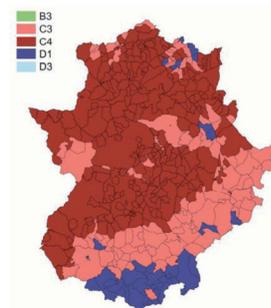


Nuevo procedimiento para caracterización climática de regiones utilizable con el código técnico de edificación. Aplicación a Extremadura



New procedures to characterize climatically regions used according technical building code. Application in Extremadura



Fernando López-Rodríguez¹, Antonio Ruíz-Celma², Francisco Jesús Moral-García¹, Elena Pulido-Granado²

¹ Universidad de Extremadura. Departamento de Expresión Gráfica.

² Universidad de Extremadura. Departamento de Ingeniería Mecánica, Energética y Materiales. Avenida de Elvas, s/n - 06071 Badajoz.

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7937> | Recibido: 18/01/2016 • Evaluado: 24/02/2016 • Aceptado: 03/11/2016

ABSTRACT

• The new quality requirements set by the European Directives in regard to the limitation of energy demand in buildings, require that the established levels are based on weather conditions. In this paper a methodology for determination of a variable is known as climatic severity of the municipalities in an zone or region, so that has been refined and clarified processes, studying more novel methods for the determination present more precise climatic zones.

You must have full climate records of municipalities, and if you do not have them or to complete them, following the rejection of traditional procedures for calculating sunshine hours, was introduced by interpolation, newest, used in other fields with corrections, thus improving the climate characterization it is done in the TBC.

With regard to climatic severities it is also novel correction is carried out with the degree-day, using an average altitude corresponding to the municipalities of Extremadura with climate records, or consistent novelty in the final detailed study of the municipalities that were in limits areas and possible mismatches that occur. Finally it discusses and describes the climate of the region, reaching associate most areas to C4 zone (cold winters and hot summers), against zoning TBC, which links southern Extremadura area to the D1, similar to the north of Spain, where the winters and the summers are cool, which does not match the current climate in the south of Extremadura.

The methodology developed in this work allows to establish the climatic zoning of any city in accordance with the Spanish Regulations on Energy Efficiency needed to meet these quality requirements Buildings, getting a more detailed zoning and accurate than existing previously.

• **Keywords:** Climate Severity, climatic zones, sunshine hours, degree-days.

Es necesario disponer de registros climáticos completos de municipios, y si no se dispone de ellos o para completarlos, tras el rechazo de procedimientos tradicionales para el cálculo de las horas de sol, se introdujo el de interpolación, más novedoso, utilizado en otros campos, con correcciones, mejorando así la caracterización climática que se realiza en el CTE.

El procedimiento se aplica a los 387 municipios de la Comunidad Autónoma de Extremadura, siguiendo directrices del Documento Básico HE Ahorro de energía, sección HE 1: Limitación de demanda energética del Código Técnico de la Edificación (CTE)

Por lo que respecta a las severidades climáticas es también novedosa la corrección que se lleva a cabo con los grados-día, utilizándose como altitud promedio la correspondiente a la de los municipios de Extremadura con registros climáticos, o la novedad consistente en el estudio final pormenorizado de los municipios que se encontraban en zonas límites y los posibles desajustes que se producen. Finalmente se discute y califica el clima de la región, llegándose a asociar la mayoría de las áreas a la zona C4 (inviernos fríos y veranos calurosos), frente a la zonificación del CTE, que asocia zona sur de Extremadura a la zona D1, similar a la del norte de España, donde los inviernos y los veranos son frescos, lo que no coincide con el actual el clima en el sur de Extremadura.

La metodología desarrollada en este trabajo permite establecer la zonificación climática de cualquier localidad acorde con las Normativa Española sobre Eficiencia Energética en Edificios necesarias para cumplir esas exigencias de calidad, consiguiendo una zonificación más detallada y precisa que las existentes anteriormente.

Palabras clave: severidad climática, zonas climáticas, horas de sol, grados día.

RESUMEN

Las nuevas exigencias de calidad establecidas por las Directivas Europeas en lo que se refiere a la limitación de la demanda energética en edificios, requieren que los niveles exigidos se basen en las condiciones climáticas. En el presente trabajo se presente una metodología para determinación de una variable que se conoce como severidad climática de los municipios en una zona o región, de forma que se han perfeccionado y precisado procesos, estudiando procedimientos más novedosos para la determinación más precisa de las zonas climáticas.

1. INTRODUCCIÓN

La normativa española ha tenido que adaptarse a las exigencias europeas en lo relativo a la eficiencia energética de los edificios, y así, mediante el Real Decreto 235/2013 [1], de 5 de abril se transpone parcialmente la Directiva 2010/31/UE [2] del Parlamento Europeo y se refunde el Real Decreto 47/2007 [3], de forma que se aprueba un procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios existentes y de nueva construcción, teniendo en consideración además la experiencia de la aplicación en los últimos cinco años del RD. 47/2007.

En el Documento Básico HE Ahorro de energía sección HE 1: Limitación de demanda energética del Código Técnico de la Edificación (CTE) [4], se establecen 12 zonas climáticas las cuales se clasifican en función de una variable definida para tal fin, severidad climática, que es el cociente entre la demanda energética de un edificio cualquiera en dicha localidad y la correspondiente al mismo edificio en una localidad de referencia.

Se define una severidad climática para el invierno (SCI) cuando la demanda energética utilizada en el cálculo es la demanda de calentamiento del edificio y otra para el verano (SCV) si la demanda energética utilizada es la de enfriamiento. En ambos casos se ha tomado Madrid como localidad de referencia, siendo, por tanto, su severidad climática la unidad.

Establecido el procedimiento, los reglamentos clasifican las 52 capitales de provincias Españolas en 12 zonas climáticas identificadas mediante una letra (A, B, C, D, y E), correspondiente a la división de invierno, y un número (1, 2, 3,4), correspondiente a la división de verano. Cuando una localidad no está incluida en la

lista anterior, se proponen diferentes métodos simplificados para el cálculo de la zona climática correspondiente.

Se han realizado distintas aproximaciones y estudios para poder establecer características climáticas en municipios de regiones europeas y Españolas como los de determinación de los registros de "años climáticos normalizados" [16], o los procedimientos de interpolación basados en el cuadrado de la distancia de Shepard [8], aplicados a la determinación de la radiación solar [13, 14], mejorados con los efectos orográficos y de altitud para cálculo de la distancia efectiva de Lefevre [10, 11] o los de Sánchez de la Flor et al. de zonificación climática [16]

En el presente trabajo, se presenta una metodología para determinación de las severidades climáticas en una región como Extremadura con climatología extrema (mucho calor y frío), de forma que se han perfeccionado y precisado procesos, estudiando procedimientos más novedosos que permiten la determinación más precisa de las zonas climáticas en donde se encuentran los 387 municipios de la Comunidad Autónoma de Extremadura, y finalmente se llega a calificar globalmente el clima de la mencionada región. Estos procedimientos permiten la determinación de la zonificación de cualquier municipio desde el punto de vista de pertenencia a una región, acorde con la Normativa Española sobre eficiencia energética en edificios.

La Fig. (1), muestra la zonificación climática actual según el CTE, para Extremadura.

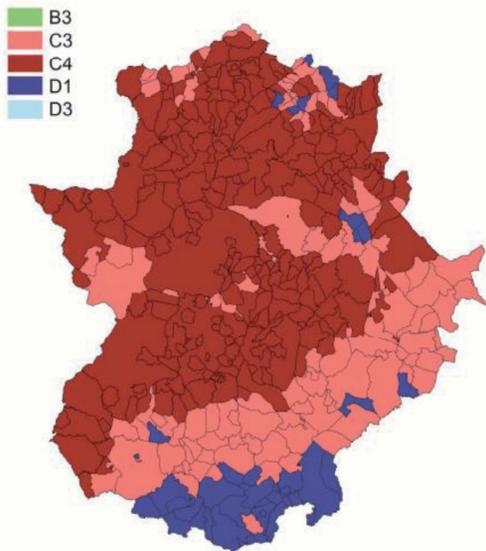


Fig. 1: Zonificación climática actual según Código Técnico de la Edificación para Extremadura

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Todo el proceso para la determinación de las severidades climáticas y posterior asignación de zonas climáticas se llevó a cabo en dos etapas. La primera fue la de obtención de registros climáticos normalizados de todos los municipios de la región incluidos los que disponían de variables climáticas y los que carecían de algunas o todas.

La segunda consistió en el establecimiento de la zonificación climática de los municipios con los registros y los datos climáticos anteriores, finalizando con el proceso de obtención de las severidades climáticas de toda la Región de Extremadura.

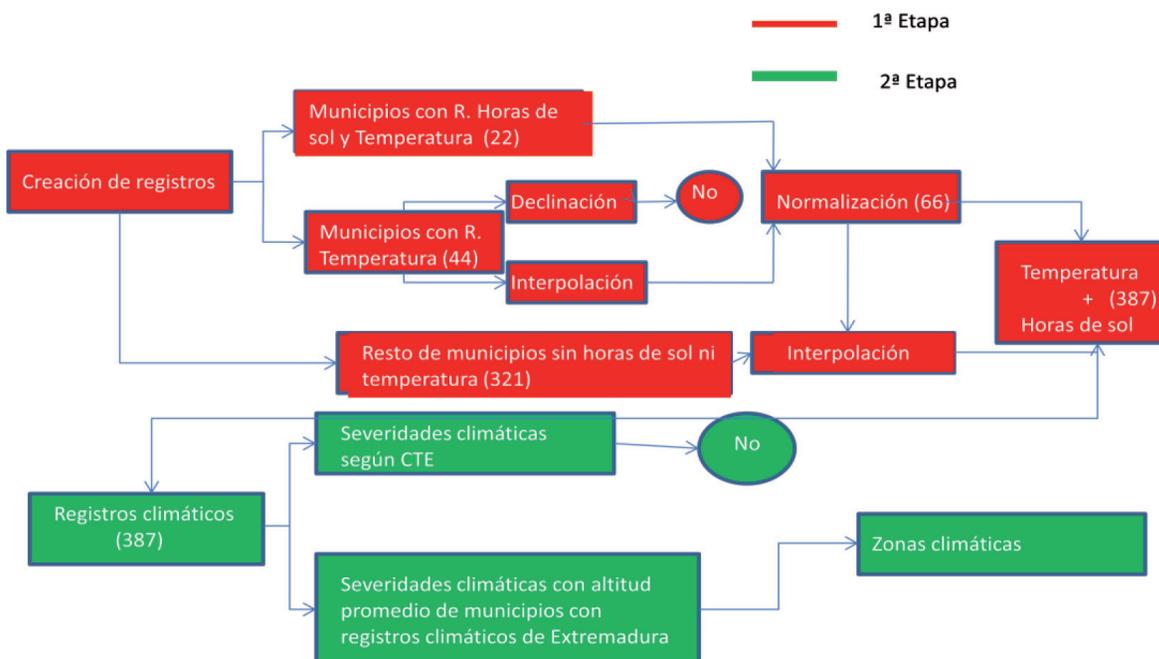


Fig. 2: Diagrama de flujo y resumen del proceso

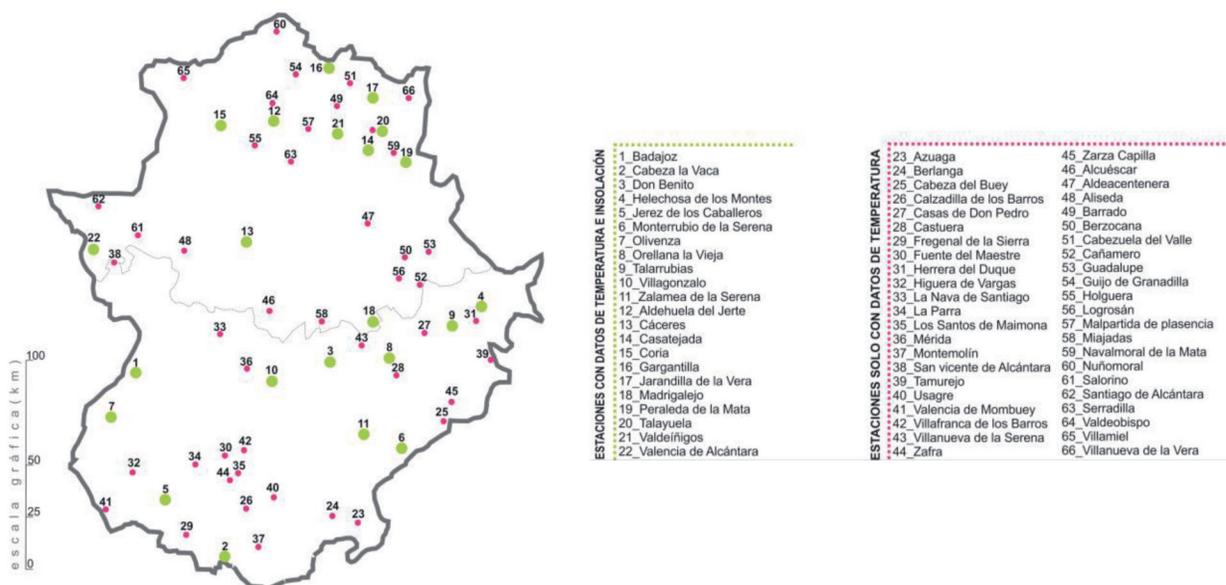


Fig. 3: Densidad y localización de las estaciones meteorológicas en Extremadura

La Fig. (2) muestra un diagrama de flujo en donde se resume todo el proceso.

La primera etapa, obtención y formalización de los registros climáticos, se llevó a cabo de acuerdo con las fases siguientes:

1. Creación de registros climáticos

Para la generación de los registros climáticos, la información meteorológica analizada procedió de Organismos Oficiales: Estado (AEMet) [5] y Gobierno de Extremadura [6], donde se registraban los datos de temperatura (T) y horas de sol (N) hasta el año 2015.

Estos registros se sometieron a un análisis estadístico para detectar anomalías y datos inconsistentes, generando una base de datos para un total de 66 municipios, de los que 22 disponían de registros de temperatura y horas de sol y 44 solo de datos de temperatura. La Fig.(3), muestra la densidad y localización de estaciones en la región de Extremadura.

De acuerdo con el CTE estas 44 estaciones habría que descartarlas, pero para no perder una cantidad importante de datos, se decidió utilizar la temperatura medida e intentar estimar las horas de sol de esos municipios, a partir de los datos que se disponía.

Las horas de sol máximas teóricas, es decir, las que se producirían en un día en ausencia de nubosidad, se calcularían para el día 15 de cada mes N_{dia15} con los procedimientos actuales, de la siguiente forma:

$$N_{\text{dia15}} = \frac{24w}{\pi} \quad (1)$$

Siendo,
 N_{dia15} : Número de horas de sol teóricas del día 15 de cada mes
 w : ángulo horario, es el ángulo correspondiente a la aparición y desaparición del sol en el plano horizontal

La expresión de w es la siguiente:

$$w = \cos^{-1}(-\tan(\text{Declinacion}_{15\text{mes}}) \tan(\text{latitud})) \quad (2)$$

Siendo:
 $\text{Declinacion}_{15\text{mes}}$: Declinación del día 15 de cada mes

La declinación se puede calcular mediante la ecuación de Cooper [7] siguiendo la expresión:

$$\text{Declinacion}_{15\text{mes}} = 23.45 \cdot \sin\left(2\pi \frac{284 + \text{dia año}_{\text{mes}}}{365}\right) \quad (3)$$

Siendo,
 $\text{Dia año}_{\text{mes}}$: el día acumulado para cada mes

Finalmente, el número de horas de sol máximas teóricas de un mes será:

$$N = N_{\text{dia15}} \cdot \text{días}_{\text{mes}} \quad (4)$$

Siendo:
 N : número de horas de sol máximas teóricas de un mes
 días_{mes} : número de días que tiene el mes

Se observa en las expresiones (2) y (3) que la variable más sensible para el cálculo de w y N_{dia15} es la latitud, siendo el intervalo de variación de latitudes de Extremadura el comprendido entre $37^{\circ} 56'$ y $40^{\circ} 29'$, por lo que las diferencias de horas de sol entre poblaciones extremas no deben ser muy significativas.

En la Fig. (4) se representa para Extremadura la variación de las horas de sol de los municipios que disponen de datos en relación con la latitud. Puede comprobarse que la latitud no influye en las

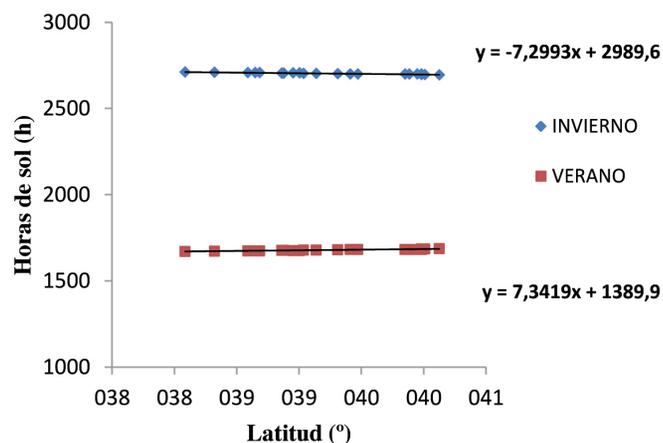


Fig. 4: Variación de las horas de sol con la latitud en Extremadura

horas de sol de los municipios, por lo que se rechazó este procedimiento, dado su falta de precisión.

Por ello, y con objeto de conseguir la máxima precisión en la obtención de datos, para aquellos municipios (44) que solo disponían de datos de temperatura, se recurrió a determinar las horas de sol mediante un proceso de interpolación, basado en el método del inverso del cuadrado de la distancia, o método gravitatorio de Shepard [8], que a su vez utiliza el desarrollado por Zelenka et al. [9], con aplicación de las siguientes penalizaciones:

- Penalización debida a la diferencia de altura, Zelenka et al. [9].
- Penalización por la distancia Norte-Sur o latitud calculada por Wald y Lefèvre [10, 11].

Estos procedimientos de interpolación ya han sido utilizados en otras aplicaciones, como por ejemplo cálculo de la radiación solar [13, 14], habiéndose obtenido buenos resultados.

Bajo estas premisas, se llevó a cabo la interpolación de forma que se establece la influencia que tiene cada municipio con registro climático sobre el municipio a interpolar, la cual está en función de la distancia geográfica, la diferencia de altura y la diferencia de latitud.

Este método asume que cada punto en el conjunto de datos tiene una influencia local que disminuye con la distancia y que, por lo tanto, los valores de los puntos cercanos al que se estudia tienen mayor peso en el valor que será asignado al mismo, teniendo influencia la latitud y la altura topográfica [10, 11].

La distancia geográfica entre dos municipios que se denominan 1 y 2, puede obtenerse con la expresión:

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} \quad (5)$$

Siendo x e y las coordenadas UTM del municipio y z representa la altura sobre el nivel del mar, todas expresadas en km.

Para la primera penalización, referida a la altura entre municipios, se realiza la corrección debida a Zelenka et al. [9], que establece que 50 km de distancia horizontal es equivalente a 100 m de altitud para el cálculo de las horas de sol, por lo que la expresión (5) se modifica de la siguiente forma:

$$d = \sqrt{(d_{hor})^2 + [(z_1 - z_2)]^2} \quad (6)$$

donde la distancia horizontal, d_{hor} , viene dada por:

$$d_{hor} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (7)$$

El factor de corrección se introduce a continuación, por tanto f_d para obtener la distancia efectiva será:

$$f_d = \sqrt{(d_{hor})^2 + 500(z_1 - z_2)^2} \quad (8)$$

Como ya se ha indicado, la segunda corrección surge de la penalización por la diferencia en latitud F_{NS} , debida a Wald y Lefèvre [10, 11], que influye de la siguiente forma:

$$F_{NS} = 1 + 0.3 \cdot |\phi_2 - \phi_1| \cdot \left[1 + \frac{(\text{sen}\phi_2 + \text{sen}\phi_1)}{2} \right] \quad (9)$$

$$f_{dl} = F_{NS} \cdot f_d \quad (10)$$

Donde f_{dl} es el factor de corrección conjunto por diferencia de alturas y diferencia de latitudes, y ϕ es la latitud expresada en grados.

Por tanto, introducida las dos correcciones, como consecuencia de las penalizaciones, la distancia efectiva expresada en km viene dada por:

$$d_{dl} = \sqrt{F_{NS}^2 (d_{hor})^2 + 500(z_1 - z_2)^2} \quad (11)$$

El factor de ponderación para llevar a cabo la interpolación y obtener las horas de sol efectivas sería:

$$w_i = \frac{\frac{1}{(d_{dl}^2)^2}}{\sum_{j=1}^m \frac{1}{(d_{dlj}^2)^2}} \quad (12)$$

Donde w_i es el factor de ponderación para el municipio de referencia i, rodeado de m municipios, que sirve para obtener las horas efectivas de sol.

Por tanto, la expresión para el cálculo de las horas de sol para los municipios que no disponen de registros climáticos es la siguiente:

$$n = \sum_{i=1}^m w_i \cdot n_i \quad (13)$$

donde i es la referencia del municipio, n son las horas de sol acumuladas y m es el número de municipios asumidos en el proceso de interpolación.

2. Normalización de registros climáticos

Los registros obtenidos en el apartado anterior no coincidían con los correspondientes a los utilizados en los programas de referencia para la calificación energética de edificios, surgidos a partir del RD 47/2007 o RD 235/2013 donde se dispone de años tipo para las capitales de provincia de España y, en concreto, para las dos capitales de provincia de Extremadura, en el periodo 61-90 (Guía resumida del clima en España 1961-1990) [15].

Se ha desarrollado una metodología capaz de generar lo que se ha llamado "años climáticos normalizados", siendo éstos el conjunto de registros mensuales de variables climáticas (en este caso de temperatura y horas de sol) generados a partir del año tipo de la capital de provincia a la que pertenece.

Esta metodología de tratamiento de datos climáticos ya ha sido utilizada en otras investigaciones [16] con buenos resultados, debiéndose obtener, en primer lugar, la desviación de temperatura y horas de sol para la capital de provincia.

La normalización consiste en la aplicación a cada municipio o estación meteorológica, y a cada una de las variables climáticas que cuentan con registros climáticos, las mismas desviaciones que las calculadas para su correspondiente capital de provincia, a la hora de normalizar datos climáticos.

3. Obtención del resto de registros por interpolación

Finalmente, se procedió de igual forma con el resto de los 321 municipios restantes, en este caso utilizando los mismos procedimientos de interpolación, tanto para las horas de sol como para la temperatura, y de la misma forma se tuvo en cuenta la distancia geográfica y las penalizaciones por altura y latitud.

En este caso, para la interpolación de temperaturas, la corrección toma una expresión similar a la (11), en donde la constante adquiere un valor de 100 como consecuencia de que 10 km en distancia horizontal equivalen a 100 m de altitud, por lo que la distancia efectiva en km viene dada por:

$$d_{dl} = \sqrt{F_{NS}^2 (d_{hor})^2 + 100(z_1 - z_2)^2} \quad (14)$$

Por tanto, las expresiones para llevar a cabo el cálculo de las temperaturas en los municipios que carecen de registros climáticos son idénticas a las (12) y (13).

La **segunda etapa** fue la de asignación de las zonas climáticas en Extremadura, para lo que se siguió el procedimiento descrito en el Documento Básico HE Ahorro de energía sección HE1 del CTE, denominado "Determinación de las zonas climáticas basada en registros climáticos"[4].

Para ello se ha utilizado la correlación que se define en el CTE, denominada severidad climática, una para invierno (SCI) y otra para verano (SCV), en donde la combinación de ambas severidades da lugar a las zonas climáticas. Ésta se obtiene a través de las dos variables que se exponen a continuación, las cuáles se calcularán para los meses de octubre a mayo, para el invierno, y para los de junio a septiembre, para el verano:

1. **Grados-día:** se determina mediante la temperatura media mensual en °C, su desviación tipo y la temperatura base (20°C), según la norma UNE-EN ISO 15927-6: Diferencias acumuladas de temperatura (en grados día) [17].
2. **Relación entre horas de sol mensuales y horas de sol mensuales máximas:** la primera se obtiene de registros climáticos y la segunda se calcula en función de la declinación solar y la latitud del lugar.

Mediante la utilización de los registros climáticos obtenidos anteriormente con una corrección final de los grados-días, debido a que la altura media de los municipios utilizados como referencia no tiene por qué coincidir con la del municipio interpolado, se obtiene la zonificación climática de estos municipios. Ello es debido a que los grados día dependen de la altitud incrementándose en invierno y disminuyendo en verano con el incremento de altitud, tal como puede apreciarse en la Fig. (5).

Las expresiones de las severidades climáticas de invierno y verano son las siguientes:

$$SCI = a \cdot GD + b \cdot \frac{n}{N} + c \cdot GD^2 + d \cdot \left(\frac{n}{N}\right)^2 + e \quad (15)$$

$$SCV = a \cdot GD + b \cdot GD^2 + c \quad (16)$$

dónde:

SCI: Severidad climática en invierno

SCV: Severidad climática en verano

a, b, c, d, e: Coeficientes establecidos en el mencionado anexo del CTE.

GD: media de los grados-día en base 20 para los meses de octubre a mayo para la SCI, y de junio a septiembre para la SCV.

n/N: cociente entre horas de sol para el municipio y el número de horas de sol máximas sumadas cada una de ellas por separado para los meses de octubre a mayo.

Los GD se calculan en base a la utilización de la norma UNE-EN ISO 15927-6, pero dado que la altura media de los municipios utilizados de referencia en el cálculo no tienen por qué coincidir con la del municipio objeto de estudio, se utilizará un factor de corrección que se extrae de la pendiente de la recta de invierno o verano, resultante del ajuste de GD en relación con la altitud.

$$GD_{inv} = GD_{inv} + (H - h) \cdot \frac{58.93}{100} \quad (17)$$

$$GD_{ver} = GD_{ver} - (H - h) \cdot \frac{13.71}{100} \quad (18)$$

siendo:

$GD_{inv, ver}$: grados día medio para los meses de invierno o verano

H: altura del municipio a calcular

h : altura promedio de las estaciones utilizada anteriormente, calculada siguiendo un procedimiento análogo al cálculo de las temperaturas y horas de sol.

$$h = \sum_{i=1}^m p_i h_i \quad (19)$$

en donde:

p_i : factor de ponderación similar al de las temperaturas y horas de sol para el cálculo de la altura promedio

h_i : altitud de los municipios con datos climáticos

Para el cálculo de severidades climáticas en toda España se han utilizado como municipios de referencia las capitales de todas las provincias españolas [16]. Pero en el caso estudiado, algunas de estas ciudades pertenecen a zonas climáticas que no se dan en Extremadura, por lo que se utilizó un valor único y procedente de la altura promedio de los municipios de Extremadura que disponían de registros climáticos, siendo ésta, otra de las precisiones introducidas.

En la Fig. (5) se representa el ajuste de los grados-día frente a la altitud, tanto para invierno como para verano.

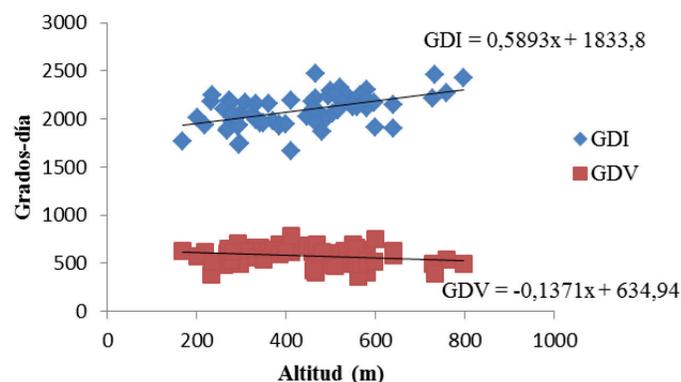


Fig. 5: Distribución de grados-día frente a la altitud para municipios de Extremadura

El documento "Escala de Calificación Energética para Edificios de Nueva Construcción" [4] fija para la asignación de las zonas climáticas seis divisiones para invierno y cuatro divisiones para verano. En la Fig. (6) se aprecia una vista parcial del esquema de calificación energética, donde se ubican los municipios de Extremadura, representados en este caso por un punto, con solo tres zonas climáticas en invierno y dos en verano.

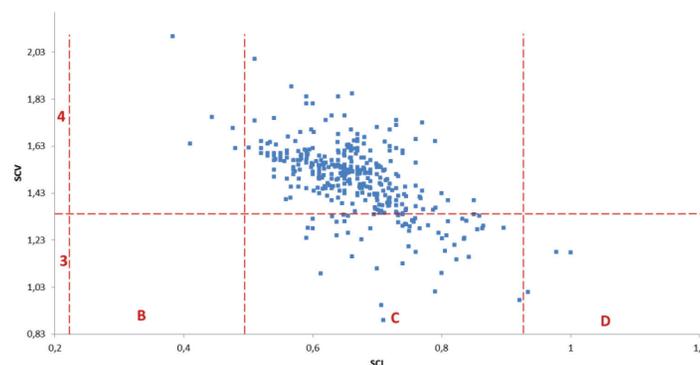


Fig. 6: Vista parcial del esquema de zonificación energética para los municipios de Extremadura

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Fig. (5) se observa que en el ajuste de los grados-día frente a la altitud en invierno la dependencia es mayor que en el verano. Ello se debe a que los grados-día se contabilizan en base 20, y cuando aumenta la altitud, la temperatura de los municipios baja, y el cálculo para temperaturas inferiores a la temperatura base (20° C) se contabiliza en la mayoría de los días, despreciándose los días cuya temperatura es superior a 20° C.

En verano existe muy poca dependencia entre las dos variables, debido a que con la altitud aumenta el número de días con temperaturas inferiores a 20° C, que no son tenidos en cuenta para el cálculo de los grados-día.

Con los grados-día de invierno y verano corregidos, así como con las horas de sol, tanto de invierno y verano, se obtienen SCI y SCV, según las correlaciones establecidas por el CTE (15, 16).

La combinación de los procedimientos expuestos (para municipios con o sin registros climáticos) permiten la obtención de la zona climática para los 387 municipios de la región de Extremadura Fig. (6). La Fig. (7) muestra la nueva distribución de zonas climáticas en Extremadura, frente a la del CTE, obtenidas según el procedimiento descrito anteriormente.

La homogeneidad de la geografía extremeña queda reflejada en la poca variedad de zonas climáticas presentes. De los 387 municipios, 299 pertenecen a la zona C4 y 81 a la C3, quedando únicamente 5 en B3 y 2 en D3, correspondiéndose estos últimos con los lugares de mayores altitudes (superiores a 1000 m).

Si se compara la zonificación climática recogida por el CTE y la nueva distribución que se propone (Fig. 7), puede comprobarse que hay cambios importantes en la zonificación. Así, la zona sureste de la región aparece en la nueva zonificación con mayor severidad climática en invierno, igualando al de la mayoría de la región, lo que indica que el clima tiende a homogeneizarse.

Al mismo tiempo, y siguiendo con esta misma apreciación, desaparecen zonas de excesiva severidad climática en invierno, D1, y se homogeniza a las zona C4, que es la predominante, y aparecen zonas de clima más suave D3, que representan tal vez lugares con cierto microclima distinto al predominante, aunque no demasiado alejado.

Se ha llevado a cabo un análisis pormenorizado de aquellos municipios que se encontraban en el límite de zonas, para lo cual se han tenido en cuenta los valores de sus severidades climáticas y que éstos se hubiesen obtenido de datos medidos o interpolados, además de las zonas climáticas de su entorno y las condiciones del relieve de todo el término municipal.

De los 21 casos así estudiados, finalmente se consideró que debían cambiar de zona los municipios de Nuñomoral y Jaraíz de la Vera en Cáceres y de Puebla de Sancho Pérez en Badajoz, y en los resultados que se presentan ya aparecen con esta corrección (Fig. 7). Por ejemplo, el municipio de Nuñomoral según el CTE su zona climática era C4. Tras la aplicación del procedimiento su zona fue la D3 y posteriormente tras el análisis pormenorizado se le asignó la zona C3.

4. CONCLUSIONES

La metodología desarrollada se ha llevado a cabo en base a una serie de procedimientos ya utilizados en determinados estudios, perfeccionándolos y aplicándolos al tema tratado, de otros nuevos introducidos como consecuencia del rechazo a los tradicionales, y finalmente se ha concluido con una nueva caracterización climática de la región en este caso Extremadura.

En efecto, para poder utilizar los registros climáticos de municipios que carecían de horas de sol, se intentaron estimar éstas siguiendo un procedimiento normal que empleaba el ángulo horario y la declinación. Los resultados obtenidos no eran aceptables ya que no existía dependencia entre las horas de sol y la latitud del lugar, Fig. (4), lo que no es cierto.

Por ello se utilizaron procedimientos de interpolación que emplean registros completos de municipios, en base al inverso del cuadrado de las distancias de Shepard [8], con la corrección de altura topográfica de Zelenka [9] y la que tiene en cuenta la latitud de Lefèvre [10, 11], que ya se habían utilizado para el cálculo de la radiación solar [13, 14] con buenos resultados.

Posteriormente, se normalizaron los registros, dadas las diferencias que existían con los de los programas de referencia para calificación energética de edificios (Calener, Lider, etc.) [10], que

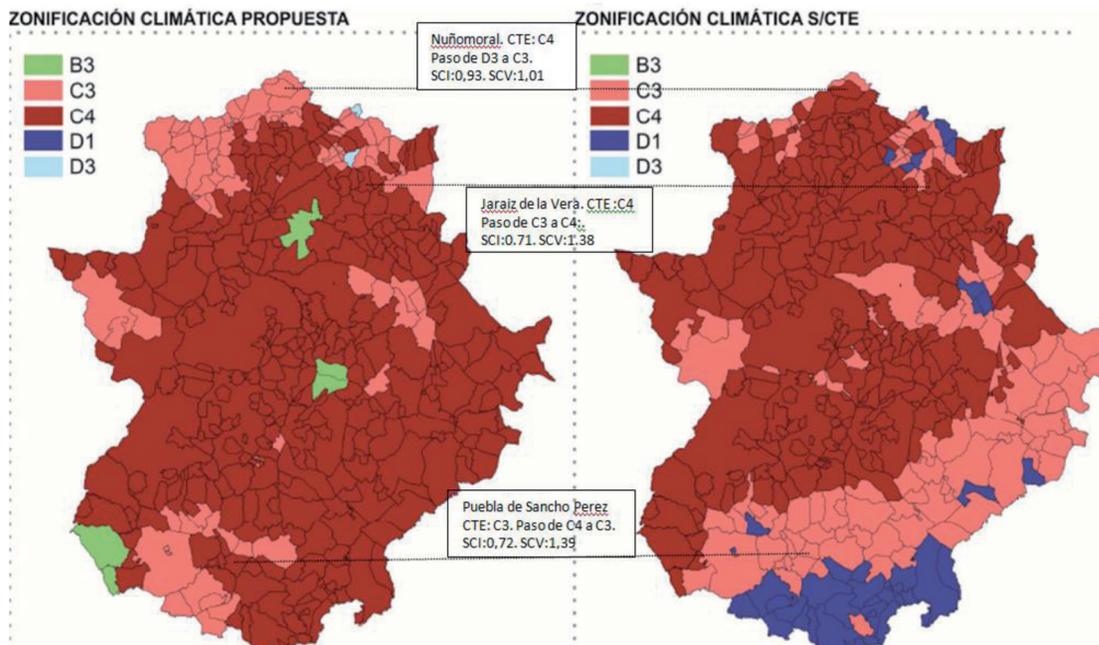


Fig. 7: Nueva distribución de zonas climáticas en Extremadura

habían utilizado los valores de las variables climáticas de la capital de la provincia, y que consistía en aplicar a los registros climáticos las mismas desviaciones que las calculadas para la capital de la provincia y que habían sido utilizados en otras investigaciones [16] con buenos resultados.

A continuación, para el resto de registros de los 321 municipios restantes se siguieron los mismos procedimientos de interpolación que ya se habían utilizado, en este caso para temperaturas y horas de sol pero usando factores de corrección diferentes para el caso de la temperatura y empleando los registros de municipios que disponían de temperatura y horas de sol ya normalizados para la interpolar, por lo que estos registros no hubo que volver a retocarlos, siendo ésta otra de las novedades del procedimiento.

Por lo que respecta a las severidades climáticas es también novedosa la corrección que se lleva a cabo con los grados-día, utilizándose como altitud promedio la correspondiente a la de los municipios de Extremadura obtenida con los mismos coeficientes utilizados para el cálculo de los grados-día para los municipios con registros climáticos, lo cual es mucho más real que utilizar las de otros municipios situados en zonas climáticas que no se dan en Extremadura, como se hace en el CTE o en otros estudios.

En este caso los grados día dependen de la altitud incrementándose en invierno en 58.93 unidades cada 100 metros y, en verano, disminuyen 13.71 unidades por cada 100 metros de incremento de altitud, tal como puede apreciarse en la Fig. (5).

Otra de las novedades del procedimiento consiste en el estudio final pormenorizado de los municipios que se encontraban en zonas límites, es decir las incongruencias o desajustes que en todo procedimiento de este tipo se producen. Tras el análisis de las severidades climáticas del municipio, el disponer de datos medidos o interpolados, zonas climáticas del entorno, y condiciones de relieve y orográficas, se decidió hacer las correcciones oportunas.

Posteriormente se establecieron las zonas climáticas siguiendo el procedimiento que establece el CTE de forma que se llega a la conclusión de que la homogeneidad climática de Extremadura se hace patente. Prácticamente hay tan solo 2 zonas climáticas, de las cuales predomina una, la C4, que es la representativa de un clima continental. El resto de zonas presentes son claramente minoritarias, correspondiéndose estas últimas con los lugares de mayor altitud (superiores a 1000 m). Es decir, la calificación climática que puede hacerse es que la mayoría de las áreas se asocian a la zona C4 (inviernos fríos y veranos calurosos), frente a la anterior zonificación que establece el CTE en donde la zona sur de la región está asociada a la zona D1, similar a la del norte de España, donde los inviernos y los veranos son frescos, lo que no coincide con el actual el clima en el sur de Extremadura.

Por tanto, se puede concluir que la metodología desarrollada es totalmente aplicable a cualquier municipio o región de España, siendo acorde con la Normativa Española sobre eficiencia energética en edificios, como se ha aplicado de manera específica para la Comunidad Autónoma de Extremadura, consiguiendo una zonificación más precisa que la existente anteriormente, resultando por tanto los niveles de demanda más acordes a la realidad climática del municipio.

Finalmente indicar que el procedimiento es de aplicación a los municipios de distintas regiones en donde no existen series de variables climáticas, lo que ocurre en la mayoría de los casos y en donde se utilizan las variables climáticas de la capital de la provincia, pero para ello será necesario disponer de un número suficiente de registros y que estos estén uniformemente distribuidos dentro de la región.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Real Decreto 235/2013 de 5 de abril, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación energética de los edificios.
- [2] Directiva 2010/31/EU del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, sobre la eficiencia energética de edificio. Diario Oficial de las Comunidades Europeas. L 153/13
- [3] Real decreto 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción.
- [4] Real decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- [5] Agencia Estatal de Meteorología (AEMet). Gobierno de España, 2015. Datos de radiación solar, horas de sol y temperatura de municipios de Extremadura.
- [6] Consejería de Agricultura, Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Energía. Gobierno de Extremadura, 2015. Datos de temperatura y horas de sol.
- [7] Cooper, P., (1969): The absorption of solar radiation in solar stills. Volume 12-3, pp. 333-346.
- [8] Shepard D., (1968) A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. Proceedings ACM National Conference 1968, pp. 517-524.
- [9] Zelenka, A., G. Czeplak, V. D'Agostino, J. Weine., E. Maxwell., R. Perez, M. Noia, C. Ratto and R. Festa (1992): Techniques for supplementing solar radiation network data, Volume 1-3. IEA Report No. IEASHCP-9D-1.
- [10] Herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC), Nueva versión 1.0.1528.1109. www.codigotecnico.org/menu-recursos
- [11] Mireille Lefebvre, Jan Remund, Michel Aabysson, Lucien Wald. Study of effective distances for interpolation schemes in meteorology. Presented to the XXVII Annual Assembly, European Geophysical Society, Nice, April 2002, Geophysical Research Abstracts, vol. 4, April 2002, EGS02-A-03429.
- [12] Wald, L. and M. Lefevre (2001): Interpolation schemes - Profile Method (a process-based distance for interpolation schemes). SoDa Deliverable D5-1-1. Internal document.
- [13] Mapa de radiación solar de Andalucía. Agencia Andaluza de la Energía. <http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/Radiacion/radiacion1.php>
- [14] Mapade radiación solar de Extremadura. (2011). Agencia Extremeña de la Energía. <http://www.genex.net/es/proyectos/43-bannersdestacar/bannersdestacarcat/202-radiacion>
- [15] Guía resumida del clima en España, 1961-1990. [Madrid]: Centro de Publicaciones, Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, 1995.
- [16] Sanchez de la Flor, F.J., Alvarez S., Molina J.L (2008). Climatic zoning and its application to Spanish buildings energy performance regulations. Energy and Buildings.40 (10): 1894-1990.
- [17] AENOR: Norma UNE-EN ISO 15927-6. Comportamiento higrométrico de edificios. Cálculo y presentación de datos climáticos. Parte 6. Diferencias acumuladas de temperatura (en grados día).

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha recibido el apoyo de la Universidad de Extremadura, el Departamento de Ingeniería Mecánica, Energética y de los materiales y los grupos de investigación DTERMA y ALCANTARA.

Nuestro agradecimiento a la Consejería de Fomento, Vivienda, Ordenación del Territorio y Turismo de la Junta de Extremadura, Consejería de Agricultura, Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Energía, de la Junta de Extremadura, Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), Grupo de Termotecnia de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Sevilla y la Agencia Extremeña de la Energía (Agenex).