos y estacionarios, si no climatológicos y dinámicos). Por ello es necesario realizar este tipo de simulaciones para hacer estudios térmicos completos que integran todos estos parámetros y permiten ver la influencia entre ellos de una forma no lineal ni proporcional, tal y cómo ocurriría en condiciones estacionarias.

4 Anexos

4.1 Anexo 1: Datos edificio simulado

A continuación se detallan las características térmicas utilizadas en la definición de los edificios simulados

Datos de partida de las simulaciones térmicas realizadas para cada una de las zonas climáticas estudiadas: Características térmicas de los cerramientos, particiones, ventanas, cubiertas, techos,...

A continuación se detallan cuáles son los datos de partida de las simulaciones por Zona climática. Siempre se han tenido en cuenta los límites que marca el CTE 2013 en las propiedades térmicas de los sistemas y productos utilizados en la construcción de un edificio. Estos límites se pueden revisar en las siguientes tablas:

Tabla 2.3 Transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente térmica

Parámetro	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Transmitancia térmica de muros y elementos en contacto con el terreno ⁽¹⁾ [W/m ² •K]	1,35	1,25	1,00	0,75	0,60	0,55
Transmitancia térmica de cubiertas y suelos en contacto con el aire [W/m ² •K]	1,20	0,80	0,65	0,50	0,40	0,35
Transmitancia térmica de huecos ⁽²⁾ [W/m ² •K]	5,70	5,70	4,20	3,10	2,70	2,50
Permeabilidad al aire de huecos ⁽³⁾ [m ³ /h•m ²]	< 50	< 50	< 50	< 27	< 27	< 27

⁽¹⁾ Para elementos en contacto con el terreno, el valor indicado se exige únicamente al primer metro de muro enterrado, o el primer metro del perímetro de suelo apoyado sobre el terreno hasta una profundidad de 0,50m.

⁽²⁾ Se considera el comportamiento conjunto de vidrio y marco. Incluye lucernarios y claraboyas.

⁽³⁾ La permeabilidad de las carpinterías indicada es la medida con una sobrepresión de 100Pa.

Tabla 2.4 Transmitancia térmica límite de particiones interiores, cuando delimiten unidades de distinto uso, zonas comunes, y medianerías, U en W/m²•K

Tipo de elemento	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Particiones horizontales y verticales	1,35	1,25	1,10	0,95	0,85	0,70

Tabla 2.5 Transmitancia térmica límite de particiones interiores, cuando delimiten unidades del mismo uso, U en W/m²•K

Tipo de elemento	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Particiones horizontales	1,90	1,80	1,55	1,35	1,20	1,00
Particiones verticales	1,40	1,40	1,20	1,20	1,20	1,00

CTE 2013

Los edificios que cumplen con CTE 2013, se ha considerado 0,63 renov/h y una clasificación de permeabilidad al aire de la ventana según norma UNE-EN 12.207:2000 de Clase 2 (con un aumento en las renovaciones/hora de 0,21) y clase 4 (con un aumento en las renovaciones/hora de 0,16).

Las propiedades térmicas de los componentes de los edificios se muestran en la siguiente tabla

CTE2013

	U (W/m2K)			
	Zona A	Zona D	Zona E	Anterior al CTE
Cerramiento Exterior	1,06	0,56	0,51	1,24
Cubiertas y suelos	0,60	0,36	0,33	2,17
Partición interior vertical y horizontal	1,11	0,71	0,62	1,11

Edificio Vivienda

Building Data	
Building number of zones:	555
Building heated/cooled floor area (m2)	10.997,29
Building volume (m3)	32.424,91
Building external area (m2)	9.175,7
Building external surface area/Volume (m-1)	0,283

Activity Area Summary	
Activity	Area (m2)
Calefactado	10.997,29
<None>	133,52
Total	11.130,81

USO RESIDENCIAL	(24h, B.A.J.A)				
	1-7	8	9-15	16-23	24
Temp Consigna Alta (°C)					
Enero a Mayo	—	—	—	—	—
Junio a Septiembre	27	—	—	25	27
Octubre a Diciembre	—	—	—	—	—
Temp Consigna Baja (°C)					
Enero a Mayo	17	20	20	20	17
Junio a Septiembre	—	—	—	—	—
Octubre a Diciembre	17	20	20	20	17
Ocupación sensible (W/m²)					
Laboral	2,15	0,54	0,54	1,08	2,15
Sábado y Festivo	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
Ocupación latente (W/m²)					
Laboral	1,36	0,34	0,34	0,68	1,36
Sábado y Festivo	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
Iluminación (W/m²)					
Laboral, Sábado y Festivo	0,44	1,32	1,32	1,32	2,2
Equipos (W/m²)					
Laboral, Sábado y Festivo	0,44	1,32	1,32	1,32	2,2
Ventilación verano¹					
Laboral, Sábado y Festivo	4,00	4,00	*	*	*
Ventilación invierno²					
Laboral, Sábado y Festivo	*	*	*	*	*

¹ En régimen de verano, durante el periodo comprendido entre la 1 y las 8 horas, ambas incluidas, se supondrá que los espacios habitables de los edificios destinados a vivienda presentan una infiltración originada por la apertura de ventanas de 4 renovaciones por hora. El resto del tiempo, indicados con * en la tabla, el número de renovaciones hora será constante e igual al mínimo exigido por el DB

² El número de renovaciones hora, indicado con * en la tabla, será constante e igual al calculado mínimo exigido por el DB HS.

4.2 Anexo 2: Tablas de resultados de todas las simulaciones

ENSAYOS REALIZADOS	Zona climatica E			Zona climatica A		
	Demanda energética (KWh/m2año)			Demanda energética (KWh/m2año)		
	Calefacción	Refrigeración	Total	Calefacción	Refrigeración	Total
1	50,823	8,239	59,062	6,269	35,534	41,803
2	51,473	8,138	59,611	6,383	35,489	41,872
3	57,006	3,791	60,797	8,608	28,877	37,485
4	57,676	3,723	61,399	8,748	28,846	37,594
5	42,074	9,995	52,069	4,681	36,225	40,906
6	42,601	9,896	52,497	4,761	36,187	40,948
7	48,419	4,662	53,081	6,813	28,807	35,620
8	48,982	4,595	53,577	6,919	28,781	35,700
9	54,212	7,800	62,012	6,956	35,682	42,638
10	54,864	7,704	62,568	7,075	35,637	42,712
11	60,527	3,493	64,020	9,439	29,006	38,445
12	61,198	3,430	64,628	9,581	28,971	38,552
13	45,347	9,485	54,832	5,275	36,350	41,625
14	45,878	9,392	55,270	5,359	36,308	41,667
15	51,865	4,286	56,151	7,579	28,920	36,499
16	52,428	4,224	56,652	7,688	28,891	36,579
17	52,308	6,724	59,032	6,892	33,342	40,234
18	53,293	6,585	59,878	7,075	33,281	40,356
19	57,985	3,023	61,008	9,191	27,435	36,626
20	58,993	2,933	61,926	9,408	27,388	36,796
21	44,208	8,019	52,227	5,329	33,944	39,273
22	45,013	8,057	53,070	5,460	33,882	39,342
23	48,419	4,662	53,081	6,813	28,807	35,620
24	50,975	3,628	54,603	7,652	27,276	34,928
25	55,731	6,321	62,052	7,620	33,479	41,099
26	56,720	6,191	62,911	7,808	33,419	41,227
27	61,523	2,763	64,286	10,052	27,566	37,618
28	62,535	2,684	65,219	10,272	27,508	37,780
29	47,840	7,719	55,559	5,973	34,070	40,043
30	48,352	7,592	55,944	6,110	34,016	40,126
31	53,602	3,385	56,987	8,29	27,442	35,732
32	54,454	3,304	57,758	8,464	27,399	35,863

Tabla A.2.1: Resultados obtenidos en las simulaciones energéticas realizadas con Desing Builder

Tabla A.2.2: Resultados Efecto Vidrio

ENSAYOS COMPARADOS	Zona climatica E			Uv W/m2K	Variación en demanda energética (%)			Cambio porcentual con respecto a cambio de 1% en valor de U (W/m2K)			Zona climatica A			Variación en demanda energética (%)			Cambio porcentual con respecto a cambio de 1% en valor de U (W/m2K)			
	Demanda energética (KWh/m2año)				Calefacción	Refrigeración	Total	Calefacción	Refrigeración	Total	Demanda energética (KWh/m2año)			Calefacción	Refrigeración	Total	Calefacción	Refrigeración	Total	
	Calefacción	Refrigeración	Total								Calefacción	Refrigeración	Total							
1	50,823	8,239	59,062	2	17%	-21%	12%	0,34	-0,43	0,24	6,269	35,534	41,803	25%	-2%	2%	0,51	-0,04	0,04	
5	42,074	9,995	52,069	1							4,681	36,225	40,906							
2	51,473	8,138	59,611	2	17%	-22%	12%	0,34	-0,43	0,24	6,383	35,489	41,872	25%	-2%	2%	0,51	-0,04	0,04	
6	42,601	9,896	52,497	1							4,761	36,187	40,948							
3	57,006	3,791	60,797	2	15%	-23%	13%	0,30	-0,46	0,25	8,608	28,877	37,485	21%	0%	5%	0,42	0,00	0,10	
7	48,419	4,662	53,081	1							6,813	28,807	35,620							
4	57,676	3,723	61,399	2	15%	-23%	13%	0,30	-0,47	0,25	8,748	28,846	37,594	21%	0%	5%	0,42	0,00	0,10	
8	48,982	4,595	53,577	1							6,919	28,781	35,700							
9	54,212	7,800	62,012	2	16%	-22%	12%	0,33	-0,43	0,23	6,956	35,682	42,638	24%	-2%	2%	0,48	-0,04	0,05	
13	45,347	9,485	54,832	1							5,275	36,350	41,625							
10	54,864	7,704	62,568	2	16%	-22%	12%	0,33	-0,44	0,23	7,075	35,637	42,712	24%	-2%	2%	0,49	-0,04	0,05	
14	45,878	9,392	55,270	1							5,359	36,308	41,667							
11	60,527	3,493	64,02	2	14%	-23%	12%	0,29	-0,45	0,25	9,439	29,006	38,445	20%	0%	5%	0,39	0,01	0,10	
15	51,865	4,286	56,151	1							7,579	28,920	36,499							
12	61,198	3,430	64,628	2	14%	-23%	12%	0,29	-0,46	0,25	9,581	28,971	38,552	20%	0%	5%	0,40	0,01	0,10	
16	52,428	4,224	56,652	1							7,688	28,891	36,579							
17	52,308	6,724	59,032	2	15%	-19%	12%	0,31	-0,39	0,23	6,892	33,342	40,234	23%	-2%	2%	0,45	-0,04	0,05	
21	44,208	8,019	52,227	1							5,329	33,944	39,273							
18	53,293	6,585	59,878	2	16%	-22%	11%	0,31	-0,45	0,23	7,075	33,281	40,356	23%	-2%	3%	0,46	-0,04	0,05	
22	45,013	8,057	53,07	1							5,460	33,882	39,342							
19	57,985	3,023	61,008	2	16%	-54%	13%	0,33	-1,08	0,26	9,191	27,435	36,626	26%	-5%	3%	0,52	-0,10	0,05	
23	48,419	4,662	53,081	1							6,813	28,807	35,620							
20	58,993	2,933	61,926	2	14%	-24%	12%	0,27	-0,47	0,24	9,408	27,388	36,796	19%	0%	5%	0,37	0,01	0,10	
24	50,975	3,628	54,603	1							7,652	27,276	34,928							
25	55,731	6,321	62,052	2	14%	-22%	10%	0,28	-0,44	0,21	7,620	33,479	41,099	22%	-2%	3%	0,43	-0,04	0,05	
29	47,840	7,719	55,559	1							5,973	34,070	40,043							
26	56,720	6,191	62,911	2	15%	-23%	11%	0,30	-0,45	0,22	7,808	33,419	41,227	22%	-2%	3%	0,43	-0,04	0,05	
30	48,352	7,592	55,944	1							6,110	34,016	40,126							
27	61,523	2,763	64,286	2	13%	-23%	11%	0,26	-0,45	0,23	10,052	27,566	37,618	18%	0,45%	5%	0,35	0,01	0,10	
31	53,602	3,385	56,987	1							8,290	27,442	35,732							
28	62,535	2,684	65,219	2	13%	-23%	11%	0,26	-0,46	0,23	10,272	27,508	37,780	18%	0,40%	5%	0,35	0,01	0,10	
32	54,454	3,304	57,758	1							8,464	27,399	35,863							
				media	15%	-24%	12%	0,30	-0,49	0,236				media	22%	-1%	4%	0,44	-0,02	0,072

Tabla A.2.3: Resultados Efecto Factor solar

ENSAYOS COMPARADOS	Zona climática E			f adimen.	Variación en demanda energética (%)			Cambio porcentual con respecto a cambio de 1% en valor de U (W/m2K)			Zona climática A			Variación en demanda energética (%)			Cambio porcentual con respecto a cambio de 1% en valor de U (W/m2K)			
	Demanda energética (KWh/m2año)				Calefacción	Refrigeración	Total	Calefacción	Refrigeración	Total	Demanda energética (KWh/m2año)			Calefacción	Refrigeración	Total	Calefacción	Refrigeración	Total	
	Calefacción	Refrigeración	Total								Calefacción	Refrigeración	Total							
1	50,823	8,239	59,062	0,69	-12%	54%	-3%	-0,44	1,96	-0,11	6,269	35,534	41,803	-37%	19%	10%	-1,36	0,68	0,38	
3	57,006	3,791	60,797	0,5							8,608	28,877	37,485							
2	51,473	8,138	59,611	0,69	-12%	54%	-3%	-0,44	1,97	-0,11	6,383	35,489	41,872	-37%	19%	10%	-1,35	0,68	0,37	
4	57,676	3,723	61,399	0,5							8,748	28,846	37,594							
5	42,074	9,995	52,069	0,69	-15%	53%	-2%	-0,55	1,94	-0,07	4,681	36,225	40,906	-46%	20%	13%	-1,66	0,74	0,47	
7	48,419	4,662	53,081	0,5							6,813	28,807	35,620							
6	42,601	9,896	52,497	0,69	-15%	54%	-2%	-0,54	1,95	-0,07	4,761	36,187	40,948	-45%	20%	13%	-1,65	0,74	0,47	
8	48,982	4,595	53,577	0,5							6,919	28,781	35,700							
9	54,212	7,800	62,012	0,69	-12%	55%	-3%	-0,42	2,01	-0,12	6,956	35,682	42,638	-36%	19%	10%	-1,30	0,68	0,36	
11	60,527	3,493	64,020	0,5							9,439	29,006	38,445							
10	54,864	7,704	62,568	0,69	-12%	55%	-3%	-0,42	2,02	-0,12	7,075	35,637	42,712	-35%	19%	10%	-1,29	0,68	0,35	
12	61,198	3,430	64,628	0,5							9,581	28,971	38,552							
13	45,347	9,485	54,832	0,69	-14%	55%	-2%	-0,52	1,99	-0,09	5,275	36,350	41,625	-44%	20%	12%	-1,59	0,74	0,45	
15	51,865	4,286	56,151	0,5							7,579	28,920	36,499							
14	45,878	9,392	55,270	0,69	-14%	55%	-3%	-0,52	2,00	-0,09	5,359	36,308	41,667	-43%	20%	12%	-1,58	0,74	0,44	
16	52,428	4,224	56,652	0,5							7,688	28,891	36,579							
17	52,308	6,724	59,032	0,69	-11%	55%	-3%	-0,39	2,00	-0,12	6,892	33,342	40,234	-33%	18%	9%	-1,21	0,64	0,33	
19	57,985	3,023	61,008	0,5							9,191	27,435	36,626							
18	53,293	6,585	59,878	0,69	-11%	55%	-3%	-0,39	2,02	-0,12	7,075	33,281	40,356	-33%	18%	9%	-1,20	0,64	0,32	
20	58,993	2,933	61,926	0,5							9,408	27,388	36,796							
21	44,208	8,019	52,227	0,69	-10%	42%	-2%	-0,35	1,52	-0,06	5,329	33,944	39,273	-28%	15%	9%	-1,01	0,55	0,34	
23	48,419	4,662	53,081	0,5							6,813	28,807	35,620							
22	45,013	8,057	53,070	0,69	-13%	55%	-3%	-0,48	2,00	-0,11	5,460	33,882	39,342	-40%	19%	11%	-1,46	0,71	0,41	
24	50,975	3,628	54,603	0,5							7,652	27,276	34,928							
25	55,731	6,321	62,052	0,69	-10%	56%	-4%	-0,38	2,05	-0,13	7,620	33,479	41,099	-32%	18%	8%	-1,16	0,64	0,31	
27	61,523	2,763	64,286	0,5							10,052	27,566	37,618							
26	56,720	6,191	62,911	0,69	-10%	57%	-4%	-0,37	2,06	-0,13	7,808	33,419	41,227	-32%	18%	8%	-1,15	0,64	0,30	
28	62,535	2,684	65,219	0,5							10,272	27,508	37,780							
29	47,840	7,719	55,559	0,69	-12%	56%	-3%	-0,44	2,04	-0,09	5,973	34,070	40,043	-39%	19,45%	11%	-1,41	0,71	0,39	
31	53,602	3,385	56,987	0,5							8,290	27,442	35,732							
30	48,352	7,592	55,944	0,69	-13%	56%	-3%	-0,46	2,05	-0,12	6,110	34,016	40,126	-39%	19,45%	11%	-1,40	0,71	0,39	
32	54,454	3,304	57,758	0,5							8,464	27,399	35,863							
				media	-12%	54%	-3%	-0,44	1,97	-0,104	media				-37%	19%	10%	-1,36	0,68	0,379

Tabla A.2.4: Resultados Efecto U_f

ENSAYOS COMPARADOS	Uf W/m2K	Variación en demanda energética (%)			Cambio porcentual con respecto a cambio de 1% en valor de U (W/m2K)			Variación en demanda energética (%)			Cambio porcentual con respecto a cambio de 1% en valor de U (W/m2K)		
		Calefacción	Refrigeración	Total	Calefacción	Refrigeración	Total	Calefacción	Refrigeración	Total	Calefacción	Refrigeración	Total
1	2	1,26%	-1,24%	0,92%	0,03	-0,03	0,02	1,79%	-0,13%	0,16%	0,04	-0,003	0,004
2	3,5												
3	2	1,16%	-1,83%	0,98%	0,03	-0,04	0,02	1,60%	-0,11%	0,29%	0,04	-0,003	0,007
4	3,5												
5	2	1,24%	-1,00%	0,82%	0,03	-0,02	0,02	1,68%	-0,11%	0,10%	0,04	-0,002	0,002
6	3,5												
7	2	1,15%	-1,46%	0,93%	0,03	-0,03	0,02	1,53%	-0,09%	0,22%	0,04	-0,002	0,005
8	3,5												
9	2	1,19%	-1,25%	0,89%	0,03	-0,03	0,02	1,68%	-0,13%	0,17%	0,04	-0,003	0,004
10	3,5												
11	2	1,10%	-1,84%	0,94%	0,03	-0,04	0,02	1,48%	-0,12%	0,28%	0,03	-0,003	0,006
12	3,5												
13	2	1,16%	-0,99%	0,79%	0,03	-0,02	0,02	1,57%	-0,12%	0,10%	0,04	-0,003	0,002
14	3,5												
15	2	1,07%	-1,47%	0,88%	0,03	-0,03	0,02	1,42%	-0,10%	0,22%	0,03	-0,002	0,005
16	3,5												
17	2	1,85%	-2,11%	1,41%	0,04	-0,05	0,03	2,59%	-0,18%	0,30%	0,06	-0,004	0,007
18	3,5												
19	2	1,71%	-3,07%	1,48%	0,04	-0,07	0,03	2,31%	-0,17%	0,46%	0,05	-0,004	0,011
20	3,5												
21	2	1,79%	0,47%	1,59%	0,04	0,01	0,04	2,40%	-0,18%	0,18%	0,06	-0,004	0,004
22	3,5												
23	2	5,01%	-28,50%	2,79%	0,12	-0,66	0,06	10,96%	-5,61%	-1,98%	0,26	-0,131	-0,046
24	3,5												
25	2	1,74%	-2,10%	1,37%	0,04	-0,05	0,03	2,41%	-0,18%	0,31%	0,06	-0,004	0,007
26	3,5												
27	2	1,62%	-2,94%	1,43%	0,04	-0,07	0,03	2,14%	-0,21%	0,43%	0,05	-0,005	0,010
28	3,5												
29	2	1,06%	-1,67%	0,69%	0,02	-0,04	0,02	2,24%	-0,16%	0,21%	0,05	-0,004	0,005
30	3,5												
31	2	1,56%	-2,45%	1,33%	0,04	-0,06	0,03	2,06%	-0,16%	0,37%	0,05	-0,004	0,009
32	3,5												
	media	1,60%	-3,34%	1,20%	0,037	-0,078	0,028	2,49%	-0,48%	0,11%	0,058	-0,011	0,003

Tabla A.2.5: Resultados Efecto Permeabilidad al aire

ENSAYOS COMPARADOS	Zona climatica E			Permea.	Variación en demanda energética (%)			Cambio porcentual con respecto a cambio de 1% en valor de U (W/m2K)			Zona climatica A			Variación en demanda energética (%)			Cambio porcentual con respecto a cambio de 1% en valor de U (W/m2K)			
	Demanda energética (KWh/m2año)				Clase	Calefacción	Refrigeración	Total	Calefacción	Refrigeración	Total	Demanda energética (KWh/m2año)			Calefacción	Refrigeración	Total	Calefacción	Refrigeración	Total
	Calefacción	Refrigeración	Total									Calefacción	Refrigeración	Total						
1	50,823	8,239	59,062	C4							6,269	35,534	41,803							
9	54,212	7,800	62,012	C2	6,25%	-5,63%	4,76%	0,25	-0,22	0,19	6,956	35,682	42,638	9,88%	0,41%	1,96%	0,39	0,02	0,08	
2	51,473	8,138	59,611	C4							6,383	35,489	41,872							
10	54,864	7,704	62,568	C2	6,18%	-5,63%	4,73%	0,25	-0,22	0,19	7,075	35,637	42,712	9,78%	0,42%	1,97%	0,39	0,02	0,08	
3	57,006	3,791	60,797	C4							8,608	28,877	37,485							
11	60,527	3,493	64,020	C2	5,82%	-8,53%	5,03%	0,23	-0,34	0,20	9,439	29,006	38,445	8,80%	0,44%	2,50%	0,35	0,02	0,10	
4	57,676	3,723	61,399	C4							8,748	28,846	37,594							
12	61,198	3,430	64,628	C2	5,76%	-8,54%	5,00%	0,23	-0,34	0,20	9,581	28,971	38,552	8,69%	0,43%	2,48%	0,35	0,02	0,10	
5	42,074	9,995	52,069	C4							4,681	36,225	40,906							
13	45,347	9,485	54,832	C2	7,22%	-5,38%	5,04%	0,29	-0,21	0,20	5,275	36,350	41,625	11,26%	0,34%	1,73%	0,45	0,01	0,07	
6	42,601	9,896	52,497	C4							4,761	36,187	40,948							
14	45,878	9,392	55,270	C2	7,14%	-5,37%	5,02%	0,28	-0,21	0,20	5,359	36,308	41,667	11,16%	0,33%	1,73%	0,44	0,01	0,07	
7	48,419	4,662	53,081	C4							6,813	28,807	35,620							
15	51,865	4,286	56,151	C2	6,64%	-8,77%	5,47%	0,26	-0,35	0,22	7,579	28,920	36,499	10,11%	0,39%	2,41%	0,40	0,02	0,10	
8	48,982	4,595	53,577	C4							6,919	28,781	35,700							
16	52,428	4,224	56,652	C2	6,57%	-8,78%	5,43%	0,26	-0,35	0,22	7,688	28,891	36,579	10,00%	0,38%	2,40%	0,40	0,02	0,10	
17	52,308	6,724	59,032	C4							6,892	33,342	40,234							
25	55,731	6,321	62,052	C2	6,14%	-6,38%	4,87%	0,24	-0,25	0,19	7,620	33,479	41,099	9,55%	0,41%	2,10%	0,38	0,02	0,08	
18	53,293	6,585	59,878	C4							7,075	33,281	40,356							
26	56,720	6,191	62,911	C2	6,04%	-6,36%	4,82%	0,24	-0,25	0,19	7,808	33,419	41,227	9,39%	0,41%	2,11%	0,37	0,02	0,08	
19	57,985	3,023	61,008	C4							9,191	27,435	36,626							
27	61,523	2,763	64,286	C2	5,75%	-9,41%	5,10%	0,23	-0,37	0,20	10,052	27,566	37,618	8,57%	0,48%	2,64%	0,34	0,02	0,10	
20	58,993	2,933	61,926	C4							9,408	27,388	36,796							
28	62,535	2,684	65,219	C2	5,66%	-9,28%	5,05%	0,22	-0,37	0,20	10,272	27,508	37,780	8,41%	0,44%	2,60%	0,33	0,02	0,10	
21	44,208	8,019	52,227	C4							5,329	33,944	39,273							
29	47,840	7,719	55,559	C2	7,59%	-3,89%	6,00%	0,30	-0,15	0,24	5,973	34,070	40,043	10,78%	0,37%	1,92%	0,43	0,01	0,08	
22	45,013	8,057	53,070	C4							5,460	33,882	39,342							
30	48,352	7,592	55,944	C2	6,91%	-6,12%	5,14%	0,27	-0,24	0,20	6,110	34,016	40,126	10,64%	0,39%	1,95%	0,42	0,02	0,08	
23	48,419	4,662	53,081	C4							6,813	28,807	35,620							
31	53,602	3,385	56,987	C2	9,67%	-37,73%	6,85%	0,38	-1,50	0,27	8,290	27,442	35,732	17,82%	-4,97%	0,31%	0,71	-0,20	0,01	
24	50,975	3,628	54,603	C4							7,652	27,276	34,928							
32	54,454	3,304	57,758	C2	6,39%	-9,81%	5,46%	0,25	-0,39	0,22	8,464	27,399	35,863	9,59%	0,45%	2,61%	0,38	0,02	0,10	
				media	6,61%	-9,10%	5,23%	0,26	-0,36	0,21	media	10,28%	0,07%	2,09%	0,41	0,003	0,08			

Tabla A.2.6: Resultados Efecto % de marco

ENSAYOS COMPARADOS	Zona climatica E			% de marco	Variación en demanda energética (%)			Cambio porcentual con respecto a cambio de 1% en valor de U (W/m2K)			Zona climatica A			Variación en demanda energética (%)			Cambio porcentual con respecto a cambio de 1% en valor de U (W/m2K)			
	Demanda energética (KWh/m2año)				Calefacción	Refrigeración	Total	Calefacción	Refrigeración	Total	Demanda energética (KWh/m2año)			Calefacción	Refrigeración	Total	Calefacción	Refrigeración	Total	
	Calefacción	Refrigeración	Total								Calefacción	Refrigeración	Total							
1	50,823	8,239	59,062	20	2,84%	-22,53%	-0,05%	0,09	-0,68	-0,002	6,269	35,534	41,803	9,04%	-6,57%	-3,90%	0,27	-0,20	-0,12	
17	52,308	6,724	59,032	30							6,892	33,342	40,234							
2	51,473	8,138	59,611	20	3,42%	-23,58%	0,45%	0,10	-0,71	0,013	6,383	35,489	41,872	9,78%	-6,63%	-3,76%	0,29	-0,20	-0,11	
18	53,293	6,585	59,878	30							7,075	33,281	40,356							
3	57,006	3,791	60,797	20	1,69%	-25,41%	0,35%	0,05	-0,76	0,010	8,608	28,877	37,485	6,34%	-5,26%	-2,35%	0,19	-0,16	-0,07	
19	57,985	3,023	61,008	30							9,191	27,435	36,626							
4	57,676	3,723	61,399	20	2,23%	-26,93%	0,85%	0,07	-0,81	0,026	8,748	28,846	37,594	7,02%	-5,32%	-2,17%	0,21	-0,16	-0,07	
20	58,993	2,933	61,926	30							9,408	27,388	36,796							
5	42,074	9,995	52,069	20	4,83%	-24,64%	0,30%	0,14	-0,74	0,009	4,681	36,225	40,906	12,16%	-6,72%	-4,16%	0,37	-0,20	-0,12	
21	44,208	8,019	52,227	30							5,329	33,944	39,273							
6	42,601	9,896	52,497	20	5,36%	-22,82%	1,08%	0,16	-0,69	0,032	4,761	36,187	40,948	12,80%	-6,80%	-4,08%	0,38	-0,20	-0,12	
22	45,013	8,057	53,070	30							5,460	33,882	39,342							
7	48,419	4,662	53,081	20	0,00%	0,00%	0,00%	0,00	0,00	0,000	6,813	28,807	35,620	0,00%	0,00%	0,00%	0,00	0,00	0,00	
23	48,419	4,662	53,081	30							6,813	28,807	35,620							
8	48,982	4,595	53,577	20	3,91%	-26,65%	1,88%	0,12	-0,80	0,056	6,919	28,781	35,700	9,58%	-5,52%	-2,21%	0,29	-0,17	-0,07	
24	50,975	3,628	54,603	30							7,652	27,276	34,928							
9	54,212	7,800	62,012	20	2,73%	-23,40%	0,06%	0,08	-0,70	0,002	6,892	33,342	40,234	9,55%	0,41%	2,10%	0,29	0,01	0,06	
25	55,731	6,321	62,052	30							7,620	33,479	41,099							
10	54,864	7,704	62,568	20	3,27%	-24,44%	0,55%	0,10	-0,73	0,016	7,075	33,281	40,356	9,39%	0,41%	2,11%	0,28	0,01	0,06	
26	56,720	6,191	62,911	30							7,808	33,419	41,227							
11	60,527	3,493	64,020	20	1,62%	-26,42%	0,41%	0,05	-0,79	0,012	9,439	29,006	38,445	6,10%	-5,22%	-2,20%	0,18	-0,16	-0,07	
27	61,523	2,763	64,286	30							10,052	27,566	37,618							
12	61,198	3,430	64,628	20	2,14%	-27,79%	0,91%	0,06	-0,83	0,027	9,581	28,971	38,552	6,73%	-5,32%	-2,04%	0,20	-0,16	-0,06	
28	62,535	2,684	65,219	30							10,272	27,508	37,780							
13	45,347	9,485	54,832	20	5,21%	-22,88%	1,31%	0,16	-0,69	0,039	5,275	36,350	41,625	11,69%	-6,69%	-3,95%	0,35	-0,20	-0,12	
29	47,840	7,719	55,559	30							5,973	34,070	40,043							
14	45,878	9,392	55,270	20	5,12%	-23,71%	1,20%	0,15	-0,71	0,036	5,359	36,308	41,667	12,29%	-6,74%	-3,84%	0,37	-0,20	-0,12	
30	48,352	7,592	55,944	30							6,110	34,016	40,126							
15	51,865	4,286	56,151	20	3,24%	-26,62%	1,47%	0,10	-0,80	0,044	7,579	28,920	36,499	8,58%	-5,39%	-2,15%	0,26	-0,16	-0,06	
31	53,602	3,385	56,987	30							8,290	27,442	35,732							
16	50,975	3,628	56,652	20	6,39%	-9,81%	1,91%	0,19	-0,29	0,058	7,688	28,891	36,579	9,17%	-5,45%	-2,00%	0,28	-0,16	-0,06	
32	54,454	3,304	57,758	30							8,464	27,399	35,863							
				media	3,37%	-22,35%	0,79%	0,10	-0,67	0,02				media	8,76%	-4,80%	-2,16%	0,26	-0,144	-0,06

