

ETIQUETADO ENERGÉTICO DE VENTANAS EN ARGENTINA: ANÁLISIS CRÍTICO DE LA NORMA IRAM 11507-6 (2018) Y PROPUESTA ALTERNATIVA

Maureen de Gastines¹, Érica Correa¹, Andrea Pattini¹

¹Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Tel. 0261-5244344 e-mail: mdegastines@mendoza-conicet.gob.ar

Recibido 08/2023; Aceptado 10/2023

RESUMEN.- El etiquetado de eficiencia energética de ventanas tiene como objetivo reducir los consumos de energía para calefacción y refrigeración de edificios. Este trabajo expone un análisis crítico de la metodología propuesta en la norma de etiquetado de eficiencia energética de ventanas IRAM 11507-6 publicada en el año 2018. Luego desarrolla una propuesta alternativa para resolver cada uno de los problemas detectados en la norma. En particular, define una nueva zonificación, modifica las ecuaciones de balance energético para estimar mejor las ganancias solares, y agrega una calificación de la ventana con sombreado eficiente. Los resultados demuestran que la metodología propuesta ofrece una herramienta de calificación energética de ventanas sencilla, que diferencia adecuadamente las tecnologías disponibles en el mercado, brinda información más clara al consumidor, y refleja mejor el desempeño real de la abertura una vez instalada, en concordancia con estudios previos de caracterización detallada de la contribución de las ventanas a las demandas de energía edilicias.

Palabras clave: abertura, energía, calificación, zonificación, ganancia solar, sombreado.

WINDOWS ENERGY LABELING IN ARGENTINA: CRITICAL ANALYSIS OF THE IRAM 11507-6 STANDARD AND ALTERNATIVE METHODOLOGY PROPOSAL

ABSTRACT.- The energy efficiency labeling of windows aims to reduce buildings heating and cooling energy consumption. This work presents a critical analysis of the methodology proposed in the IRAM 11507-6 window energy efficiency labeling standard published in 2018. Then it develops an alternative proposal to solve each of the problems detected in the standard. In particular, it defines a new zoning, modifies the energy balance equations to better estimate solar heat gains, and adds a rating for the window with efficient shading. The results show that the proposed methodology offers a simple window energy-rating tool, which adequately differentiates the technologies available on the market, provides clearer information to the consumer, and better reflects the actual performance of the opening once installed, in accordance with previous studies of detailed characterization of the contribution of windows to building energy demands.

Keywords: window, energy, rating, zoning, solar heat gain, shading.

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto de crisis energética y ambiental que vivimos en la actualidad, es urgente mejorar la eficiencia energética del sector edilicio, que representa a nivel mundial más del 40% del consumo de energía final y un tercio de las emisiones de gases de efecto invernadero (Chen et al., 2018). En particular, las ventanas constituyen uno de los componentes de la envolvente edilicia de mayor impacto en las demandas de calefacción y refrigeración (Alwetaishi, 2019; Streicher et al., 2019; Thalfeldt et al., 2016). Una herramienta útil para reducir los consumos de energía en forma masiva ha sido el etiquetado de eficiencia energética de artefactos, que además ha permitido la difusión del uso racional de energía y la promoción de productos con eficiencia mejorada. Es por esto que el etiquetado de eficiencia energética de ventanas ha sido discutido e implementado en varios países en las últimas dos décadas (Pattini et al., 2013).

La norma IRAM 11507-6 de etiquetado de eficiencia energética

para ventanas exteriores (IRAM, 2018) propone una metodología para calificar el comportamiento energético de las ventanas a través de un sistema comparativo, compuesto por siete clases de eficiencia energética, tanto para el período de calefacción como para el período de refrigeración, en las distintas zonas del país.

Desde el sector académico, varios trabajos sobre la temática han sido publicados a nivel nacional. En Pattini et al. (2013) se muestra el procedimiento de distintos países para la certificación energética de ventanas y se propone un método para clasificar energéticamente aberturas mediante el Factor Energético de Ventanas (FEV). El trabajo de Pattini et al. (2015) analiza y compara dos caminos metodológicos para certificar energéticamente aberturas, uno a través del espacio y el otro a través de la ventana. Si bien el desempeño energético de las ventanas depende del espacio en el que están insertas, las autoras explican que “Argentina no posee estudios de tipologías edilicias típicas ni clasificadas por regiones climáticas ni normativa obligatoria sobre porcentaje de ventanas por orientación, ni determinación de consumo energético por m²

construido”, por lo cual proponen para Argentina el camino de certificación a través de la ventana, basado en una ecuación que considere únicamente los índices energéticos de la ventana (factor solar, transmitancia térmica e infiltraciones de aire) así como las variables climáticas de distintas localidades argentinas (grados-horas y radiación). De Gastines (2019) realizó un estudio paramétrico, en el que calculó, a través de simulaciones dinámicas, las contribuciones de una muestra representativa de ventanas a las demandas edilicias de energía para calefacción y refrigeración, para diversas localidades argentinas, orientaciones, geometrías edilicias, tipos de envolvente opaca, infiltraciones y superficies de ventana; para comparar luego las clasificaciones de ventanas obtenidas en las distintas configuraciones, y proponer una metodología de caracterización detallada del desempeño energético de ventanas. Si bien la metodología propuesta presenta mayor precisión y robustez que los balances estacionarios, requiere una gran cantidad de simulaciones para cada localidad. A nivel internacional, la norma ISO 18292 (2011) también ofrece metodologías detalladas para calcular el desempeño energético de ventanas, pero al ser una caracterización a través del espacio, requiere realizar previamente un estudio detallado de las tipologías edilicias de referencia en Argentina.

A raíz de la bibliografía mencionada, el presente trabajo expone un análisis crítico de la metodología propuesta en la norma IRAM 11507-6. Posteriormente desarrolla una propuesta alternativa, con el fin de obtener una herramienta de calificación energética de ventanas que sea más sensible a la tecnología, ofrezca información más clara al consumidor, y refleje mejor el desempeño real de la abertura una vez instalada. En la sección de resultados, se resume en una tabla los problemas detectados en la norma y las soluciones encontradas para resolverlos, y luego se aplica la metodología propuesta a una muestra de ventanas del mercado nacional, para comparar la nueva metodología con aquella establecida por la norma IRAM 11507-6 (2018) y evaluar las mejoras que aporta.

2. METODOLOGÍA

2.1. Análisis crítico de la norma IRAM 11507-6 (2018)

La calificación de las ventanas se determina mediante ecuaciones que corresponden a un balance energético estacionario establecido para el período de calefacción (o refrigeración) completo. Tanto los grados-horas de calefacción (o refrigeración)

como la irradiancia solar se suman a lo largo de todo el período estacional, para obtener los coeficientes GH_{cal} , GH_{ref} , I_{cal} e I_{ref} que ponderan los valores de transmitancia térmica (K) y factor solar (FS) de las aberturas en las ecuaciones (1) y (2).

$$\frac{E_{ref}}{A_{ve}} = I_{ref} \cdot FS_{ve} + (K_{inf,ref} + K_{ve}) \cdot GH_{ref} \quad (1)$$

$$\frac{E_{cal}}{A_{ve}} = I_{cal} \cdot FS_{ve} - (K_{inf,cal} + K_{ve}) \cdot GH_{cal} \quad (2)$$

donde:

E_{ref} = balance de las ganancias y las pérdidas de energía, en el período de refrigeración (kWh/m²)

E_{cal} = balance de las ganancias y las pérdidas de energía, en el período de calefacción (kWh/m²)

A_{ve} = área de la ventana (m²)

I_{ref} = irradiancia solar en el período de refrigeración (kWh/m²)

I_{cal} = irradiancia solar en el período de calefacción (kWh/m²)

FS_{ve} = factor solar de la ventana (-)

$K_{inf,ref}$ = coeficiente de infiltraciones en el período de refrigeración (kWh/m²)

$K_{inf,cal}$ = coeficiente de infiltraciones en el período de calefacción (kWh/m²)

K_{ve} = coeficiente de transmitancia térmica de la ventana (W/m²K)

GH_{ref} = grados-horas de refrigeración (kKh)

GH_{cal} = grados-horas de calefacción (kKh)

Sin embargo, si observamos la variación mensual de los valores de grados-horas e irradiancia solar para la localidad de Buenos Aires (figura 1), vemos que los meses de mayor demanda de calefacción corresponden justamente a los de menor disponibilidad del recurso solar. Considerar el período de calefacción completo (del 15 de abril al 5 de noviembre en el caso de Buenos Aires) resulta en un balance entre pérdidas y ganancias erróneo, ya que no se puede aprovechar en julio la radiación solar de octubre.

Los valores mensuales de irradiancia solar (figura 1) además ponen en evidencia que los valores de irradiancia solar considerados en la norma IRAM 11507-6 son anormalmente bajos. En el caso de Buenos Aires, los valores indicados para el período de calefacción (15 de abril al 5 de noviembre) y de refrigeración (8 de diciembre al 28 de febrero) son de 185 y 41 kWh/m² respectivamente. Mientras que el gráfico indica aproximadamente un total de 450 y 193 kWh/m² (respectivamente) para estos mismos perio-

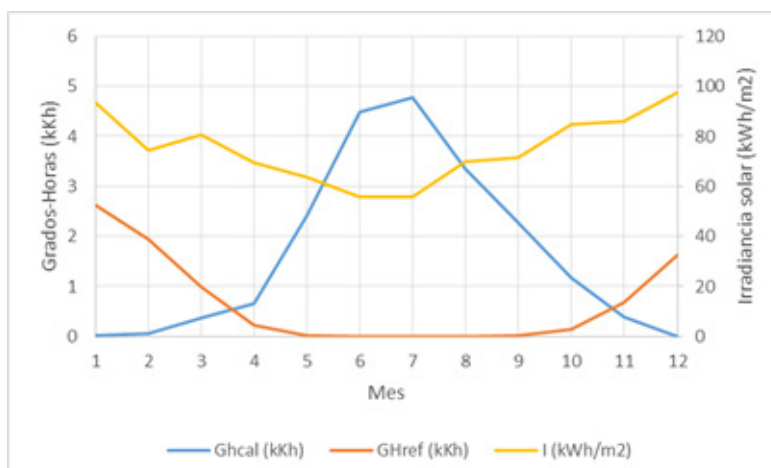


Fig. 1: Valores mensuales de grados-horas de calefacción, grados-horas de refrigeración e irradiancia solar vertical (promediada en las cuatro orientaciones) para la localidad de Buenos Aires.

dos. Esta diferencia muy significativa implica una subestimación importante de los aportes solares, lo cual es preocupante sobre todo para el período de refrigeración, en el que la ganancia solar incontrolada provoca grandes consumos de energía.

Otro punto discutible es que, en las ecuaciones de balance energético, se estiman las ganancias multiplicando la irradiancia solar por el Factor Solar de las ventanas, el cual es un índice calculado para incidencia normal de la radiación solar. Sin embargo, raras veces el sol incide perpendicularmente al plano de la ventana. A mayor ángulo de incidencia, menor es la transmitancia solar del vidrio. Por lo tanto las ecuaciones sobreestiman la ganancia solar.

En la norma IRAM 11507-6 (2018), se calcula la radiación vertical considerando una ponderación de las orientaciones dispar, en la que predomina la orientación norte (40%, versus 20% para las otras tres orientaciones), como se puede apreciar en la figura 2. No obstante, no existe ningún marco legal que justifique esta decisión. Adicionalmente, se puede cuestionar el hecho de promediar los valores de irradiancia, debido a que el recurso solar varía muy significativamente en función de la orientación de la ventana. Al calcular el promedio de la radiación solar incidente en las cuatro orientaciones (además ponderado a favor del norte), se considera un recurso solar que no va a estar disponible si la ventana está instalada en la fachada sur. En consecuencia, una ventana podría obtener una calificación elevada y luego no tener el desempeño esperado.

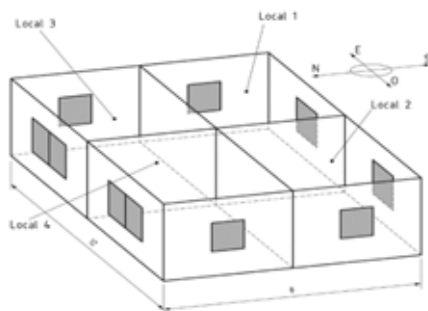


Fig. 2: Esquema del edificio de referencia utilizado para calcular el promedio ponderado de la irradiancia solar vertical. Fuente: IRAM 11507-6 (2018)

La etiqueta es para ventanas sin protección solar. En climas soleados como el de Argentina, durante el período de refrigeración, es imprescindible el control de la radiación solar incidente. Sin protección solar, la calificación de la ventana depende principalmente del factor solar de la misma (de Gastines, 2019). Por lo tanto, la etiqueta perjudica a las ventanas de vidrio claro, cuando éstas podrían estar equipadas de un sistema de control solar adicional, y de esta manera tener un buen desempeño durante el año completo (dado que son recomendables en invierno para captar la energía solar). En cambio, una ventana de bajo factor solar obtendrá una buena calificación para el período de refrigeración pero probablemente no para el período de calefacción, ya que no permitiría aprovechar la ganancia solar pasiva. En otras palabras, sin protección solar, ninguna ventana es ideal tanto para el invierno como para el verano. La etiqueta indicará en la mayoría de los casos una calificación elevada y otra baja, lo cual puede resultar confuso para el consumidor.

La zonificación establecida en la norma IRAM 11507 (2018) se

divide en cinco zonas (figura 3). Esta división no concuerda con los resultados encontrados por de Gastines (2019), que indican que el desempeño de las ventanas se asemeja en localidades de latitudes similares, en particular en Mendoza y Buenos Aires, o en Neuquén y Bahía Blanca. Aquí Mendoza pertenece a la zona 1, Buenos Aires y Bahía Blanca a la zona 3, y Neuquén a la zona 4.



Fig. 3: Zonificación climática como aparece ilustrada en la etiqueta. Fuente: IRAM 11507-6 (2018)

Además, la norma define una misma escala de valores de flujo de energía en los períodos de calefacción y refrigeración para la calificación energética de las ventanas en las zonas 1, 2, 3 y 4. Sin embargo, al ser diferentes las condiciones climáticas en estas cuatro zonas, el balance de energía de una misma tecnología de ventana va a tener diferentes órdenes de magnitud según la zona considerada. Por lo tanto, si la escala de calificación es única, la diferencia de condiciones climáticas va a impactar en la calificación resultante, interfiriendo en la diferenciación entre tecnologías, la cual constituye el objetivo real de la etiqueta.

Por último, las ecuaciones consideran los intercambios térmicos por infiltraciones de aire, sin embargo en las localidades analizadas por de Gastines (2019), las infiltraciones de aire tienen un impacto promedio reducido en la contribución de las ventanas a las demandas de calefacción y refrigeración (figura4), aún más teniendo en cuenta que la norma tiene como requisito que el caudal por metro lineal de junta (medido según la IRAM 11523) debe ser como máximo 6 m3/mh. Si bien el clima de algunas localidades del país se caracteriza por velocidades elevadas de viento, no se puede generalizar esta condición a toda una zona climática, por lo tanto solamente introduciría un mayor nivel de incertidumbre en las ecuaciones de balance energético.

2.2. Propuesta de una metodología alternativa

Se utilizaron los archivos climáticos de la página Climate One Building establecidos en base al período de tiempo 2007-2021 y disponibles para numerosas localidades de Argentina. Se analizaron cuarenta y nueve localidades repartidas en las distintas provincias del país. Para el cálculo de los grados-horas, se consideró un mismo período de calefacción y refrigeración para todas las localidades, comprendido por los meses de mayor demanda: junio, julio, agosto y diciembre, enero, febrero. Esto permite una comparación más coherente del desempeño de las ventanas en las diferentes localidades, y mejora la estimación de las ganancias solares (menor variación de los ángulos de incidencia). Se calcularon los grados-horas de calefacción y refrigeración utilizando como temperaturas base 18°C y 22°C, de

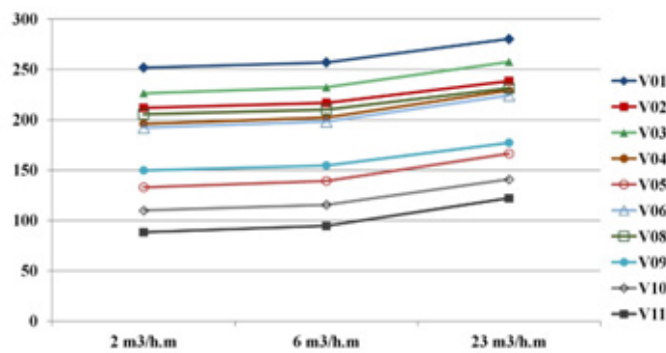


Fig. 4: Impacto de la variable infiltraciones de aire en la variación de la contribución total (en kWh/m².año) de las ventanas a la demanda de energía para calefacción y refrigeración. Fuente: de Gastines (2019).

manera a obtener valores de grados-horas más representativos del balance entre demanda de calefacción y refrigeración (debido a las ganancias solares e internas, la demanda de calefacción es menor y la demanda de refrigeración mayor de lo que indican los grados-horas para las temperaturas de confort usuales de 20°C y 24°C) y permitir una primera definición estimativa de las zonas climáticas. Se consideró un promedio de la radiación solar incidente en las cuatro orientaciones cardinales, sumándolo a lo largo de los mismos períodos de tres meses, expresado en kWh/m².

Se modificaron las ecuaciones de balance energético agregando al término de la ganancia solar un coeficiente reductor, para tomar en cuenta la disminución de la transmitancia solar en función del ángulo de incidencia de la radiación, que raramente incide perpendicularmente al plano de la ventana. Además, debido a que la radiación solar directa varía significativamente en función de la orientación, se propuso calcular el coeficiente reductor de manera a considerar únicamente la ganancia solar difusa durante el período de invierno (caso más desfavorable). Es decir que, si la ventana está expuesta a la radiación solar directa (por ejemplo, orientación norte sin obstrucción), tendrá en la realidad un mejor desempeño durante el período de calefacción de lo que indica la etiqueta. Pero evitamos la situación contraria para la orientación sur, donde la etiqueta podría indicar un buen desempeño que no se vería reflejado en el uso.

Para calcular el valor del coeficiente reductor, se utilizó el programa EnergyPlus para obtener la intensidad hora a hora de la radiación directa e indirecta, así como el ángulo de incidencia de la radiación solar directa, en las cuatro orientaciones cardinales. Luego se utilizaron los valores angulares y hemisférico de transmitancia solar de un vidrio claro de 4mm de espesor (ID #9802) obtenidos mediante el uso del programa WINDOW 7.7 del Lawrence Berkeley National Laboratory, para calcular la ganancia directa hora a hora en función del ángulo de incidencia, así

como la ganancia solar difusa (multiplicando la intensidad de radiación difusa por la transmitancia solar hemisférica). Finalmente se sumó la ganancia solar directa y/o difusa a lo largo de los períodos de tres meses previamente definidos, para luego dividir el total por la radiación solar total incidente (promediada en las cuatro orientaciones) en estos períodos. El valor resultante indica cuál es la proporción de la radiación incidente que atraviesa la ventana, y al dividirlo por el factor solar nominal del vidrio claro analizado (0.88), se obtiene el coeficiente reductor.

Se propuso agregar a la calificación de la ventana sin elemento de control solar, una calificación de la ventana con un sistema de sombreado eficiente. El criterio utilizado para ello fue suponer que cada vez que la radiación solar directa incide sobre la ventana, se aplica un elemento de control solar que bloquea la componente directa por completo y filtra la mitad de la componente difusa. Se obtiene así otro coeficiente reductor.

La Tabla 1 indica los coeficientes reductores calculados para varias localidades de distintas latitudes, para verificar que son similares. Se eligieron los coeficientes obtenidos para la localidad de Buenos Aires, que tiene la mayor densidad poblacional argentina.

Las ecuaciones resultantes son las siguientes (no se toman en cuenta los intercambios térmicos por infiltraciones de aire):

$$\frac{E_{cal}}{A_{ve}} = 0,39 \cdot I_{cat} \cdot FS_{ve} - K_{ve} \cdot GH_{cat} \quad (3)$$

$$\frac{E_{ref}}{A_{ve}} = 0,85 \cdot I_{ref} \cdot FS_{ve} + K_{ve} \cdot GH_{ref} \quad (4)$$

$$\frac{E_{ref,CS}}{A_{ve}} = 0,37 \cdot I_{ref} \cdot FS_{ve} + K_{ve} \cdot GH_{ref} \quad (5)$$

donde:

E_{cal} = balance de las ganancias y las pérdidas de energía, en el período de calefacción (kWh/m²)

Tabla 1: valores de coeficiente reductor para distintas localidades del país. Columna 1: sólo considera la ganancia solar difusa (invierno). Columna 2: considera la ganancia solar directa y difusa máxima (verano sin control solar). Columna 3: considera sólo la ganancia difusa, además reducida a la mitad durante las horas de incidencia de la radiación directa (verano con control solar).

COEFICIENTE REDUCTOR	Radiación difusa - Invierno	Radiación total - Verano	Con control solar - Verano
Buenos Aires	0.39	0.85	0.37
Mendoza	0.31	0.86	0.36
Córdoba	0.33	0.86	0.40
Tartagal	0.38	0.87	0.46
Trelew	0.34	0.87	0.32
promedio	0.35	0.86	0.38

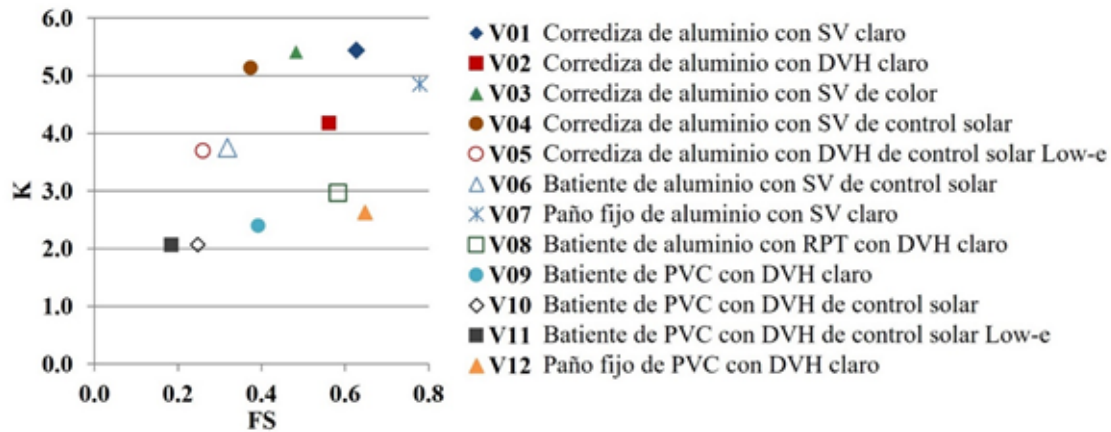


Fig. 5: Índices K (W/m^2K) y FS de la muestra de ventanas seleccionada. SV = Simple Vidriado; DVH = Doble Vidriado hermético; RPT = Ruptura de Puente Térmico; $Low-e$ = bajo emisivo. Adaptado de (de Gastines, 2019)

E_{ref} = balance de las ganancias y las pérdidas de energía, en el período de refrigeración (kWh/m^2)

$E_{ref,CS}$ = balance de las ganancias y las pérdidas de energía de la ventana con un sistema de control solar eficiente, en el período de refrigeración (kWh/m^2)

A_{ve} = área de la ventana (m^2)

I_{cal} = irradiancia solar en el período de calefacción (kWh/m^2)

I_{ref} = irradiancia solar en el período de refrigeración (kWh/m^2)

FS_{ve} = factor solar de la ventana (-)

K_{ve} = coeficiente de transmitancia térmica de la ventana (W/m^2K)

GH_{cal} = grados-horas de calefacción (kKh)

GH_{ref} = grados-horas de refrigeración (kKh)

Se estableció una nueva zonificación, siguiendo el procedimiento descrito a continuación:

1) Análisis de los valores de grados-horas e irradiancia

2) Agrupación preliminar de las localidades de mayor densidad poblacional, excluyendo las localidades inciertas

3) Cálculo de los valores de grados-horas e irradiancia promedios para cada uno de estos grupos

4) Cálculo de los valores de E_{cal} , E_{ref} y $E_{ref,CS}$ para una muestra de ventanas del mercado nacional en cada grupo (utilizando los valores promedios calculados en el punto 3). La muestra de ventanas utilizada fue definida en de Gastines (2019), utilizando la técnica del análisis de conglomerados para obtener una muestra homogéneamente distribuida y que cubra el rango de valores de transmitancia térmica y factor solar disponibles en el mercado (figura 5).

5) Para cada localidad no incluida en la agrupación preliminar, cálculo de los valores de E_{cal} , E_{ref} y $E_{ref,CS}$ para la misma muestra de ventanas

6) Para cada una de estas localidades, comparación de las posiciones relativas de las ventanas de la muestra con las posiciones relativas obtenidas para cada grupo (en el punto 4). Asignación de la localidad al grupo para el cual la posición relativa de las ventanas sea más parecida.

7) Mapeo de las localidades analizadas (figura 6)

8) Propuesta de una zonificación final (figura 7) acorde al análisis anterior.

Finalmente, se propone definir siete rangos para la calefacción y la refrigeración, excepto en la zona 1 en el período de calefacción, ya que los rangos tendrían una amplitud baja ($8 kWh/m^2$ versus 11 y $16 kWh/m^2$ para las zonas 2 y 3 respectivamente) y además los primeros tres rangos corresponderían a un balance de energía positivo (donde las ganancias solares superan las pérdidas) por lo que se propone dividir en cuatro rangos en este caso. En la zona 3, se propone calificar únicamente en el período de calefacción, debido a que los grados-horas de refrigeración son insignificantes a comparación de los grados-horas de calefacción (643 contra 32619 , ver tabla 5). Las escalas de calificaciones propuestas se indican a continuación (Tabla 2).



Fig. 6: Mapeo de las localidades analizadas, agrupadas por color de acuerdo a las similitudes observadas en la clasificación relativa de las ventanas de la muestra seleccionada para el estudio.

Tabla 2: Escalas de calificación energética propuestas

Zona 1		Zona 1		Zona 2		Zona 2		Zona 3	
ESCALA	CALEFACCIÓN	ESCALA	REFRIGERACIÓN	ESCALA	CALEFACCIÓN	ESCALA	REFRIGERACIÓN	ESCALA	CALEFACCIÓN
A	Mayor que 9.8	A	Menor que 62.4	A	Mayor que -9.8	A	Menor que 61.8	A	Mayor que -62.2
B	-6.5 a 9.8	B	62.4 a 89.4	B	-21.2 a -9.8	B	61.8 a 91.9	B	-78.6 a -62.2
C	-22.8 a -6.5	C	89.4 a 116.5	C	-32.5 a -21.2	C	91.9 a 121.9	C	-94.9 a -78.6
D	Menor que -22.8	D	116.5 a 143.5	D	-43.9 a -32.5	D	121.9 a 151.9	D	-111.3 a -94.9
		E	143.5 a 170.6	E	-55.3 a -43.9	E	151.9 a 182	E	-127.6 a -111.3
		F	170.6 a 197.7	F	-66.6 a -55.3	F	182.0 a 212	F	-144 a -127.6
		G	Mayor que 197.7	G	Menor que -66.6	G	Mayor que 212	G	Menor que -144



Zona 1	Provincias: Jujuy, Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja, Santiago del Estero, Formosa, Chaco, Corrientes, Misiones Departamentos de Santa Fe: 9 de Julio – Vera – General Obligado – San Cristóbal – San Justo – San Javier
Zona 2	Provincias: San Juan, Mendoza, San Luis, Córdoba, La Pampa, Buenos Aires, Entre Ríos Departamentos de Santa Fe: Castellanos – Las Colonias – La Capital – Garay – San Martín – San Jerónimo – Belgrano – Iriondo – Caseros – San Lorenzo – Rosario – General López – Constitución Departamentos de Neuquén: Pehuenche – Añelo – Confluencia Departamentos de Río Negro: General Roca – Avellaneda – Pichi Mahuida – Conesa – Adolfo Alsina – San Antonio – Valcheta
Zona 3	Provincias: Chubut, Santa Cruz, Tierra del Fuego Departamentos de Neuquén: Minas – Chos Malal – Ñorquin – Loncopué – Picunches – Zapala – Aluminé – Catán Lil – Picún Leufú – Huiliches – Collón Curá – Lácar – Los Lagos Departamentos de Río Negro: El Cuy – Pilcaniyeu – Bariloche – Ñorquinco – 25 de Mayo – 9 de Julio

Fig. 7: Zonificación propuesta para el etiquetado energético de ventanas

Tabla 3: Problemas detectados en la norma IRAM 11507-6 (2018) y soluciones propuestas

Problemas detectados	Soluciones propuestas
Períodos de calefacción y refrigeración demasiado largos para que el balance estacionario sea representativo de los meses de mayor demanda	Definición de períodos de calefacción y refrigeración de tres meses: junio, julio, agosto y diciembre, enero, febrero
Promedio ponderado de la irradiancia solar a favor de la orientación norte	Promedio equitativo de la irradiancia solar en las cuatro orientaciones cardinales
Cuantificación de los intercambios térmicos por infiltraciones de aire, utilizando valores promedios de velocidad de viento para cada zona climática, que incrementa el nivel de incertidumbre	No se toman en cuenta los intercambios térmicos por infiltraciones de aire
Cálculo de la ganancia solar: por un lado los valores de irradiancia considerados son anormalmente bajos, por otro lado el FS es un índice calculado para incidencia normal	Cálculo de un coeficiente reductor para estimar las ganancias solares reales, teniendo en cuenta la disminución de la transmitancia solar en función del ángulo de incidencia de la radiación
Riesgo de sobreestimación de las ganancias solares en situaciones de fachada sur o con obstrucciones del entorno	Consideración de la ganancia solar difusa únicamente (caso más desfavorable) para el período de calefacción
Certificación de la ventana sin elemento adicional de control solar, conduciendo a calificaciones “opuestas” para el período de calefacción y refrigeración, que pueden resultar confusas para el usuario	Introducción de una calificación de la ventana equipada de un sistema de control solar eficiente, para contrastar la calificación de la ventana sin control solar en el período de refrigeración
Zonificación que no concuerda con los resultados publicados en de Gastines (2019).	Propuesta de una nueva zonificación basada en las similitudes en la clasificación de ventanas
Escala de calificación única para cuatro zonas climáticas, lo cual no favorece la diferenciación tecnológica	Definición de una escala de calificación propia a cada zona climática, para una mayor sensibilidad a la tecnología de ventana

3. RESULTADOS

3.1. Comparación de los errores asociados a la zonificación

La Tabla 3 resume los problemas detectados y las soluciones asociadas.

Las tablas 4 y 5 indican, para la zonificación establecida en la norma IRAM 11507-6 (2018) y la zonificación propuesta en el

presente trabajo (respectivamente), el promedio, la desviación estándar y el error (calculado como el ratio entre desviación estándar y promedio) asociados a los grados-horas, la irradiancia solar y el ratio entre ambos valores, tanto para el período de calefacción y refrigeración. La última variable (ratio entre grados-horas e irradiancia) es particularmente interesante debido a que la linealización de las ecuaciones de balance energético (dividiendo el balance de las ganancias y las pérdidas de energía por la irradiancia solar) permite obtener una ecuación en la que los índices FS y K están balanceados por la variable independiente GH/I. Las celdas coloreadas en gris indican que no se califica a la refrigeración en esta zona. El resto de las celdas que cuantifican los errores están coloreadas en una escala que va del verde al rojo, proporcional al valor del error.

En el caso de la zonificación establecida por la norma, excepto para la zona 5 (provincia Tierra del Fuego) para la cual sólo se disponía de un archivo climático (localidad de Ushuaia), los errores para las variables $\text{GH}_{\text{cal}}/\text{I}_{\text{cal}}$ y $\text{GH}_{\text{ref}}/\text{I}_{\text{ref}}$ superan los 20%,

y son particularmente elevados para las zonas 1 y 4 (entre 33% y 82%). En cambio, para la zonificación propuesta en el presente trabajo, a pesar de haber reducido la cantidad de zonas a tres en lugar de cinco, se observa que los errores para las variables $\text{GH}_{\text{cal}}/\text{I}_{\text{cal}}$ y $\text{GH}_{\text{ref}}/\text{I}_{\text{ref}}$ se sitúan entre 14% y 33% (descartando el caso de la refrigeración en la zona 3). Se concluye que la zonificación propuesta es más precisa y adecuada para el etiquetado energético de aberturas.

3.2. Comparación de los resultados obtenidos para la muestra de ventanas con ambos métodos.

Las tablas 6 y 7 indican las calificaciones obtenidas para la muestra de ventana seleccionada (figura 5), aplicando la metodología establecida en IRAM 11507-6 y la metodología alternativa propuesta, respectivamente. En la primera, se observa que no hay una buena diferenciación de las tecnologías en ciertos casos, como en la zona 2 durante el período de calefacción, donde todas las ventanas obtienen calificaciones comprendidas entre B y D, o

Tabla 4: Promedio, desviación estándar y error asociados a las distintas variables climáticas relevantes, para cada zona de la zonificación establecida en la norma IRAM 11507-6 (2018)

PROMEDIO	GH_{cal} (Kh)	GH_{ref} (Kh)	I_{cal} (kWh/m ²)	I_{ref} (kWh/m ²)	$\text{GH}_{\text{cal}}/\text{I}_{\text{cal}}$	$\text{GH}_{\text{ref}}/\text{I}_{\text{ref}}$
Zona 1	16590	7844	228	239	73	34
Zona 2	9518	9589	195	241	48	40
Zona 3	17277	6108	199	269	88	23
Zona 4	27875	3111	163	308	177	10
Zona 5	33988	0	81	261	417	0

DESVIACIÓN ESTÁNDAR	GH_{cal} (Kh)	GH_{ref} (Kh)	I_{cal} (kWh/m ²)	I_{ref} (kWh/m ²)	$\text{GH}_{\text{cal}}/\text{I}_{\text{cal}}$	$\text{GH}_{\text{ref}}/\text{I}_{\text{ref}}$
Zona 1	5989	3321	15	29	27	15
Zona 2	3123	1742	12	12	15	9
Zona 3	2797	1267	19	13	19	5
Zona 4	5670	2545	22	14	58	8
Zona 5	0	0	0	0	0	0

ERROR	GH_{cal} (Kh)	GH_{ref} (Kh)	I_{cal} (kWh/m ²)	I_{ref} (kWh/m ²)	$\text{GH}_{\text{cal}}/\text{I}_{\text{cal}}$	$\text{GH}_{\text{ref}}/\text{I}_{\text{ref}}$
Zona 1	36%	42%	7%	12%	37%	44%
Zona 2	33%	18%	6%	5%	31%	22%
Zona 3	16%	21%	9%	5%	21%	22%
Zona 4	20%	82%	13%	4%	33%	82%
Zona 5	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 5: Promedio, desviación estándar y error asociados a las distintas variables climáticas relevantes, para cada zona de la zonificación propuesta en el presente trabajo.

PROMEDIO	GH_{cal} (Kh)	GH_{ref} (Kh)	I_{cal} (kWh/m ²)	I_{ref} (kWh/m ²)	$\text{GH}_{\text{cal}}/\text{I}_{\text{cal}}$	$\text{GH}_{\text{ref}}/\text{I}_{\text{ref}}$
Zona 1	9050	10491	205.7	228.5	43.36	45.95
Zona 2	18442	6540	196.3	273.2	95.02	24.05
Zona 3	32619	643	127.0	290.5	272.90	2.14

DESVIACIÓN ESTÁNDAR	GH_{cal} (Kh)	GH_{ref} (Kh)	I_{cal} (kWh/m ²)	I_{ref} (kWh/m ²)	$\text{GH}_{\text{cal}}/\text{I}_{\text{cal}}$	$\text{GH}_{\text{ref}}/\text{I}_{\text{ref}}$
Zona 1	3016	1448	21.3	11.9	11.32	6.26
Zona 2	3318	887	18.3	23.6	21.33	3.59
Zona 3	2645	513	28.7	19.0	89.78	1.69

ERROR	GH_{cal} (Kh)	GH_{ref} (Kh)	I_{cal} (kWh/m ²)	I_{ref} (kWh/m ²)	$\text{GH}_{\text{cal}}/\text{I}_{\text{cal}}$	$\text{GH}_{\text{ref}}/\text{I}_{\text{ref}}$
Zona 1	33%	14%	10%	5%	26%	14%
Zona 2	18%	14%	9%	9%	22%	15%
Zona 3	8%	80%	23%	7%	33%	79%

en la zona 4 durante el período de refrigeración, donde todas las ventanas obtienen la calificación A. Lo último se debe a que la cantidad de grados-horas de refrigeración es muy baja, y demuestra que no es relevante calificar a la refrigeración en la zona 4. En la zona 4 durante el período de calefacción, la única ventana que obtiene una buena calificación es la V12, una carpintería de PVC de tipología paño fijo con un DVH (Doble Vidriado Hermético) claro. Todas las otras ventanas obtienen calificaciones comprendidas entre D y G, a pesar de que algunas sean conservativas (coeficiente de transmitancia térmica inferior a 2.40 W/m²K en el caso de las ventanas V9, V10 y V11) y constituyen opciones interesantes, particularmente en la orientación sur donde no incide la radiación solar directa en los meses de invierno.

En cuanto a las calificaciones obtenidas para el período de refrigeración en la zona 3, observamos que las calificaciones de todas las ventanas están comprendidas entre A y D, y que las ventanas V8 y V12 obtienen una calificación B a pesar de tener factores solares elevados (0.583 y 0.647 respectivamente). Sin embargo, en el estudio detallado de la contribución de las ventanas a las demandas de calefacción y refrigeración mencionado en la introducción (de Gastines, 2019), en las localidades de Buenos Aires y Córdoba (pertenecientes a la zona 3 según IRAM 11507-6), las ventanas sin control solar provocan elevadas demandas de energía de refrigeración, de un orden de magnitud diez veces superior a las demandas de calefacción. Por lo tanto, asignarles una calificación B no refleja el gran consumo de energía que estas ventanas pueden generar si no cuentan con un dispositivo adecuado de control solar.

Aplicando la metodología propuesta en este trabajo, en cambio, se observa (figura 7) que, en el período de calefacción, en la zona 3 todas las ventanas conservativas obtienen una calificación A, mientras que en la zona 2, es importante que las ventanas, además de ser aislantes, tengan un factor solar elevado para

aprovechar las ganancias solares pasivas. En la zona 1, no es muy relevante la transmitancia térmica de las aberturas, ya que por las condiciones de temperatura y radiación solar características de la región, un factor solar elevado alcanza para compensar las pérdidas de energía por diferencia de temperatura.

En el período de refrigeración, tanto para la zona 1 como para la zona 2, se observa que es fundamental que la ventana tenga un factor solar muy bajo (inferior a 0.260), o que cuente con un sistema de control solar eficiente, para obtener calificaciones A o B. Al exponer las calificaciones tanto para la ventana sin protección como para la ventana equipada de un sistema de control solar eficiente, esta etiqueta pone en evidencia la importancia del sombreado de las aberturas durante el verano, y no perjudica a las ventanas conservativas de vidrio claro (V8 y V12).

4. CONCLUSIONES

El método propuesto para calificar la eficiencia energética de ventanas en Argentina resuelve los problemas detectados en la norma actual de etiquetado energético de ventanas IRAM 11507-6, ofreciendo resultados coherentes con los resultados de simulaciones detalladas publicados anteriormente. Establece una zonificación más sencilla (3 zonas en lugar de 5) y adecuada para la evaluación del desempeño energético de aberturas; permite una buena diferenciación de la tecnología para cada zona climática; y ofrece una información clara para el consumidor en cuanto al desempeño durante el período de refrigeración, evidenciando la importancia de los dispositivos de control solar adicionales, exceptuando si la ventana por sí sola posee un factor solar bajo.

AGRADECIMIENTOS

Fuentes de financiamiento: PICT2019-04356 y Proyecto PUE 096 del INAHE-CONICET.

Tabla 6: Calificaciones obtenidas para la muestra de ventana seleccionada, de acuerdo a la norma IRAM 11507-6 (2018) (CAL = período de calefacción; REF = período de refrigeración).

	K	FS	Zona 1		Zona 2		Zona 3		Zona 4		Zona 5
			CAL	REF	CAL	REF	CAL	REF	CAL	REF	CAL
V1	5.44	0.627	C	E	D	G	E	D	G	A	F
V2	4.17	0.562	B	D	C	F	D	C	G	A	F
V3	5.42	0.482	D	D	D	G	F	C	G	A	G
V4	5.14	0.374	E	D	D	F	F	B	G	A	F
V5	3.69	0.260	D	B	C	D	E	A	G	A	F
V6	3.75	0.318	D	C	C	D	E	A	G	A	F
V7	4.85	0.778	A	E	B	G	B	D	G	A	F
V8	2.96	0.583	A	D	B	E	A	B	D	A	C
V9	2.40	0.392	A	B	B	D	B	A	E	A	C
V10	2.07	0.247	B	A	B	B	C	A	F	A	C
V11	2.06	0.184	B	A	B	B	D	A	F	A	C
V12	2.63	0.647	A	D	B	E	A	B	A	A	B

Tabla 7: Calificaciones obtenidas para la muestra de ventana seleccionada, de acuerdo a la metodología propuesta en el presente trabajo (CS = Control Solar).

	K	FS	Zona 1			Zona 2			Zona 3
			CAL	REF	REF CS	CAL	REF	REF CS	CAL
V1	5.44	0.627	B	F	C	E	E	C	F
V2	4.17	0.562	B	E	B	D	E	B	D
V3	5.42	0.482	C	E	C	F	D	B	G
V4	5.14	0.374	D	D	B	G	C	B	F
V5	3.69	0.260	C	B	A	E	B	A	D
V6	3.75	0.318	C	C	B	E	C	A	D
V7	4.85	0.778	A	G	C	C	G	C	D
V8	2.96	0.583	A	D	B	A	E	B	A
V9	2.40	0.392	B	C	A	B	C	A	A
V10	2.07	0.247	B	B	A	B	B	A	A
V11	2.06	0.184	B	A	A	C	A	A	A
V12	2.63	0.647	A	E	B	A	E	B	A

REFERENCIAS

- Alwetaishi, M. (2019). Impact of glazing to wall ratio in various climatic regions: A case study. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 31, 6–18. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2017.03.001>
- Chen, Y., Norford, L.K., Samuelson, H.W., Malkawi, A. (2018). Optimal control of HVAC and window systems for natural ventilation through reinforcement learning. *Energy and Buildings*, 169, 195–205. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.051>
- De Gastines, M. (2019). Desarrollo de un Método de Caracterización para Etiquetado Energético de Ventanas Exteriores Vinculado a la Complejidad Tecnológica, Energética y Climática Argentina. Tesis doctoral, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza.
- ISO 18292 (2012). Energy performance of fenestration systems for residential buildings — Calculation procedure.
- IRAM 11507-6 (2018). Carpintería de obra - Ventanas exteriores. Parte 6 - Etiquetado de eficiencia energética.
- Pattini, A., Correa, E., Villalba, A., Fernández Llano, J., de Gastines, M. (2015). Certificación de eficiencia energética de ventanas. Implicancias de distintos caminos para su determinación. Libro de actas de la XXXVIII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente, 3, 07.51-07.60.
- Pattini, A.E., Villalba, A., Correa, E., Llano, J.C.F. (2013). Análisis de la certificación de eficiencia energética de ventanas. Índices termo-luminicos. Encuentro Latinoamericano de Uso Racional y Eficiente de la Energía - ELUREE2013. Buenos Aires, Argentina.
- Streicher, K.N., Padey, P., Parra, D., Bürer, M.C., Schneider, S., Patel, M.K. (2019). Analysis of space heating demand in the Swiss residential building stock: Element-based bottom-up model of archetype buildings. *Energy and Buildings*, 184, 300–322. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.12.011>
- Thalfeldt, M., Kurnitski, J., Voll, H. (2016). Detailed and simplified window model and opening effects on optimal window size and heating need. *Energy and Buildings*, 127, 242–251. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.002>