

EUROCÓDIGOS

NORMA EUROPEA
EXPERIMENTAL

UNE-ENV 1991-2-5
Noviembre 1998



EUROCÓDIGO 1

BASES DE PROYECTO Y ACCIONES EN ESTRUCTURAS

PARTE 2-5: ACCIONES EN ESTRUCTURAS
ACCIONES TÉRMICAS

AENOR

Asociación Española de
Normalización y Certificación

1

Parte 2-5

PREÁMBULO

La presente publicación de la Norma UNE-ENV 1991-2-5:1998 es la versión española de la norma europea experimental de iguales siglas. Lleva por título: Eurocódigo 1: Bases de proyecto y acciones en las estructuras. Parte 2-5: Acciones térmicas.

Los Eurocódigos estructurales constituyen un conjunto de normas técnicas armonizadas de aplicación en las estructuras de edificación y de ingeniería civil. Son fruto del esfuerzo conjunto para la convergencia en materia normativa que favorezca el libre intercambio de productos y servicios entre los países de la UE. Inicialmente se aprueban con carácter experimental.

En España la regulación técnica en materia de edificación se desarrolla a través de las Normas Básicas de la Edificación, NBE, que pretenden garantizar la necesaria fiabilidad de las estructuras, atendiendo al mismo tiempo a criterios de economía, y son de obligado cumplimiento.

La Norma Básica NBE-AE 88: Acciones en la Edificación especifica las acciones que se han de adoptar en el cálculo de los elementos resistentes y de su cimentación, que deben aplicarse, como establece el apartado 1.1, "en el proyecto y en la obra de toda edificación, cualquiera que sea su clase y destino". Aunque los apartados 1.2 y 1.3 permiten al técnico autor del proyecto la adopción de valores de acciones y reacciones diferentes a los marcados, con la conformidad del director de obra, se exige el requisito de conocer y tener en cuenta la Norma Básica y justificar la adopción de valores distintos.

La justificación de los valores resultantes de la aplicación de la presente norma sería plena en el caso de estar disponible el Documento Nacional de Aplicación que compatibilice dicha norma con la citada Norma Básica. La necesaria actualización de la NBE-AE 88, actualmente en proceso de revisión, tratará de integrar las especificaciones de la norma europea para ir avanzando en la deseable armonización de las normativas española y europea. Esta armonización es una de las prioridades que dentro del campo normativo tiene la Subdirección General de Arquitectura del Ministerio de Fomento.

En todo caso la presente publicación servirá para familiarizar a los técnicos españoles con los nuevos criterios acordados internacionalmente para el cálculo de estructuras. La fase experimental de la presente norma constituye una invitación a los técnicos usuarios de sus especificaciones para analizar su contenido y valorar la facilidad de aplicación del documento. Los comentarios y observaciones al respecto pueden remitirse a AENOR.

La traducción de esta norma ha sido realizada en el Laboratorio de Estructuras de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid, bajo la supervisión del Subcomité 1 del Comité Técnico de Normalización 140 de AENOR "Eurocódigos Estructurales".

Madrid, septiembre de 1998

Gerardo Mingo Pinacho

Subdirector General de Arquitectura
Dirección General de la Vivienda,
la Arquitectura y el Urbanismo

MINISTERIO DE FOMENTO

norma española experimental

UNE-ENV 1991-2-5

Noviembre 1998

TÍTULO

EUROCÓDIGO 1: Bases de proyecto y acciones en estructuras

Parte 2-5: Acciones en estructuras

Acciones térmicas

Eurocode 1: Basis of design and actions on structures. Part 2-5: Actions on structures. Thermal actions.

Eurocode 1: Bases de calcul et actions sur les structures. Partie 2-5: Actions sur les structures. Actions thermiques.

CORRESPONDENCIA

Esta norma experimental es la versión oficial, en español, de la Norma Europea Experimental ENV 1991-2-5 de agosto 1997.

OBSERVACIONES

ANTECEDENTES

Esta norma experimental ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 140 *Eurocódigos Estructurales* cuya Secretaría desempeña SEOPAN.

ICS 91.010.30

Descriptores: Ingeniería civil, puente, resistencia térmica, dilatación térmica, medición térmica, cálculo, análisis estadístico, temperatura.

Versión en español

EUROCÓDIGO 1: Bases de proyecto y acciones en estructuras
Parte 2-5: Acciones en estructuras
Acciones térmicas

Eurocode 1: Basis of design and actions on structures. Part 2-5: Actions on structures. Thermal actions.

Eurocode 1: Bases de calcul et actions sur les structures. Partie 2-5: Actions sur les structures. Actions thermiques.

Eurocode 1: Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 2-5: Einwirkungen auf Tragwerke. Temperatureinwirkungen.

Esta norma europea experimental (ENV) ha sido aprobada por CEN el 1996-11-28 como una norma experimental para su aplicación provisional. El período de validez de esta norma ENV está limitado inicialmente a tres años. Pasados dos años, los miembros de CEN enviarán sus comentarios, en particular sobre la posible conversión de la norma ENV en norma europea (EN).

Los miembros de CEN deberán anunciar la existencia de esta norma ENV utilizando el mismo procedimiento que para una norma EN y hacer que esta norma ENV esté disponible rápidamente y en la forma apropiada a nivel nacional. Se permite mantener (en paralelo con la norma ENV) las normas nacionales que estén en contradicción con la norma ENV hasta que se adopte la decisión final sobre la posible conversión de la norma ENV en norma EN.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

CEN
COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN
European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation
Europäisches Komitee für Normung
SECRETARÍA CENTRAL: Rue de Stassart, 36 B-1050 Bruxelles

ÍNDICE

	Página
PREÁMBULO	9
Objetivos de los Eurocódigos	9
Antecedentes del programa de Eurocódigos	9
Programa de Eurocódigos	9
Documentos Nacionales de Aplicación (DNA)	10
Materias específicas de esta norma experimental	10
1 GENERALIDADES	11
1.1 Campo de aplicación	11
1.1.1 Campo de aplicación de ENV 1991-Eurocódigo 1	11
1.1.2 Campo de aplicación de ENV 1991-2-5: Acciones térmicas	11
1.1.3 Otras partes de ENV 1991	11
1.2 Normas para consulta	11
1.3 Distinción entre principios y reglas de aplicación	12
1.4 Definiciones	13
1.5 Símbolos	13
2 CLASIFICACIÓN DE LAS ACCIONES	15
3 SITUACIONES DE PROYECTO	15
4 REPRESENTACIÓN DE LAS ACCIONES	15
5 VARIACIONES DE TEMPERATURA EN EDIFICIOS	16
5.1 Generalidades	16
5.1.1 Estructuras de edificación	17
5.1.2 Elementos de cerramiento	17
5.1.3 Determinación de las distribuciones de temperatura	17
6 VARIACIONES DE TEMPERATURA EN PUENTES	17
6.1 Tableros de puentes	17
6.1.1 Grupos de tableros de puentes	17
6.1.2 Consideración de las acciones térmicas	18
6.1.3 Componente uniforme de la temperatura - valores característicos	18
6.1.3.1 Generalidades	18
6.1.3.2 Temperatura del aire a la sombra	19
6.1.3.3 Rango de temperaturas efectivas en puentes	20
6.1.4 Componente lineal de la temperatura - valores característicos	20
6.1.4.1 Componente vertical	20
6.1.4.2 Componente horizontal	22
6.1.5 Simultaneidad de las componentes uniforme y lineal de la temperatura	22
6.1.6 Diferencias en la temperatura efectiva entre elementos estructurales distintos	22
6.2 Pilas de puente	22
6.2.1 Consideración de las acciones térmicas	22
6.2.2 Diferencias de temperatura - valores característicos	22

7	VARIACIONES DE TEMPERATURA EN CHIMENEAS INDUSTRIALES Y TUBERÍAS	23
7.1	Generalidades	23
7.2	Componentes de la temperatura - valores característicos	23
7.2.1	Temperatura del aire a la sombra	23
7.2.2	Radiación solar	23
7.2.3	Temperatura del gas en conductos	23
7.2.4	Temperatura efectiva del elemento	23
7.3	Acciones térmicas a considerar	23
7.4	Determinación de las componentes de la temperatura	24
7.5	Valores característicos de las componentes de la temperatura (valores indicativos)	24
7.6	Simultaneidad de acciones	24
ANEXO A (Informativo)	ISOTERMAS DE LAS TEMPERATURAS NACIONALES MÁXIMA Y MÍNIMA DEL AIRE A LA SOMBRA	26
ANEXO B (Normativo)	MODELOS PARA EL CÁLCULO DE LAS ACCIONES TÉRMICAS NO LINEALES EN PUENTES	54
ANEXO C (Informativo)	DETERMINACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA TEMPERATURA EN TABLEROS DE PUENTES	58
ANEXO D (Informativo)	COEFICIENTES DE DILATACIÓN LINEAL	63

PREÁMBULO

Objetivos de los Eurocódigos

- (1) Los Eurocódigos Estructurales comprenden un grupo de normas para el proyecto de edificaciones y obras de ingeniería civil desde los puntos de vista estructural y geotécnico.
- (2) Abarcan la ejecución y el control, sólo hasta el punto que es necesario para indicar la calidad de los productos de construcción y el nivel de ejecución necesario para cumplir con las prescripciones de las reglas de proyecto.
- (3) Hasta que el conjunto necesario de especificaciones técnicas armonizadas para los productos y los métodos de ensayo de los mismos esté disponible, algunos de los Eurocódigos Estructurales cubren estos aspectos en anexos informativos.

Antecedentes del programa de Eurocódigos

- (4) La Comisión de las Comunidades Europeas (CCE) inició el trabajo de establecer un conjunto de normas técnicas armonizadas para el proyecto de edificaciones y obras de ingeniería civil, que sirviese, inicialmente, como una alternativa a las diferentes normas vigentes en los distintos Estados Miembros y que, finalmente, las sustituyese. Estas reglas técnicas son las denominadas "Eurocódigos Estructurales".
- (5) En el año 1990, después de consultar a sus respectivos Estados Miembros, la CCE transfirió el trabajo del futuro desarrollo de los Eurocódigos al CEN al mismo tiempo que la secretaría de la EFTA estuvo de acuerdo en apoyar el trabajo del CEN.
- (6) El Comité Técnico del CEN, CEN/TC 250, es el responsable de todos los Eurocódigos Estructurales.

Programa de Eurocódigos

- (7) El trabajo está desarrollado en los siguientes Eurocódigos Estructurales, los cuales se subdividen en Partes:
 - EN 1991 Eurocódigo 1: Bases de proyecto y acciones en estructuras.
 - EN 1992 Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón.
 - EN 1993 Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero.
 - EN 1994 Eurocódigo 4: Proyecto de estructuras mixtas de hormigón y acero.
 - EN 1995 Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera.
 - EN 1996 Eurocódigo 6: Proyecto de estructuras de fábrica de ladrillo.
 - EN 1997 Eurocódigo 7: Proyecto geotécnico.
 - EN 1998 Eurocódigo 8: Proyecto de estructuras resistentes al sismo.
 - EN 1999 Eurocódigo 9: Proyecto de estructuras de aluminio.
- (8) CEN/TC250 ha formado subcomités independientes para cada uno de los Eurocódigos mencionados.
- (9) Esta parte del Eurocódigo 1 está publicada como norma europea experimental (ENV) con una vida inicial de tres años.
- (10) Esta parte del Eurocódigo 1 está pensada para su aplicación experimental.

- (11) Después de aproximadamente dos años, los miembros del CEN serán invitados a enviar comentarios formales sobre esta parte del Eurocódigo 1, que serán tenidos en cuenta en los trabajos futuros.
- (12) Mientras tanto, las observaciones y los comentarios a esta norma experimental deben enviarse a la Secretaría del Subcomité CEN/TC250/SC1, a la siguiente dirección:

SIS / BST
Box 49044
S – 100 28 STOCKHOLM
SWEDEN

o al Organismo Nacional de Normalización correspondiente.

NOTA NACIONAL – El Organismo Nacional de Normalización en España:

AENOR
C/ Génova, 6
28004 MADRID
Tel: 91 432 60 00
Fax: 91 310 49 76

Documentos Nacionales de Aplicación (DNA)

- (13) A la vista de las responsabilidades de las autoridades de los Estados Miembros en temas relacionados con la seguridad, salud y otras materias cubiertas por los requisitos esenciales de la Directiva Europea de Productos de Construcción (DPC), a algunos elementos que afectan a la seguridad, en esta norma experimental, se les han asignado valores indicativos que están identificados por o [] (valores en recuadro). Las autoridades de cada Estado Miembro examinarán los "valores en recuadro" y podrán sustituirlos por valores aplicables a nivel nacional. Además en algunos países donde la normativa considere normas adicionales o más duras sobre la seguridad de los trabajadores en la construcción, será recomendable que se mencionen en el DNA.
- (14) Algunas de las normas de apoyo europeas o normas internacionales no van a estar disponibles en el momento de publicación de esta norma experimental. Por lo tanto, está prevista la publicación, por parte de cada Estado Miembro o por parte de sus organizaciones nacionales de normalización, de un Documento Nacional de Aplicación (DNA) que proponga valores definitivos de los elementos que afectan a la seguridad, que haga referencia a normas de apoyo compatibles y que dé una guía nacional para la aplicación de esta norma experimental.
- (15) Se pretende que esta norma experimental sea usada conjuntamente con el DNA vigente en el país donde se realice la edificación o el trabajo de ingeniería civil.

Materias específicas de esta norma experimental

- (16) El campo de aplicación del Eurocódigo 1 está definido en el apartado 1.1.1 y el de esta parte del Eurocódigo 1 está definido en el apartado 1.1.2. Las partes adicionales de dicho Eurocódigo, que están planeadas, están indicadas en el apartado 1.1.3.
- (17) Esta parte está complementada por una serie de anexos, algunos normativos y otros informativos. Los anexos normativos tienen la misma validez que las secciones a las que se refieren.
- (18) El valor característico de las isotermas de temperaturas nacional máxima y mínima, a la sombra, será proporcionado en forma de mapas o de cualquier otro modo (véase anexo A) a través de la autoridad competente. El valor indicado para las cargas características estará conforme con las definiciones dadas en el apartado 4.2 de ENV 1991-1.
- (19) El DNA debe determinar los efectos locales que son poco probables de ser considerados en el análisis estadístico de dichos valores nacionales.
- (20) Cuando haya dudas acerca de la validez de los valores máximo y mínimo de la temperatura del aire a la sombra recomendados, el procedimiento para consultar a la autoridad competente deberá ser indicado en el DNA.

1 GENERALIDADES

1.1 Campo de aplicación

1.1.1 Campo de aplicación de ENV 1991 - Eurocódigo 1

- (1)P ENV 1991 proporciona los principios generales y las acciones para el proyecto de estructuras de edificación e ingeniería civil incluyendo algunos aspectos geotécnicos. Deberá ser usada conjuntamente con ENV 1992 a 1999.
- (2) Puede utilizarse como base para el proyecto de estructuras no recogidas en ENV 1992 a 1999, y cuando se utilicen otros materiales u otras acciones para el proyecto estructural.
- (3) ENV 1991 también comprende el proyecto de estructuras durante su ejecución, así como el proyecto de estructuras temporales. ENV 1991 se refiere a todas las circunstancias bajo las cuales una estructura debe tener una adecuada funcionalidad.
- (4) ENV 1991 no está expresamente pensada para la valoración del estado estructural de construcciones existentes ni para el desarrollo de proyectos de reparación por daños o cambios de uso.
- (5) ENV 1991 no cubre todas las situaciones especiales de proyecto que requieran una fiabilidad excepcional, tales como estructuras nucleares, para las cuales se deberían utilizar procedimientos específicos de proyecto.

1.1.2 Campo de aplicación de ENV 1991-2-5: Acciones térmicas

- (1)P Esta parte proporciona reglas y métodos de cálculo de las acciones térmicas en edificios, puentes y otras estructuras, así como en sus elementos estructurales. Los principios necesarios para el caso de cerramientos y otras partes de los edificios también se indican.
- (2) Esta parte del Eurocódigo sobre acciones en estructuras describe los cambios en la temperatura de los elementos estructurales. Los valores característicos de las acciones de la temperatura se utilizarán en el proyecto de estructuras que estén expuestas a cambios climáticos diarios y estacionales.
- (3) Las estructuras en las que las acciones térmicas dependen principalmente de su uso (por ejemplo chimeneas, torres de refrigeración, silos, tanques, almacenes de elementos fríos y calientes), se tratan en el capítulo 7.
- (4) Se tratarán los siguientes temas:
 - Capítulo 1 – Generalidades
 - Capítulo 2 – Clasificación de las acciones
 - Capítulo 3 – Situaciones de proyecto
 - Capítulo 4 – Representación de las acciones
 - Capítulo 5 – Variaciones de temperatura en edificios
 - Capítulo 6 – Variaciones de temperatura en puentes
 - Capítulo 7 – Variaciones de temperatura en chimeneas industriales y tuberías

1.1.3 Otras partes de ENV 1991

- (1) Otras partes de ENV 1991 que, actualmente, están siendo preparadas o están planeadas, se enumeran en 1.2.

1.2 Normas para consulta

Esta norma europea experimental incorpora disposiciones de otras publicaciones por su referencia, con o sin fecha. Estas referencias normativas se citan en los lugares apropiados del texto de la norma y se relacionan a continuación:

ISO 3898 1987 – *Bases para el proyecto de estructuras. Notación. Símbolos generales.*

NOTA – Las siguientes normas europeas experimentales, que están publicadas o en preparación, se citan en los lugares apropiados del texto y se relacionan a continuación:

ENV 1991-1 – Eurocódigo 1: Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 1: Bases de proyecto.

ENV 1991-2-1 – Eurocódigo 1: Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 2.1: Densidades, peso propio y cargas exteriores.

ENV 1991-2-2 – Eurocódigo 1: Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 2.2: Acciones en estructuras expuestas al fuego.

ENV 1991-2-3 – Eurocódigo 1: Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 2.3: Sobrecargas de nieve

ENV 1991-2-4 – Eurocódigo 1: Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 2.4: Acciones del viento.

ENV 1991-2-6 – Eurocódigo 1: Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 2.6: Acciones durante la ejecución.

ENV 1991-2-7 – Eurocódigo 1: Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 2.7: Acciones accidentales producidas por impactos y explosiones.

ENV 1991-3 – Eurocódigo 1: Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 3: Cargas de tráfico sobre puentes.

ENV 1991-4 – Eurocódigo 1: Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 4: Acciones en silos y tanques.

ENV 1991-5 – Eurocódigo 1: Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 5: Acciones inducidas por grúas y maquinaria.

ENV 1992 – Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón.

ENV 1993 – Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero.

ENV 1994 – Eurocódigo 4: Proyecto de estructuras mixtas de hormigón y acero.

ENV 1995 – Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera.

ENV 1996 – Eurocódigo 6: Proyecto de estructuras de fábrica.

ENV 1997 – Eurocódigo 7: Proyecto geotécnico.

ENV 1998 – Eurocódigo 8: Proyecto de estructuras resistentes al sismo.

ENV 1999 – Eurocódigo 9: Proyecto de estructuras de aluminio.

1.3 Distinción entre principios y reglas de aplicación

- (1) En esta parte 2-5 de ENV 1991 se distingue entre principios y reglas de aplicación dependiendo del carácter de los apartados individuales.
- (2) Los principios comprenden:
 - aspectos generales y definiciones para los que no hay alternativa, así como;
 - requisitos y modelos analíticos para los que no se permiten alternativas salvo que esté específicamente indicado.
- (3) Los principios se identifican con la letra P precedida del número del párrafo.
- (4) Las reglas de aplicación son reglas generalmente reconocidas que se adecuan a los principios y satisfacen sus requisitos.
- (5) Está permitido el uso de reglas alternativas a las reglas de aplicación propuestas en este Eurocódigo cuando está demostrado que dichas reglas alternativas son acordes con los principios y tienen, al menos, la misma fiabilidad.
- (6) Las reglas de aplicación en esta parte se identifican por un número entre paréntesis, por ejemplo, este apartado.

1.4 Definiciones

Para los propósitos de esta parte del Eurocódigo 1, las definiciones generales básicas están indicadas en ENV 1991-1 y las definiciones adicionales indicadas a continuación, son específicas de esta parte.

1.4.1 acciones térmicas: Las acciones térmicas sobre una estructura o elemento estructural, son las variaciones de los campos de temperatura dentro de un intervalo de tiempo específico.

1.4.2 temperatura del aire a la sombra: Es la temperatura medida por los termómetros colocados dentro de una caja de madera con taladros conocida como "pantalla de Stevenson". El objeto de esta pantalla es proteger los termómetros de: (i) la radiación emitida durante el día por el sol, el terreno y los objetos cercanos; (ii) pérdida de calor por radiación durante la noche y (iii) precipitaciones, y al mismo tiempo permitir el paso libre del aire. Esto es posible mediante el uso de taladros en los lados y en la puerta, un doble techo con cámara de aire y un suelo formado por tres tablas solapadas separadas por un espacio de aire. La pantalla está montada sobre un estante de modo que las cabezas del termómetro están aproximadamente a 1,20 m sobre el suelo, que se puede tomar como nivel, cubiertas por hierba corta y lo suficientemente alejadas de árboles, edificios, muros y otras construcciones. La cabeza seca del termómetro da la temperatura del aire a la hora de la observación y los termómetros máximo y mínimo se leen una o más veces diariamente, de acuerdo con el tipo de estación, y fijados inmediatamente una vez leídos.

1.4.3 temperatura máxima del aire a la sombra $T_{\text{máx.}}$: Es el valor anual de la temperatura máxima del aire a la sombra con un período de retorno de 50 años, basada en los valores máximos medidos a intervalos de una hora.

1.4.4 temperatura mínima del aire a la sombra $T_{\text{mín.}}$: Es el valor anual de la temperatura mínima del aire a la sombra con un período de retorno de 50 años, basada en los valores mínimos medidos a intervalos de una hora.

1.4.5 envoltura de un edificio: Es la parte de la estructura encargada de la protección del edificio contra las inclemencias del tiempo o la piel estructural del edificio.

1.4.6 cerramiento: Es la parte del edificio que no soporta ninguna carga adicional aparte de su peso propio y/o la acción del viento y que sirve de membrana protectora contra las inclemencias del tiempo.

1.4.7 estructura resistente: Aquellos elementos que resisten las acciones aplicadas al edificio; los acabados permanentes y los muros estructurales también se incluyen.

1.5 Símbolos

(1) Para los propósitos de esta parte del Eurocódigo 1, se utilizan los siguientes símbolos:

NOTA – Las notaciones usadas están basadas en ISO 3898: 1987.

(2) Se incluye una lista básica de notaciones en ENV 1991-1, y las notaciones adicionales que se indican a continuación son específicas de esta parte.

Mayúsculas latinas

R Período de retorno máximo (mínimo) de la temperatura del aire a la sombra [en años].

$T_{\text{máx.}}$ Valor anual de la temperatura máxima del aire a la sombra con un período de retorno de 50 años, basada en los máximos valores registrados a intervalos de una hora.

$T_{\text{mín.}}$ Valor anual de la temperatura mínima del aire a la sombra con un periodo de retorno de 50 años, basada en los mínimos valores registrados a intervalos de una hora.

$T_{\text{máx., } R}$ Valor anual de la temperatura máxima del aire a la sombra con un período de retorno de R años.

$T_{\text{mín., } R}$ Valor anual de la temperatura mínima del aire a la sombra con un período de retorno de R años.

$T_{e, \text{máx.}}$	Máxima temperatura efectiva en un puente.
$T_{e, \text{mín.}}$	Mínima temperatura efectiva en un puente.
T_0	Temperatura efectiva del elemento estructural cuando se bloquean las coacciones.
$T_1, T_2,$ T_3, T_4	Valores de la diferencia de temperatura positiva (o negativa) de la distribución de temperaturas.
ΔT_k	Valor característico de la acción térmica.
$\Delta T_1'$	Valor infrecuente de la acción térmica.
ΔT_1	Valor frecuente de la acción térmica.
ΔT_2	Valor cuasipermanente de la acción térmica.
$\Delta T_{N, \text{pos}}$	Máxima variación de la temperatura efectiva positiva en un puente.
$\Delta T_{N, \text{neg}}$	Máxima variación de la temperatura efectiva negativa en un puente.
ΔT_N	Variación total de la temperatura efectiva de un puente.
$\Delta T_{M, \text{pos}}$	Diferencias de temperatura lineal positiva.
$\Delta T_{M, \text{neg}}$	Diferencias de temperatura lineal negativa.
ΔT_E	Parte no lineal de las diferencias de temperatura.
A	Área de la sección transversal.
D	Gradiente lineal de temperatura.
E	Módulo de elasticidad de Young.
J	Momento de inercia.
<i>Minúsculas latinas</i>	
b	Ancho de la sección transversal.
d	Espesor de la pared de la chimenea o de la tubería.
h	Canto de la sección transversal.
u, c	Parámetros de localización y escala de la distribución de la temperatura anual máxima (mínima) del aire a la sombra.
k_1, k_2	Coefficientes para calcular la temperatura máxima del aire a la sombra, para períodos de retorno diferentes de 50 años.
k_3, k_4	Coefficientes para calcular la temperatura mínima del aire a la sombra, para períodos de retorno diferente de 50 años.
k_{sur}	Coefficiente que tiene en cuenta el espesor de la superficie de rodadura para las diferencias lineales de temperatura.

Minúsculas griegas

α_T	Coefficiente de dilatación lineal ($^{\circ}\text{C}^{-1}$).
ψ_0	Coefficiente para el valor de combinación de la acción térmica.
ψ_1'	Coefficiente para el valor poco frecuente de la acción térmica.
ψ_1	Coefficiente para el valor frecuente de la acción térmica.
ψ_2	Coefficiente para el valor cuasipermanente de la acción térmica.
ω_N	Factor de reducción de la componente uniforme de la temperatura para la combinación con diferencias lineales de temperatura.
ω_M	Factor de reducción de las diferencias lineales de temperatura para la combinación con la componente uniforme de la temperatura.

2 CLASIFICACIÓN DE LAS ACCIONES

- (1)P Las acciones térmicas están clasificadas como variables, acciones libres, véase ENV 1991-1.
- (2)P Las acciones térmicas son acciones indirectas, véase ENV 1991-1.
- (3) Los valores característicos de las acciones térmicas, como los indicados en esta parte, están definidos para un período de retorno de 50 años, salvo que se especifique lo contrario.

3 SITUACIONES DE PROYECTO

- (1)P Las acciones térmicas relevantes se determinan para cada situación de proyecto considerada de acuerdo con ENV 1991-1 y ENV 1991-3.
- (2)P La distribución de la temperatura dentro de una sección de cualquier elemento supone la deformación del mismo. Cuando dicha deformación está impedida, se inducen tensiones en el elemento. Estas tensiones se considerarán tanto para las situaciones de proyecto permanentes como para las transitorias (p.e. durante la ejecución o reparación) de acuerdo con ENV 1991-1.
- (3)P Los elementos de la estructura resistente se comprobarán para asegurar que los movimientos ocasionados por las acciones térmicas no provoquen un exceso de tensión en la estructura, ya sea mediante la colocación de juntas de dilatación o teniendo en cuenta los efectos en el proyecto.
- (4) En casos especiales, se tendrán en cuenta las situaciones de proyecto accidentales (véase 7.1).

4 REPRESENTACIÓN DE LAS ACCIONES

- (1)P Los cambios diarios y estacionales de la temperatura del aire a la sombra, radiación solar, re-radiación, etc., se transforman en variaciones de la distribución de temperatura dentro de los elementos individuales de una estructura.
- (2)P La magnitud de los efectos térmicos depende de las condiciones climáticas locales, junto con la orientación de la estructura, su masa total, acabado (p.e. cerramientos de edificios) y, en el caso de estructuras de edificación, regímenes de calefacción y ventilación y aislamiento térmico.

- (3) La distribución de la temperatura dentro de un elemento estructural podrá separarse en las siguientes cuatro componentes constitutivas esenciales, como se ilustra en la figura 4.1:
- Una componente uniforme de la temperatura, ΔT_N .
 - Una componente de variación lineal de la temperatura sobre el eje z, ΔT_{Mz} .
 - Una componente de variación lineal de la temperatura sobre el eje y, ΔT_{My} .
 - Una distribución no lineal de la temperatura, ΔT_E . Esto implica un sistema de tensiones autoequilibradas de resultante nula.

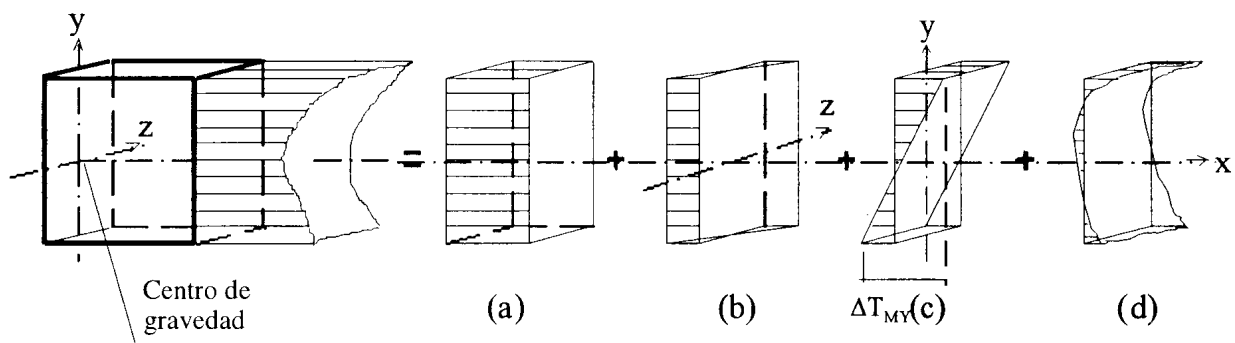


Fig. 4.1 – Componentes constitutivos de una distribución de temperatura

- (4)P Las deformaciones y consecuentemente cualquier tensión resultante, dependen de la geometría y de las condiciones de contorno del elemento en consideración, y de las propiedades físicas del material empleado en su construcción. Cuando se utilicen materiales con distintos coeficientes de dilatación lineal (α_T), se seguirán las indicaciones dadas en el anexo C, capítulo C.5.

5 VARIACIONES DE TEMPERATURA EN EDIFICIOS

5.1 Generalidades

- (1)P Este capítulo trata los efectos de las acciones térmicas sobre estructuras de edificación y cerramiento, donde la temperatura, dentro de un entorno normal, tiene una oscilación menor de 20 °C durante el período normal de uso.
- (2)P En este capítulo sólo se tratan las acciones térmicas motivadas por los efectos climáticos debidos a la variación de la temperatura del aire a la sombra y a la radiación solar. Los posibles efectos que son consecuencia de las zonas de sombra creadas por los edificios entre sí, deberán tenerse en cuenta en el proyecto. Las acciones térmicas debidas a los sistemas de calefacción, instalaciones o procesos industriales, se tratarán en las especificaciones de proyecto.
- (3) Las tolerancias requeridas para valorar el comportamiento de la estructura y su cerramiento dependen del tipo de estructura, del tipo de cerramiento y de la historia interna y externa de la temperatura prevista. En consecuencia, no pueden indicarse reglas específicas.
- (4) Las reglas indicadas en este capítulo son simplemente una guía para las materias que deberán considerarse en el proyecto. El proyecto debe incluir los detalles apropiados en cada estructura.
- (5) Para definir los efectos de las acciones térmicas en edificios, los términos *cáscara del edificio*, *cerramiento* y *estructura resistente*, están definidos en el apartado 1.4.

- (6)P Los efectos de las acciones térmicas serán considerados cuando haya una posibilidad de que sean excedidos los Estados Límite Últimos o de Servicio debido al movimiento térmico. En particular, se tendrá en cuenta en el proyecto el movimiento diferencial entre componentes formados por diferentes materiales.

NOTA – La previsión del movimiento de las juntas podrá también estar influenciada por la humedad y otros factores ambientales.

5.1.1 Estructuras de edificación

- (1)P Los elementos de la estructura resistente se comprobarán para asegurar que el movimiento térmico no haga que se sobrepasen los Estados Límite de la estructura, ya sea mediante la colocación de juntas de dilatación o mediante la inclusión del cálculo de los efectos térmicos en el proyecto. Se deberá determinar la tolerancia para cualquier movimiento diferencial entre la estructura y el cerramiento.
- (2)P Los elementos estructurales no protegidos del ambiente exterior mediante cerramientos se comprobarán para asegurar que no hay un aumento de riesgo debido a variaciones térmicas mayores. En caso extremo (p.e. placas o planchas de estructuras de protección contra el medio ambiente) deben considerarse los efectos de la radiación solar y de las oscilaciones en la distribución de la temperatura.

5.1.2 Elementos de cerramiento

- (1)P Los efectos de las variaciones de la temperatura serán considerados en los elementos de cerramiento, y la longitud efectiva entre juntas de movimiento se determinará en función de los materiales empleados en la construcción. Cuando se utilicen diferentes tipos de cerramiento en la estructura, deben tenerse en cuenta las diferencias existentes entre los parámetros de los materiales, tales como la dilatación y la velocidad de intercambio de calor.
- (2)P Los elementos de cerramiento deben colocarse en la estructura de modo que permitan todos los movimientos diferenciales entre los diferentes componentes.
- (3)P Los movimientos diferenciales debidos a la variación de la temperatura del aire a la sombra y la radiación solar, se consideran tanto en el proyecto de los elementos de cerramiento como en sus fijaciones.

5.1.3 Determinación de las distribuciones de temperatura

- (1)P Las distribuciones de temperatura se determinan mediante los principios nacionales básicos, teniendo en cuenta la exposición a la variación diaria de la radiación solar y de la temperatura del aire a la sombra.
- (2) Si se dispone de información específica sobre cómo las temperaturas efectivas en edificación pueden correlacionarse con la temperatura del aire a la sombra y con la radiación solar, de cara a proporcionar valores fiables de temperaturas efectivas en edificios para el proyecto, dicha información deberá ser empleada para obtener los valores característicos.
- (3) En los edificios donde se necesite su cálculo, podrá suponerse, generalmente, una distribución uniforme de temperatura en los elementos estructurales.

NOTA – En el anexo A, capítulo A.3, se da información sobre temperaturas del aire a la sombra. Las temperaturas son aplicables tanto para edificios como para puentes.

6 VARIACIONES DE TEMPERATURA EN PUENTES

6.1 Tableros de puentes

6.1.1 Grupos de tableros de puentes

- (1)P El tablero de un puente será considerado dentro de uno de los tres siguientes grupos relativos a la superestructura:

Grupo 1 Tablero metálico sobre cajón de acero, celosía o vigas armadas.

Grupo 2 Tablero de hormigón sobre cajón de acero, celosía o vigas armadas.

Grupo 3 Losa de hormigón o tablero de hormigón sobre vigas de hormigón o vigas cajón.

NOTA – Véase también el anexo B.

- (2) En ausencia de valores de las temperaturas efectivas y de las diferencias de temperatura para otros tipos de puentes, se deberán extrapolar los valores apropiados de los principios básicos, datos especiales o resultados de ensayos.

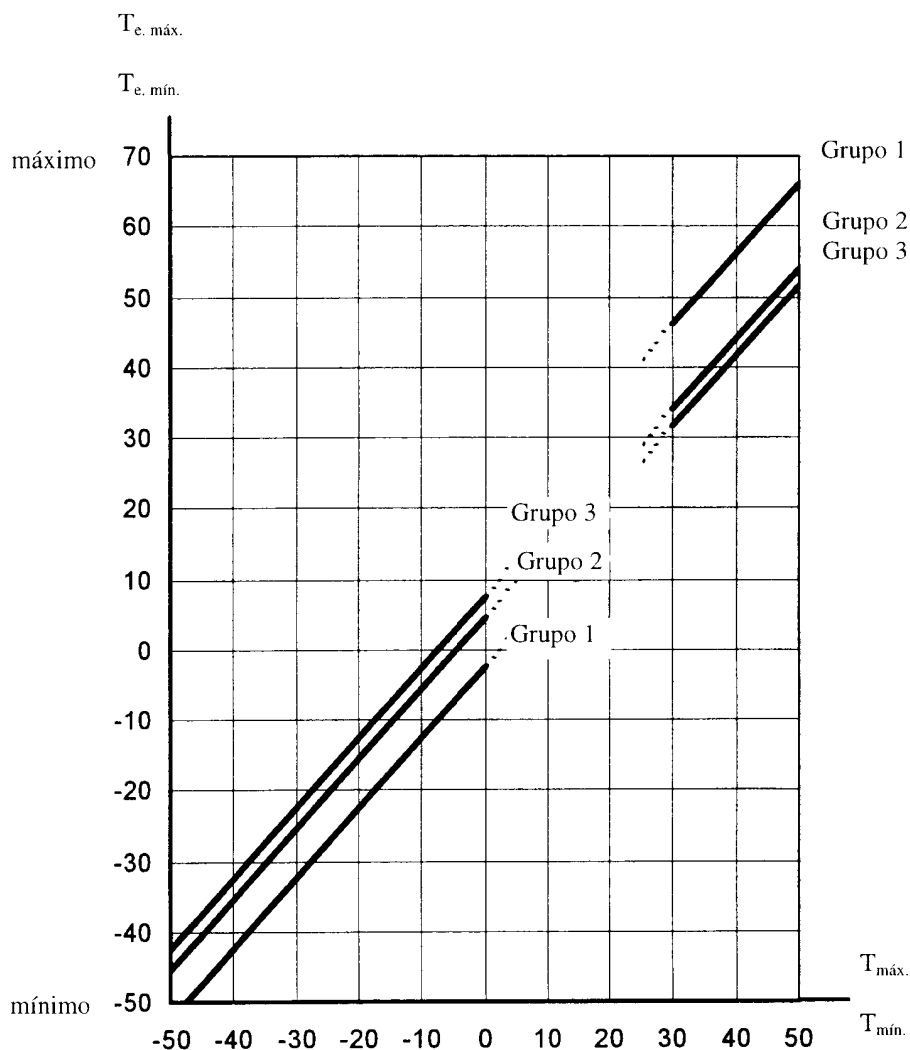
6.1.2 Consideración de las acciones térmicas

- (1) Las reglas que se proponen en este capítulo son de aplicación a tableros de puente expuestos a los efectos climáticos diarios y estacionales. Para puentes no expuestos a estos efectos climáticos puede que no sea necesario considerar las acciones térmicas.
- (2) Para puentes, todos los valores representativos de las acciones térmicas deberían caracterizarse mediante la componente uniforme de la temperatura (véase 6.1.3) y la componente lineal de la temperatura (véase 6.1.4).
- (3) En casos en los que se necesite considerar detalladamente distribuciones no lineales –es decir, en casos donde no se pueden aportar los suficientes datos detalladamente (p.e. estructura mixta)– deben aplicarse las diferencias de temperatura apropiadas. Los valores se indican en el anexo B.

6.1.3 Componente uniforme de la temperatura – valores característicos

6.1.3.1 Generalidades

- (1) La componente uniforme de la temperatura depende de las temperaturas efectivas mínima y máxima a las que estará sometido un puente durante un determinado período de tiempo. Esto supone un rango de variaciones uniformes de temperatura que, en una estructura isostática, provocará un cambio en la longitud del elemento.
- (2) Los siguientes efectos se tendrán en cuenta cuando sea oportuno:
- Coacción a la expansión o contracción asociada dependiendo del tipo de construcción (p.e. pórtico, arco, apoyos elastoméricos).
 - Rozamiento en aparatos de apoyo de rodillo o deslizantes.
 - Efectos no lineales geométricos (efectos de segundo orden).
 - Para puentes de ferrocarril, los efectos de la interacción entre la vía y el puente debido a la variación de temperatura en el tablero y en los carriles pueden inducir fuerzas horizontales suplementarias en los apoyos (y fuerzas suplementarias en los carriles). Para más información, véase ENV 1991-3.
- (3)P Las temperaturas efectivas mínima y máxima en un puente serán obtenidas a partir de las isothermas de las temperaturas mínima y máxima del aire a la sombra (véase 6.1.3.2 y 6.1.3.3).



NOTA – Para celosías metálicas y vigas armadas metálicas, los valores máximos dados para el grupo 1 podrán ser reducidos en 3 °C.

Fig. 6.1 – Correlación entre temperatura mínima/máxima del aire a la sombra ($T_{mín.} / T_{máx.}$) y temperatura mínima/máxima efectiva del puente ($T_{e,mín.} / T_{e,máx.}$)

- (4) La temperatura efectiva del puente puede calcularse a partir de la temperatura del aire a la sombra, utilizando la figura 6.1. Los valores de la figura 6.1 se basan en rangos de temperatura diaria de 10 °C. Dicha variación podrá considerarse como apropiada para la mayoría de los Estados Miembros. Si existen datos específicos disponibles para justificar un rango diferente de temperaturas, los valores obtenidos de la figura 6.1 deberán ajustarse convenientemente.

6.1.3.2 Temperatura del aire a la sombra

- (1)P Los valores característicos de la temperatura máxima y mínima del aire a la sombra serán obtenidos en el lugar de emplazamiento haciendo referencia a los mapas nacionales de isotermas.
- (2) Los mapas nacionales de isotermas de las temperaturas máxima y mínima del aire a la sombra se muestran en el anexo A para cada uno de los Estados Miembros. Estas temperaturas son apropiadas para emplazamientos abiertos a una altitud correspondiente al nivel del mar, con un período de retorno de 50 años. Los ajustes para otros períodos de retorno, otras altitudes sobre el nivel del mar y condiciones locales, como por ejemplo bolsas de hielo, están incluidos en el anexo A.

- (3) Para los casos en los que un período de retorno de 50 años se considere inapropiado, las temperaturas máxima y mínima del aire a la sombra deberán modificarse de acuerdo con el anexo A.

6.1.3.3 Rango de temperaturas efectivas en puentes

- (1)P Los valores característicos de las temperaturas efectivas máxima y mínima en puentes para calcular las reacciones se obtendrán a partir de las temperaturas máxima ($T_{\text{máx.}}$) y mínima ($T_{\text{mín.}}$) del aire a la sombra, haciendo referencia a la figura 6.1.
- (2) La temperatura efectiva probable en puentes, T_0 , en el momento en que la estructura está realmente coaccionada, podrá tomarse del anexo A como el dato para calcular el acortamiento hasta llegar a la temperatura efectiva mínima del puente y el alargamiento hasta llegar a la temperatura efectiva máxima del puente.
- (3) De este modo, el valor característico del máximo rango de la temperatura efectiva negativa del puente, $\Delta T_{N, \text{neg}}$, deberá tomarse como

$$\Delta T_{N, \text{neg}} = T_{e, \text{mín.}} - T_0 \quad (6.1)$$

y el valor característico del máximo rango de la temperatura efectiva positiva del puente, $\Delta T_{N, \text{pos}}$, deberá tomarse como

$$\Delta T_{N, \text{pos}} = T_{e, \text{máx.}} - T_0 \quad (6.2)$$

NOTA – El rango total de la temperatura efectiva del puente es $\Delta T_N = T_{e, \text{máx.}} - T_{e, \text{mín.}}$.

- (4)P Para el proyecto del rango de movimientos (p.e. en el proyecto de apoyos y juntas de dilatación), el rango máximo de la temperatura efectiva positiva del puente será tomado como $(\Delta T_{N, \text{pos}} + \boxed{20})$ °C, y el rango máximo de la temperatura efectiva negativa del puente será tomado como $(\Delta T_{N, \text{neg}} - \boxed{20})$ °C, si no se requiere ninguna otra previsión.
- (5) Si la temperatura a la que se colocan los apoyos y las juntas de dilatación se conoce, entonces el valor dado en el párrafo anterior de $\boxed{20}$ °C se puede reducir a $\boxed{10}$ °C.

6.1.4 Componente lineal de la temperatura – valores característicos

6.1.4.1 Componente vertical

- (1) En un período de tiempo prescrito, el calentamiento y enfriamiento del tablero de un puente en su superficie superior ocasionará una variación de temperatura positiva máxima (superficie superior más caliente) y negativa máxima (superficie inferior más caliente). Cuando se utilizan conjuntamente materiales con diferentes coeficientes de dilatación térmica, véase anexo C.
- (2) Esto producirá efectos dentro de la estructura debido a:
- Coacción de la curvatura impuesta libre debido a la forma de la estructura (p.e. pórticos, vigas continuas, etc.).
 - Rozamiento en apoyos articulados.
 - Efectos no lineales geométricos (efectos de segundo orden).
- (3) Estos efectos deberán estar representados por las diferencias lineales de temperatura equivalentes positivas y negativas, como se indica en la tabla 6.1.

Tabla 6.1
Valores característicos de las diferencias lineales de temperatura para diferentes grupos de superestructuras de puente

Grupos de superestructuras (véase anexo B)	Puentes de carretera		Puentes de ferrocarril	
	Diferencia de temperatura positiva	Diferencia de temperatura negativa	Diferencia de temperatura positiva	Diferencia de temperatura negativa
	$\Delta T_{M, pos}$ (°C)	$\Delta T_{M, neg}$ (°C)	$\Delta T_{M, pos}$ (°C)	$\Delta T_{M, neg}$ (°C)
Grupo 1: Tablero metálico sobre cajón de acero, celosía o vigas armadas	[18]	[-13]	[18]	[-13]
Grupo 2: Tablero de hormigón sobre cajón de acero, celosía o vigas armadas	[15]	[-18]	[15]	[-18]
Grupo 3: Tablero de hormigón sobre – viga cajón de hormigón – viga de hormigón en T – losa de hormigón	[10] [15] [15]	[-5] [-8] [-8]	[10] [15] [15]	[-5] [-8] [-8]

NOTA – Los valores dados en esta tabla representan límites superiores de la variación de la componente lineal de la temperatura para ejemplos representativos de geometrías de puentes.

- (4) Para puentes mayores (p.e. luces mayores de 100 m o cuando se considere apropiado) se podrá realizar una simulación numérica de las diferencias de temperatura, considerando el método descrito en el anexo C.
- (5) Las diferencias de temperatura dadas en la tabla 6.1, se deben aplicar entre las fibras superior e inferior de la superestructura.
- (6) Los valores de las diferencias de temperatura dados en la tabla 6.1, están basados en un espesor de la superficie de rodadura de 50 mm para puentes de carretera y de ferrocarril. Para otros espesores o superficies estos valores se deberán multiplicar por el factor k_{sur} , como se indica en la tabla 6.2.

Tabla 6.2
Valores del coeficiente k_{sur} de acuerdo con los diferentes espesores de superficie

Espesor de superficie de rodadura	Puentes de carretera y ferrocarril					
	Hormigón		Acero		Mixta	
	Parte superior más caliente que parte inferior	Parte inferior más caliente que parte superior	Parte superior más caliente que parte inferior	Parte inferior más caliente que parte superior	Parte superior más caliente que parte inferior	Parte inferior más caliente que parte superior
(mm)	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}	k_{sur}
0	1,5 ¹⁾	1,0	1,6 ¹⁾	0,6	1,1	0,9
50	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	0,7	1,0	0,7	1,2	1,0	1,0
150	0,5	1,0	0,7	1,2	1,0	1,0
Balasto (60 cm)	0,6	1,0	0,6	1,4	0,8	1,2

1) Estos valores representan límites superiores de dichos valores.

6.1.4.2 Componente horizontal

- (1) En general, la distribución lineal de la temperatura sólo necesita considerarse en la dirección vertical. Sin embargo, en casos particulares, puede ser necesario considerar un gradiente horizontal de temperatura. En tales casos, si no se dispone de otro tipo de información y no existen indicaciones para valores mayores, podrá usarse como diferencia de temperatura $\boxed{5}$ °C.

6.1.5 Simultaneidad de las componentes uniforme y lineal de la temperatura

- (1) Si es necesario tener en cuenta la diferencia de temperatura ΔT_M y la componente uniforme de la temperatura ΔT_N actuando simultáneamente (p.e. en el caso de estructuras aporricadas), podrán usarse las siguientes expresiones:

$$\Delta T_M + \omega_N \Delta T_N \quad (6.3)$$

ó

$$\omega_M \Delta T_M + \Delta T_N \quad (6.4)$$

donde deberá elegirse el efecto más desfavorable y donde:

$$\omega_N = \boxed{0,35};$$

$$\omega_M = \boxed{0,75}.$$

6.1.6 Diferencias en la temperatura efectiva entre elementos estructurales distintos

- (1) En estructuras donde las diferencias de la temperatura efectiva entre los diferentes tipos de elementos puedan causar efectos de carga adversos, dichos efectos deberán tenerse en cuenta. Además de los efectos resultantes de una distribución uniforme de temperatura en todos los elementos, deben considerarse los efectos que resultan de una diferencia en la temperatura efectiva de $\boxed{15}$ °C entre los principales elementos estructurales (p.e. tirante y arco, cables atirantados y/o de suspensión y tablero).

6.2 Pilas de puente

6.2.1 Consideración de las acciones térmicas

- (1)P Las diferencias lineales de temperatura entre las caras exteriores de las pilas de los puentes, huecas o macizas, serán consideradas en el proyecto.
- (2) Los efectos globales de la temperatura sobre las pilas deberán ser considerados cuando éstos puedan ocasionar reacciones o movimientos en las estructuras colindantes.

6.2.2 Diferencias de temperatura – valores característicos

- (1) Los valores característicos de las diferencias lineales de temperatura entre las caras exteriores opuestas pueden tomarse igual a $\boxed{5}$ °C para pilas de hormigón, huecas o macizas, en ausencia de información más detallada y en ausencia de indicaciones sobre valores mayores.
- (2) Los valores característicos de las diferencias lineales de temperatura entre las caras interior y exterior de la pared pueden tomarse igual a $\boxed{15}$ °C.
- (3) Cuando se consideren las diferencias lineales de temperatura en pilas metálicas, debe acudirse a informes especializados.

7 VARIACIONES DE TEMPERATURA EN CHIMENEAS INDUSTRIALES Y TUBERÍAS

7.1 Generalidades

- (1)P Esta sección sólo proporciona valores cuantitativos para las acciones térmicas ocasionadas por los efectos climáticos, debido a la variación de la temperatura del aire a la sombra y la radiación solar.
- (2)P Los valores de temperatura de los procesos de operación se obtendrán de las especificaciones de proyecto.
- (3)P Las estructuras que están en contacto con flujos de gas caliente o material caliente (p.e. chimeneas, tuberías y silos), se deben diseñar, cuando sea necesario, para las siguientes acciones térmicas:
 - distribución de temperatura para las condiciones del proceso normal;
 - distribución accidental de la temperatura debida a fallos en operación.

7.2 Componentes de la temperatura – valores característicos

7.2.1 Temperatura del aire a la sombra

- (1)P Los valores característicos de las temperaturas máxima y mínima del aire a la sombra se obtienen en el lugar de emplazamiento haciendo referencia a los mapas nacionales de isotermas.
- (2) Los mapas nacionales de isotermas de las temperaturas máxima y mínima del aire a la sombra se muestran, para cada Estado Miembro, en el anexo A. Estas temperaturas son apropiadas para emplazamientos abiertos a una altitud correspondiente al nivel del mar, con un período de retorno de 50 años. Los ajustes para otros períodos de retorno, otras altitudes sobre el nivel del mar y condiciones locales, p.e. bolsas de hielo, están incluidos en el anexo A.
- (3) Para los casos en los que un período de retorno de 50 años se considere inapropiado, como para situaciones transitorias, los valores de la temperatura mínima (máxima) del aire a la sombra deberán modificarse de acuerdo con el anexo A.

7.2.2 Radiación solar

- (1)P Las chimeneas y tuberías que están expuestas a los efectos climáticos diarios y estacionales estarán sometidas a los efectos de la radiación solar, que afectarán a la temperatura a utilizar en el proyecto. Los valores característicos de la radiación solar se proporcionan tanto por las Estaciones Meteorológicas Nacionales como por las especificaciones de proyecto.

7.2.3 Temperatura del gas en conductos

- (1)P Los valores característicos (con un período de retorno de 50 años) de la temperatura máxima y mínima del gas en conductos se obtendrán de las especificaciones de proyecto.

7.2.4 Temperatura efectiva del elemento

- (1) La obtención de los valores característicos de la temperatura efectiva del elemento depende de la configuración del material, orientación y localización del elemento y será una función de las temperaturas máxima y mínima del aire a la sombra y de la radiación solar. No se pueden proporcionar reglas en este Código y será necesario recurrir al asesoramiento de un especialista o a la utilización de los valores indicativos dados en 7.5.

7.3 Acciones térmicas a considerar

- (1)P Se consideran tanto la componente uniforme de la distribución de la temperatura (véase figura 4.1 (a)) como la componente de variación lineal de la temperatura (véase figura 4.1 (b)).

- (2)P Se considerará una distribución escalonada de la temperatura alrededor de la estructura, causada por la radiación solar.
- (3)P Se considerarán las componentes uniforme y de variación lineal de la temperatura debidas al proceso de la temperatura.

7.4 Determinación de las componentes de la temperatura

- (1)P Las distribuciones uniformes y de variación lineal de la temperatura debidas a los efectos climáticos serán determinadas de acuerdo con las bases nacionales teniendo en cuenta la exposición a la variación diaria de la radiación solar y de la temperatura.
- (2) Si se dispone de información específica sobre la correlación entre la componente efectiva de la temperatura y la radiación solar y la temperatura del aire a la sombra, para proporcionar valores característicos de la componente efectiva de la temperatura en el proyecto, dicha información debe utilizarse para obtener los valores para el proyecto.
- (3)P Los valores característicos de la componente uniforme de la temperatura para líquidos o gases se tomarán de las especificaciones de proyecto.
- (4)P La componente de variación lineal de la temperatura para líquidos o gases se tomará de la diferencia entre el valor mínimo (o máximo) de la temperatura del aire a la sombra y el valor característico de la temperatura del líquido o el gas, teniendo en cuenta los efectos del aislamiento.

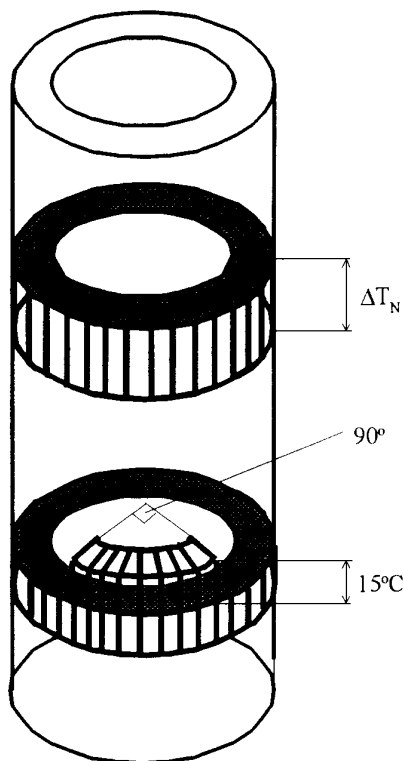
7.5 Valores característicos de las componentes de la temperatura (valores indicativos)

- (1) En ausencia de cualquier información específica sobre los valores característicos de la temperatura, pueden utilizarse los valores indicativos que se indican en este apartado.
NOTA – Estos valores están basados en la experiencia y deberán ser comprobados con cualquier dato disponible para asegurar que probablemente estén por encima de los valores de límite superior, para la localización y el tipo de elemento en consideración.
- (2) Los valores característicos máximo y mínimo de la componente uniforme de la temperatura deberán tomarse como los valores máximo y mínimo de la temperatura del aire a la sombra (véase 7.2.1).
- (3) Para chimeneas de hormigón y tuberías de hormigón, los valores característicos de las diferencias lineales de temperatura entre las caras interior y exterior de la pared deberán tomarse igual a $\boxed{15}$ °C.
- (4) Para chimeneas de hormigón y tuberías de hormigón, se deberá considerar una distribución de temperatura escalonada alrededor de la circunferencia de la estructura (que causa los efectos térmicos globales y locales) sabiendo que un cuadrante de 90° de la circunferencia tiene una temperatura media $\boxed{15}$ °C superior a la del resto de la circunferencia.
- (5) Cuando se consideren chimeneas y tuberías de acero, la diferencia lineal de temperatura y la distribución escalonada de temperatura alrededor de la estructura en cuestión deben fijarse en las especificaciones de proyecto o deberá obtenerse asesoramiento de un especialista.

7.6 Simultaneidad de acciones

- (1) Cuando se consideren las acciones térmicas debidas sólo a efectos climáticos, se deberá tener en cuenta la simultaneidad de las siguientes acciones:
 - a) componente uniforme de la temperatura (véase 7.5 (2) y figura 7.1 (a));
 - b) distribución escalonada (véase 7.5 (4) y figura 7.1 (b));
 - c) diferencias lineales de temperatura entre las caras interior y exterior de la pared (véase 7.5 (3) y figura 7.1 (c)).

- (2) Cuando se considere una combinación de las acciones térmicas debidas a efectos climáticos con aquellas debidas a otros procesos (líquidos o gases), las siguientes componentes deben considerarse como simultáneas:
- componente uniforme de la temperatura debida a la temperatura del gas (véase 7.4 (3));
 - diferencias lineales de temperatura (véase 7.4 (4));
 - distribución escalonada (véase 7.5 (4)).
- (3) Cuando se considere la distribución escalonada de la temperatura, se deberá combinar con los efectos del viento (incluyendo desprendimiento de vórtices y ovalización), con la velocidad del viento apropiada de modo que se cause la máxima respuesta de estos efectos.



a) **Componente uniforme de la temperatura**

b) **Distribución escalonada de la temperatura**

c) **Diferencias lineales de temperatura entre las caras interior y exterior de la pared**

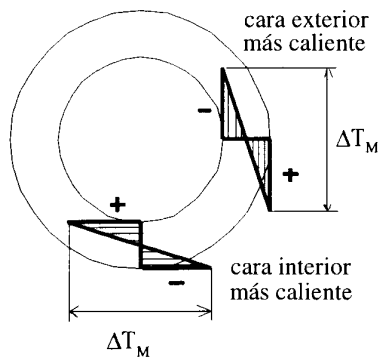


Fig. 7.1 – Componentes relevantes de la temperatura para chimeneas y tuberías industriales

ANEXO A (Informativo)

ISOTERMAS DE LAS TEMPERATURAS NACIONALES MÁXIMA Y MÍNIMA DEL AIRE A LA SOMBRA

A.1 Generalidades

- (1) Este anexo contiene mapas de isotermas de las temperaturas anuales (a la sombra) máxima y mínima para los Estados Miembros.
- (2) Los mapas representan valores con un período de retorno de 50 años. Estos valores pueden necesitar ser ajustados para alturas por encima del nivel del mar, de acuerdo con A.3. Sin embargo, en ausencia de esta información los valores de la temperatura del aire a la sombra deberán ajustarse para alturas sobre el nivel del mar restando $0,5$ °C por cada 100 m de altura para la temperatura mínima y 1 °C para la máxima.
- (3) En lugares donde los valores mínimos difieren de los valores dados, como zonas heladas y áreas bajas abrigadas donde la temperatura mínima puede ser sustancialmente menor, o en grandes aglomeraciones urbanas y zonas costeras, donde el mínimo puede ser mayor que el indicado en las correspondientes figuras, estas diferencias deberán considerarse utilizando los datos meteorológicos locales.
- (4) El dato de la temperatura T_0 , se tomará de la información proporcionada por cada Estado Miembro en este anexo. En ausencia de valores específicos, T_0 se tomará como 10 °C.

A.2 Valores máximos y mínimos de la temperatura del aire a la sombra para periodos de retorno distintos a 50 años

- (1) Si el valor de la máxima (mínima) temperatura del aire, $T_{máx., R}$ ($T_{mín., R}$), está basado en un período de retorno distinto a 50 años, la relación $T_{máx., R}/T_{máx.}(T_{mín., R}/T_{mín.})$ puede determinarse de la figura A.1, basada en datos del Reino Unido.
- (2) En general, $T_{máx., R}$ ($T_{mín., R}$) podrán calcularse utilizando las siguientes expresiones basadas en la distribución de valor extremo tipo I:

$$- \text{máxima: } T_{máx., R} = T_{máx.} \{k_1 - k_2 \ln[-\ln(1-1/R)]\} \quad (\text{A.1})$$

$$- \text{mínima: } T_{mín., R} = T_{mín.} \{k_3 + k_4 \ln[-\ln(1-1/R)]\} \quad (\text{A.2})$$

donde

$T_{máx.}$ ($T_{mín.}$) es el valor de la temperatura máxima (mínima) del aire a la sombra con un período de retorno de 50 años;

R es el período de retorno de la temperatura máxima (mínima) del aire a la sombra, en años;

$$k_1 = (uc) / \{(uc) + 3,902\} \quad (\text{A.3})$$

$$k_2 = 1 / \{(uc) + 3,902\} \quad (\text{A.4})$$

donde

u, c Son parámetros de localización y escala de la distribución anual de la temperatura máxima del aire a la sombra.

$$k_3 = (uc) / \{(uc) - 3,902\} \tag{A.5}$$

$$k_4 = 1 / \{(uc) - 3,902\} \tag{A.6}$$

donde

u, c son parámetros de localización y escala de la distribución anual de la temperatura mínima del aire a la sombra.

Los coeficientes k_1, k_2, k_3 y k_4 , deberán basarse en los valores de u y c dados por las autoridades nacionales responsables. En ausencia de datos específicos podrán utilizarse los siguientes valores basados en datos del Reino Unido:

$$k_1 = 0,781;$$

$$k_2 = 0,056;$$

$$k_3 = 0,393;$$

$$k_4 = - 0,156.$$

Las relaciones $T_{máx., R} / T_{máx.}$ y $T_{mín., R} / T_{mín.}$ respectivamente, podrán entonces tomarse de la figura A.1.

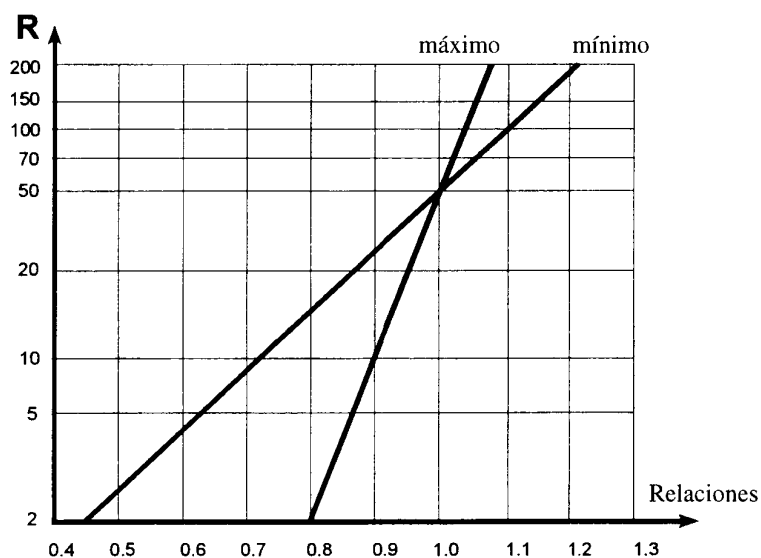


Fig. A.1 – Relaciones $T_{máx., R} / T_{máx.}$ y $T_{mín., R} / T_{mín.}$

A.3 Listado de mapas nacionales de isotermas de las temperaturas máxima y mínima del aire a la sombra

A.3.1 Mapa de Austria (no hay información disponible)

A.3.2 Mapa de Bélgica

A.3.3 Mapa de Bulgaria

A.3.4 Mapa de la República Checa

A.3.5 Mapa de Dinamarca

A.3.6 Mapa de Finlandia

A.3.7 Mapa de Francia (no hay información disponible)

A.3.8 Mapa de Alemania

A.3.9 Mapa de Grecia (no hay información disponible)

A.3.10 Mapa de Islandia (no hay información disponible)

A.3.11 Mapa de Irlanda

A.3.12 Mapa de Italia

A.3.13 Mapa de Luxemburgo

A.3.14 Mapa de Holanda

A.3.15 Mapa de Noruega (no hay información disponible)

A.3.16 Mapa de Portugal

A.3.17 Mapa de Eslovaquia

A.3.18 Mapa de España

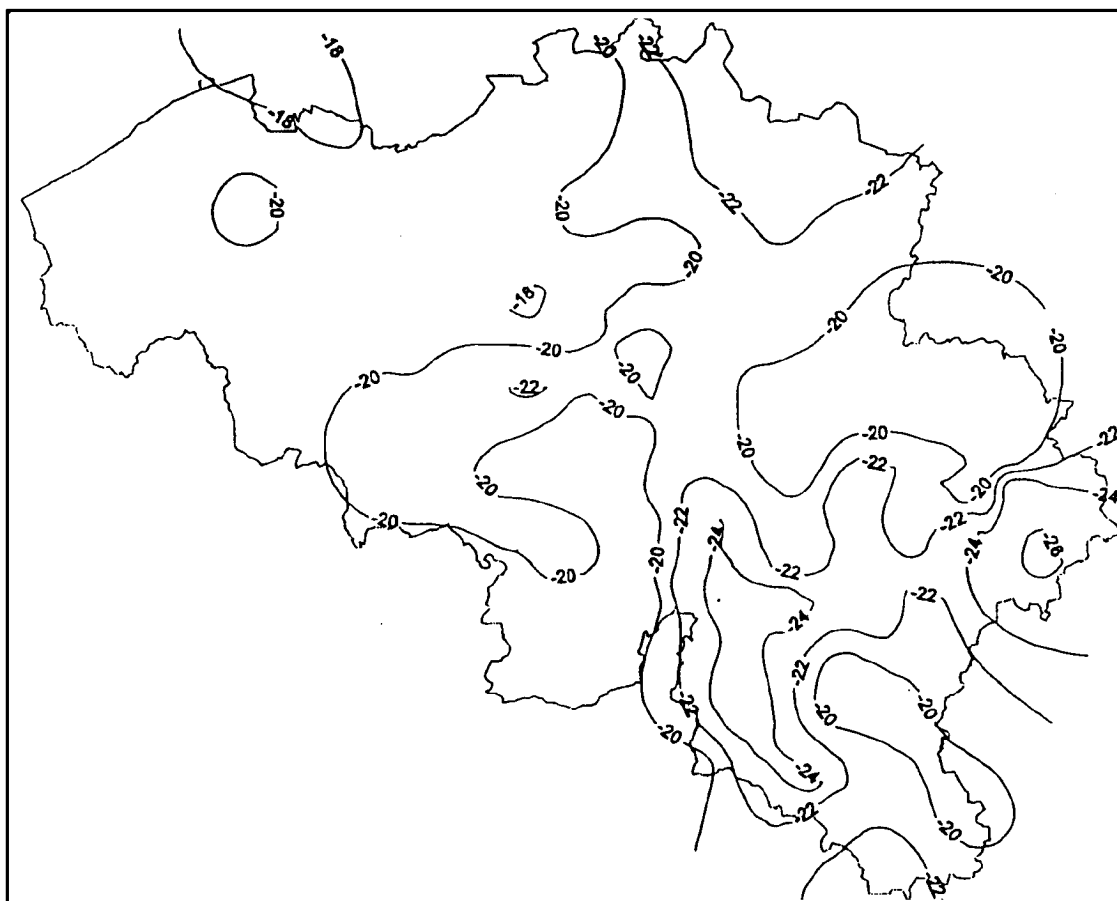
A.3.19 Mapa de Suecia

A.3.20 Mapa de Suiza

A.3.21 Mapa del Reino Unido

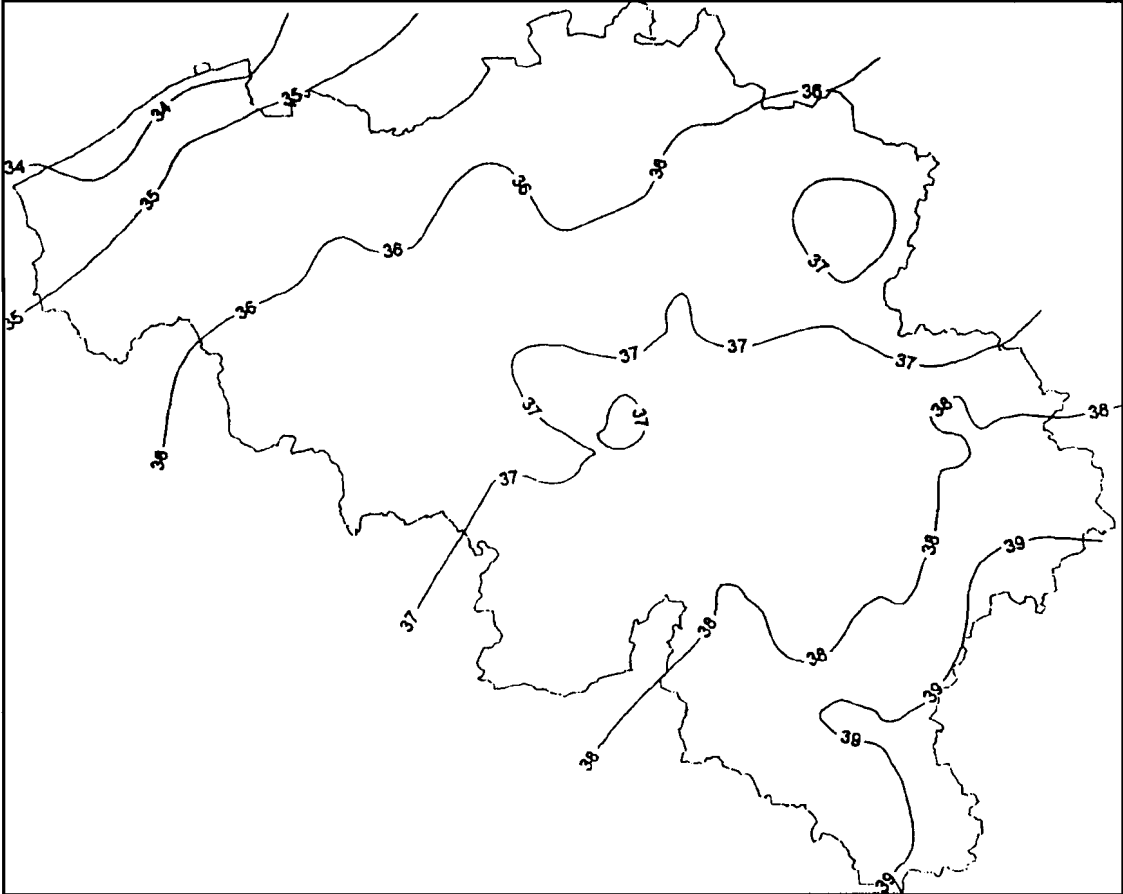
A.3.2 Bélgica

(1) Isotermas de la temperatura mínima del aire a la sombra en °C



A.3.2 Bélgica

(2) Isotermas de la temperatura máxima del aire a la sombra en °C



A.3.3 Bulgaria

(1) Isotermas de la temperatura mínima del aire a la sombra

En general, la temperatura mínima del aire a la sombra podrá tomarse como $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para el área costera del Mar Negro dicha temperatura podrá tomarse como $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Deben esperarse desviaciones locales significativas dependiendo de la localización, topografía y desarrollo urbano.

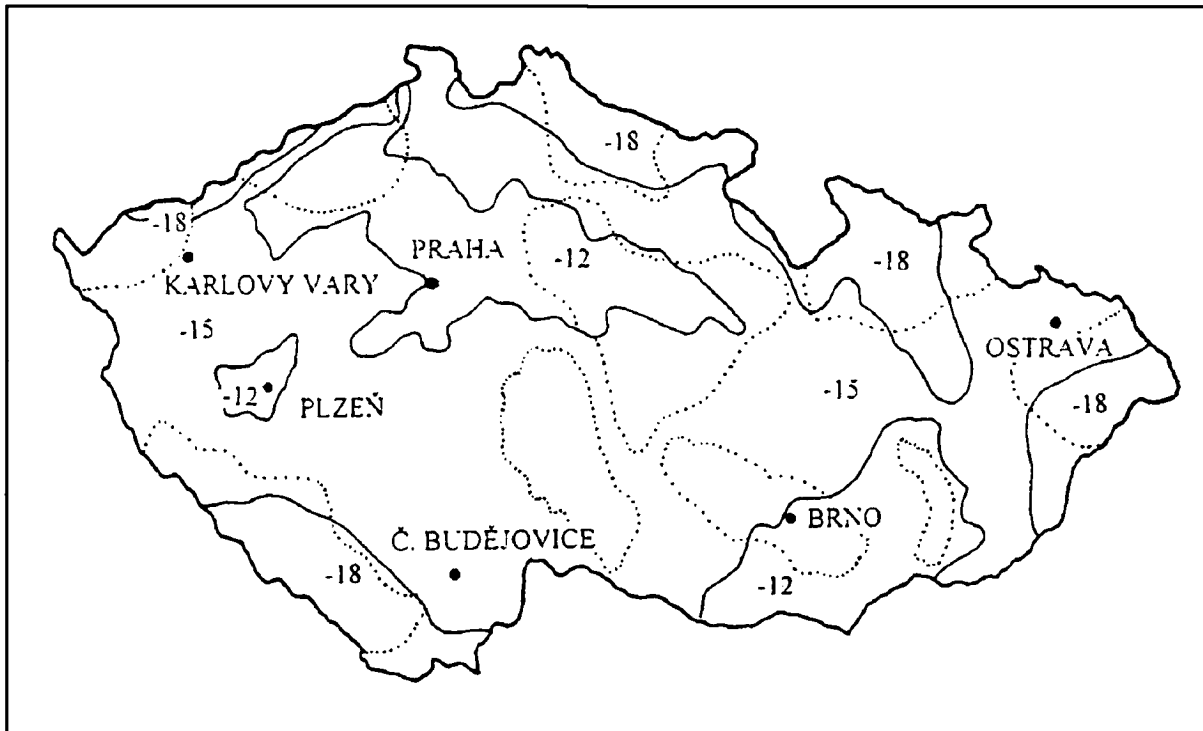
(2) Isotermas de la temperatura máxima del aire a la sombra

En general, la temperatura máxima del aire a la sombra podrá tomarse como $44\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para el área costera del Mar Negro dicha temperatura podrá tomarse como $41\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Deben esperarse desviaciones locales significativas dependiendo de la localización, topografía y desarrollo urbano.

A.3.4 República Checa

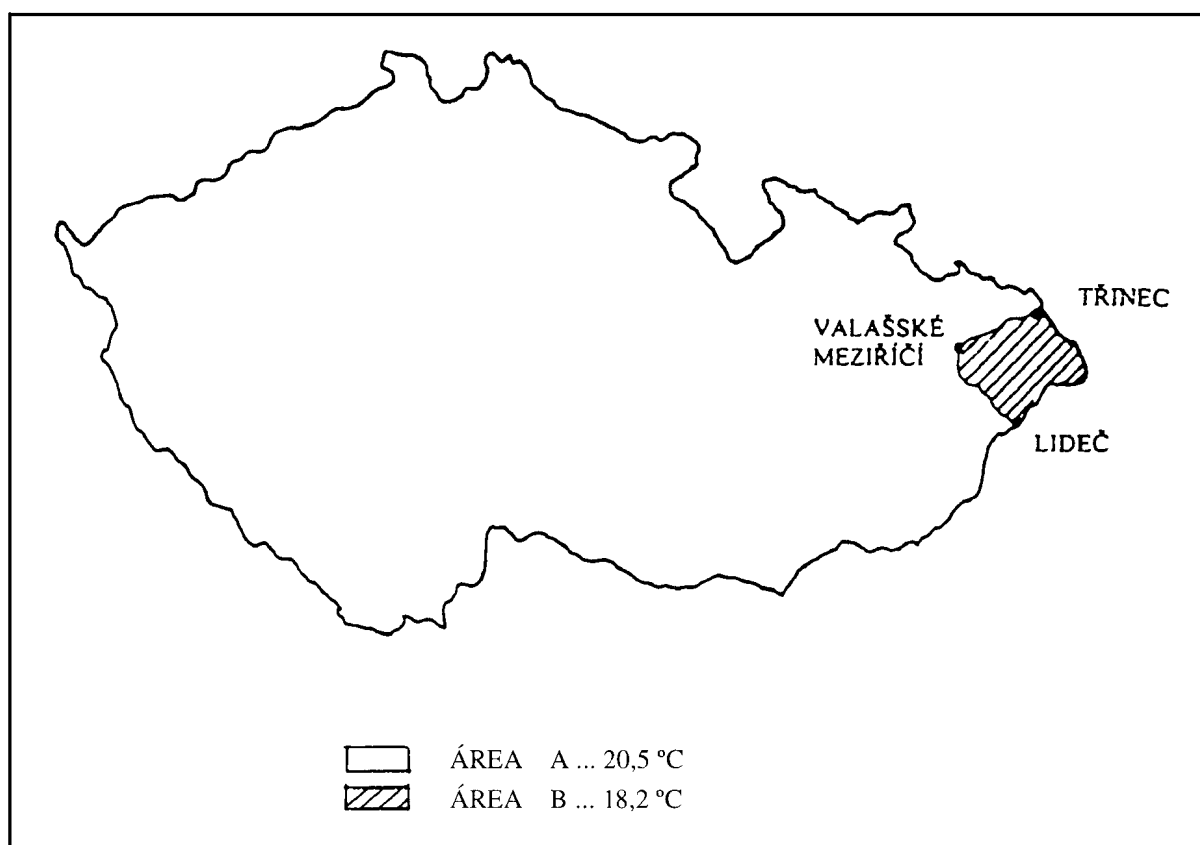
(1) Isotermas de la temperatura mínima del aire a la sombra en °C



..... límite de las áreas con fuertes vientos

A.3.4 República Checa

(2) Isotermas de la temperatura máxima del aire a la sombra en °C



A.3.5 Dinamarca

(1) Isoterma de la temperatura mínima del aire a la sombra

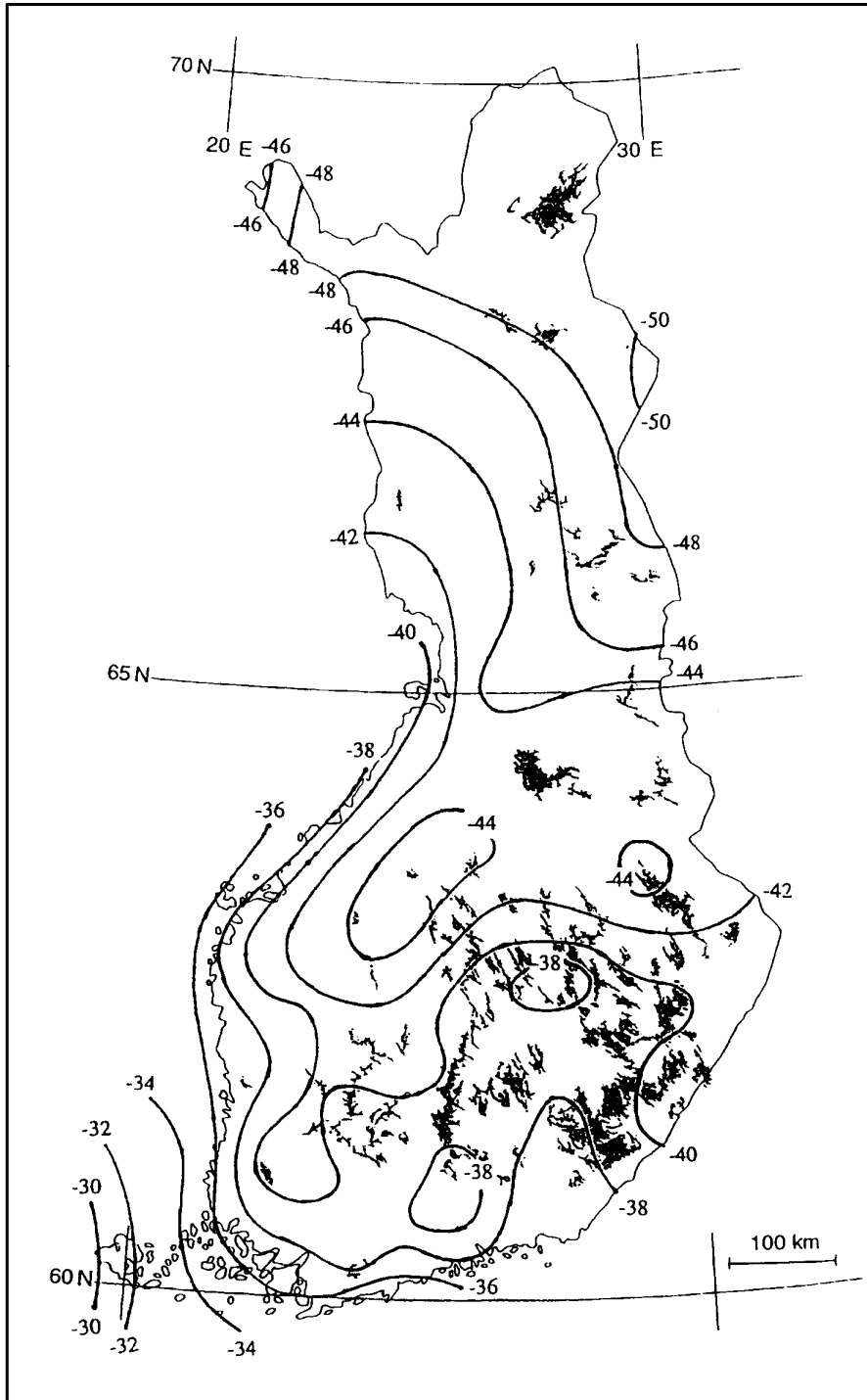
En general, la temperatura mínima del aire a la sombra podrá tomarse como $- 31\text{ }^{\circ}\text{C}$.

(2) Isoterma de la temperatura máxima del aire a la sombra

En general, la temperatura máxima del aire a la sombra podrá tomarse como $36\text{ }^{\circ}\text{C}$.

A.3.6 Finlandia

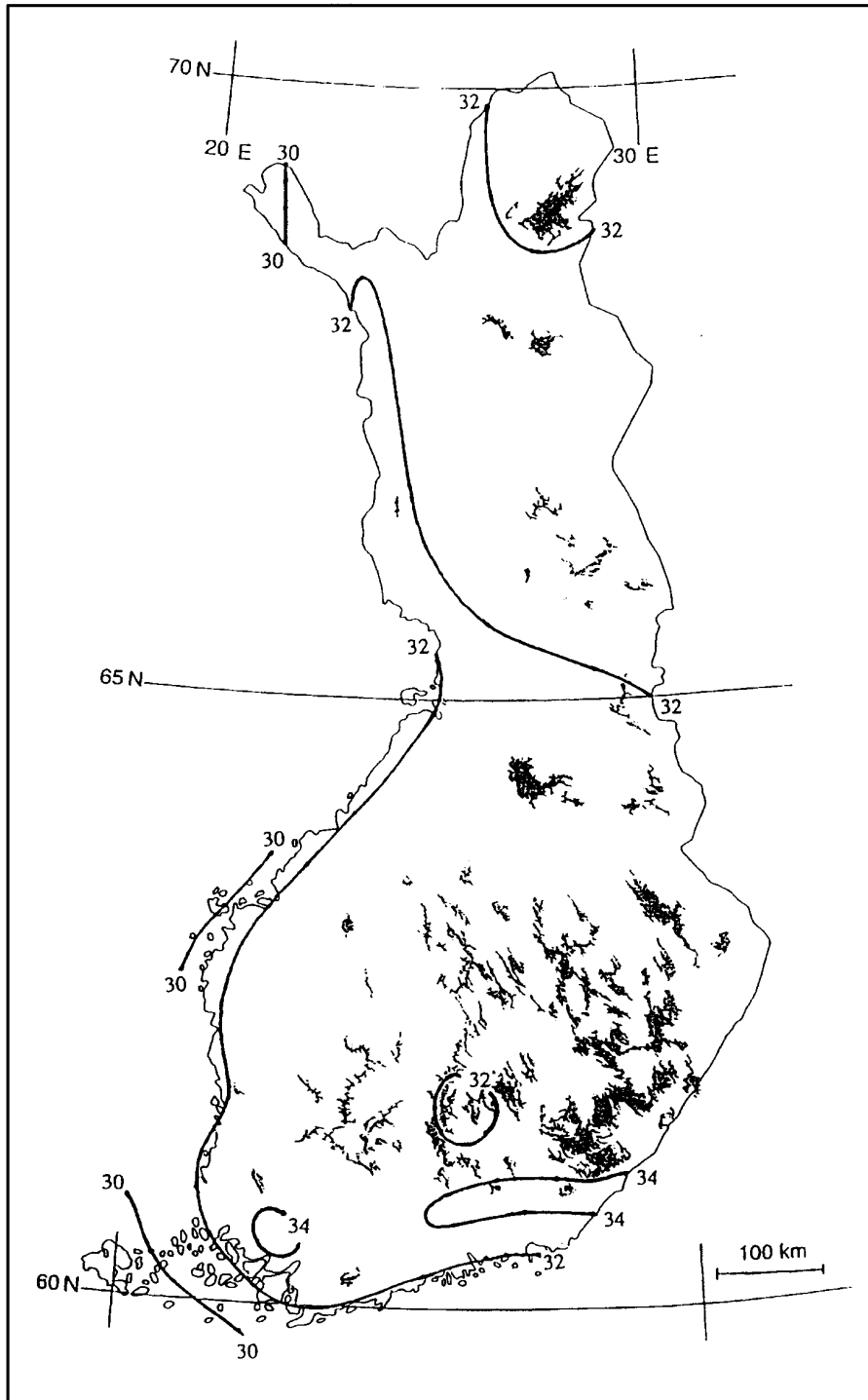
(1) Isotermas de la temperatura mínima del aire a la sombra



Temperatura mínima anual (en °C) con período de retorno de 50 años. Los datos representan temperaturas mínimas medidas durante un período de observación de 50 años. Se esperan desviaciones locales significativas debidas a la topografía y al desarrollo urbano.

A.3.6 Finlandia

(2) Isotermas de la temperatura máxima del aire a la sombra en °C



Temperatura máxima anual (en °C) con período de retorno de 50 años. Los datos representan temperaturas máximas medidas durante un período de observación de 50 años. Se esperan desviaciones locales significativas debidas a la topografía y al desarrollo urbano.

A.3.8 Alemania

(1) Isoterma de la temperatura mínima del aire a la sombra

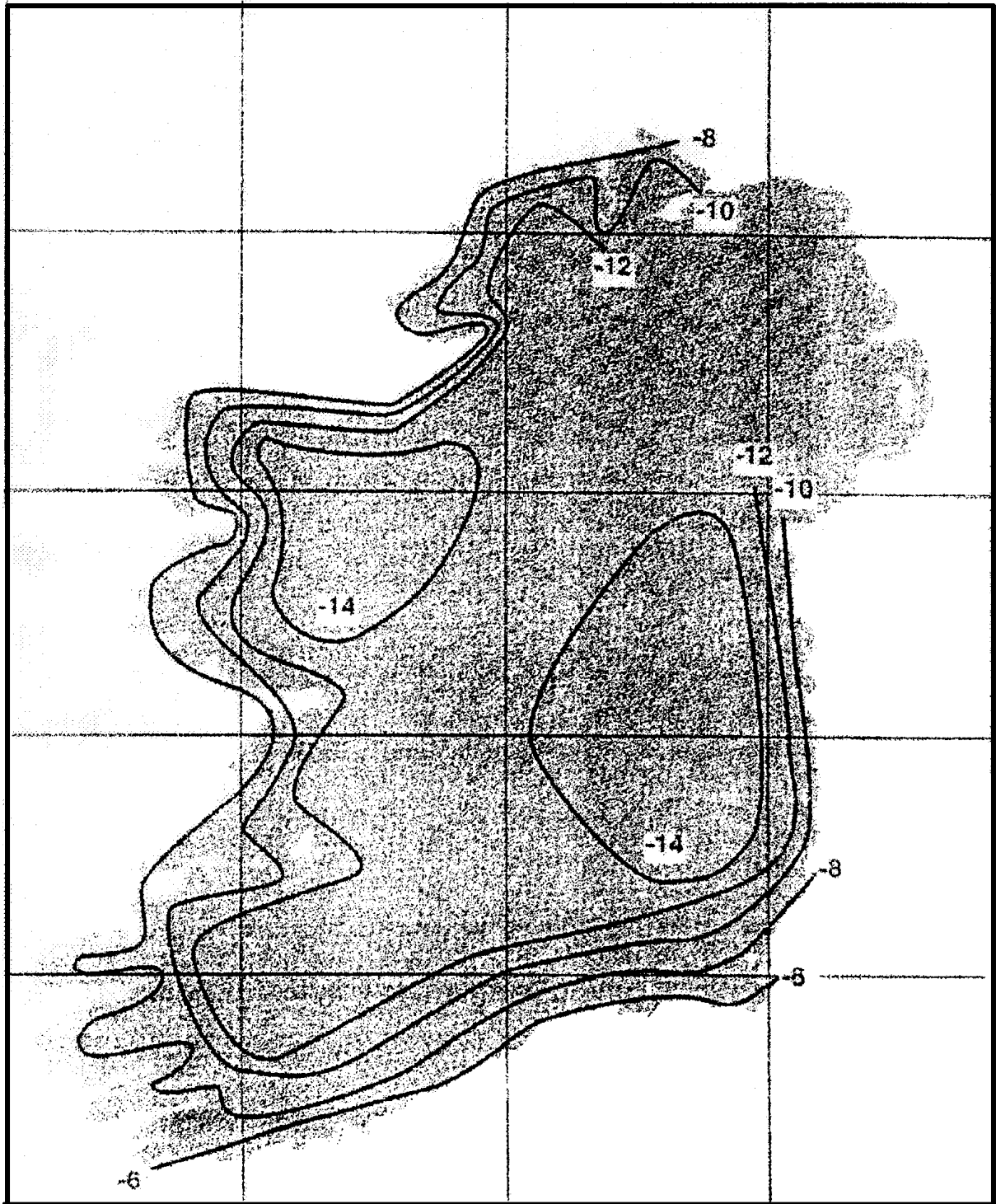
En general, la temperatura mínima del aire a la sombra podrá tomarse como $- 24\text{ }^{\circ}\text{C}$.

(2) Isoterma de la temperatura máxima del aire a la sombra

En general, la temperatura máxima del aire a la sombra podrá tomarse como $37\text{ }^{\circ}\text{C}$.

A.3.11 Irlanda

(1) Isotermas de la temperatura mínima del aire a la sombra en °C

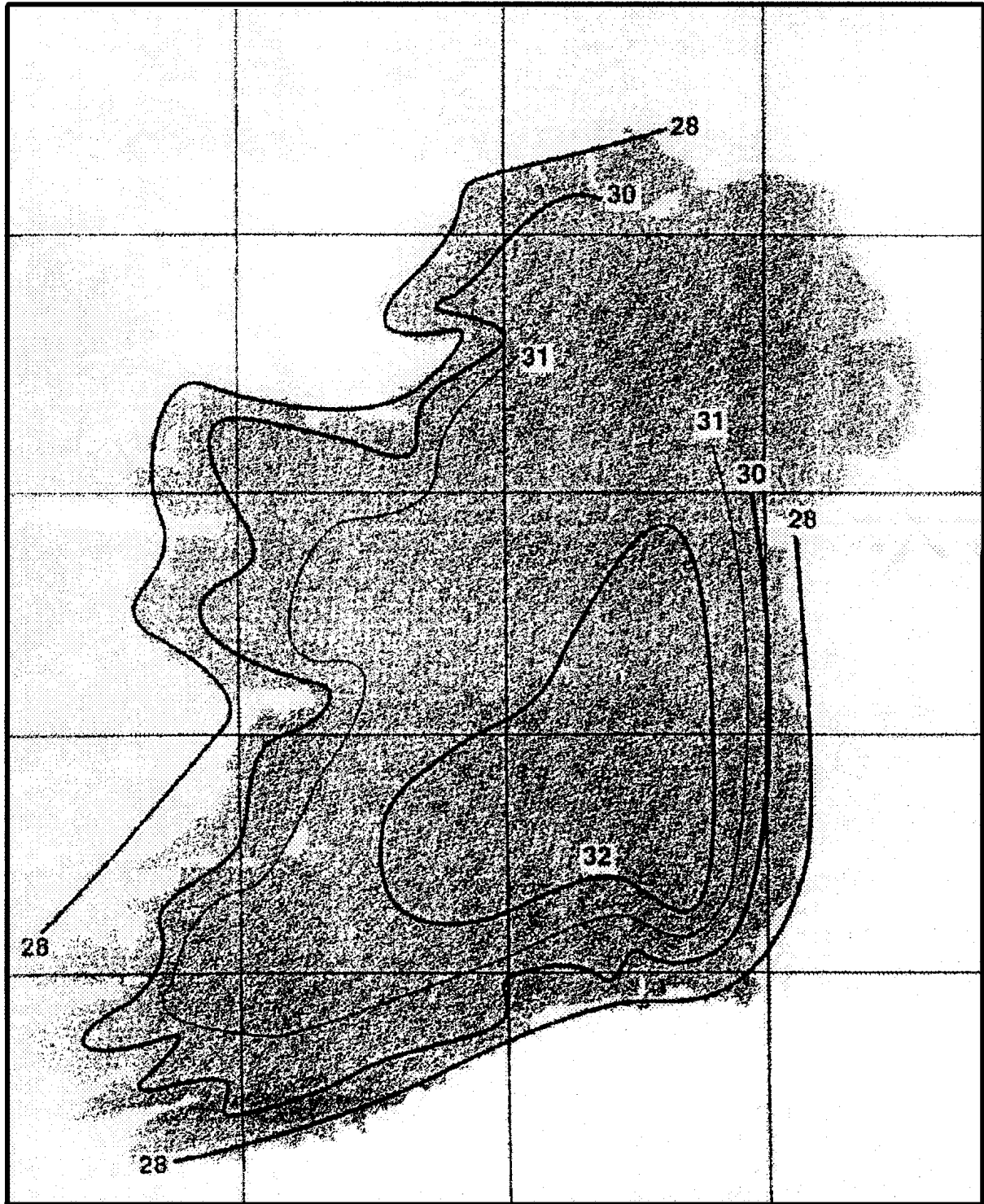


Los valores han sido ajustados al nivel medio del mar estimando una disminución de 0,5 °C cada 100 m

$k_3 = 0,500$ $k_4 = - 0,130$

A.3.11 Irlanda

(2) Isotermas de la temperatura máxima del aire a la sombra en °C



Los valores han sido ajustados al nivel medio del mar estimando una disminución de 0,5 °C cada 100 m

$k_1 = 0,800$ $k_2 = 0,052$

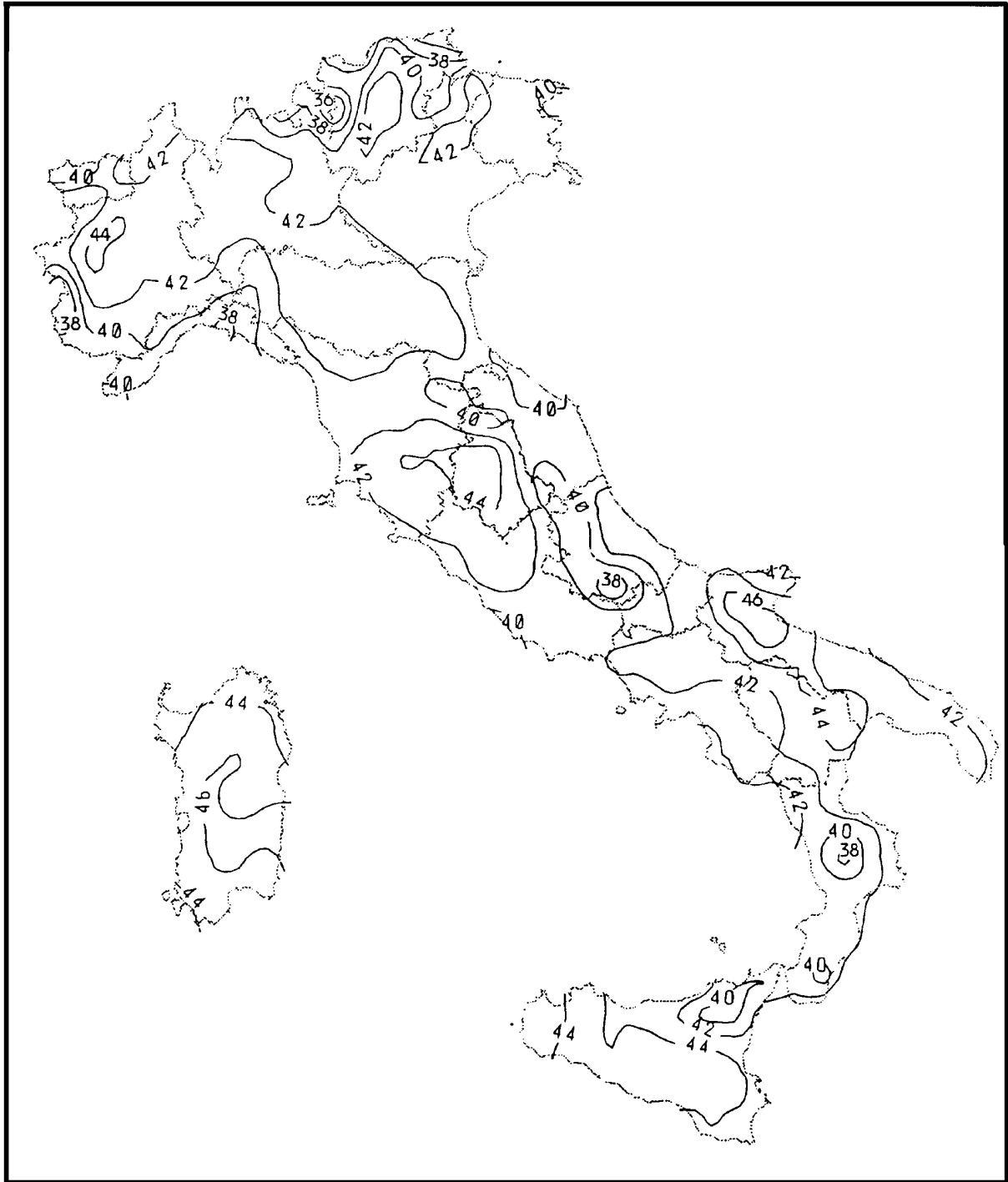
A.3.12 Italia (MAPA NO OFICIAL)

(1) Isotermas de la temperatura mínima del aire a la sombra en °C



A.3.12 Italia (MAPA NO OFICIAL)

(2) Isotermas de la temperatura máxima del aire a la sombra en °C



A.3.13 Luxemburgo

(1) Isoterma de la temperatura mínima del aire a la sombra

En general, la temperatura mínima del aire a la sombra podrá tomarse como $- 24\text{ }^{\circ}\text{C}$.

(2) Isoterma de la temperatura máxima del aire a la sombra

En general, la temperatura máxima del aire a la sombra podrá tomarse como $37\text{ }^{\circ}\text{C}$.

A.3.14 Holanda

(1) Isotherma de la temperatura mínima del aire a la sombra

En general, la temperatura mínima del aire a la sombra podrá tomarse como $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Para las provincias costeras N –Holanda, Z –Holanda y Zeeland la temperatura mínima del aire a la sombra podrá tomarse como $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$.

(2) Isotherma de la temperatura máxima del aire a la sombra

En general, la temperatura máxima del aire a la sombra podrá tomarse como $38\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Para las provincias costeras N –Holanda, Z –Holanda y Zeeland la temperatura máxima del aire a la sombra podrá tomarse como $35\text{ }^{\circ}\text{C}$.

A.3.16 Portugal

(1) Isoterma de la temperatura mínima del aire a la sombra

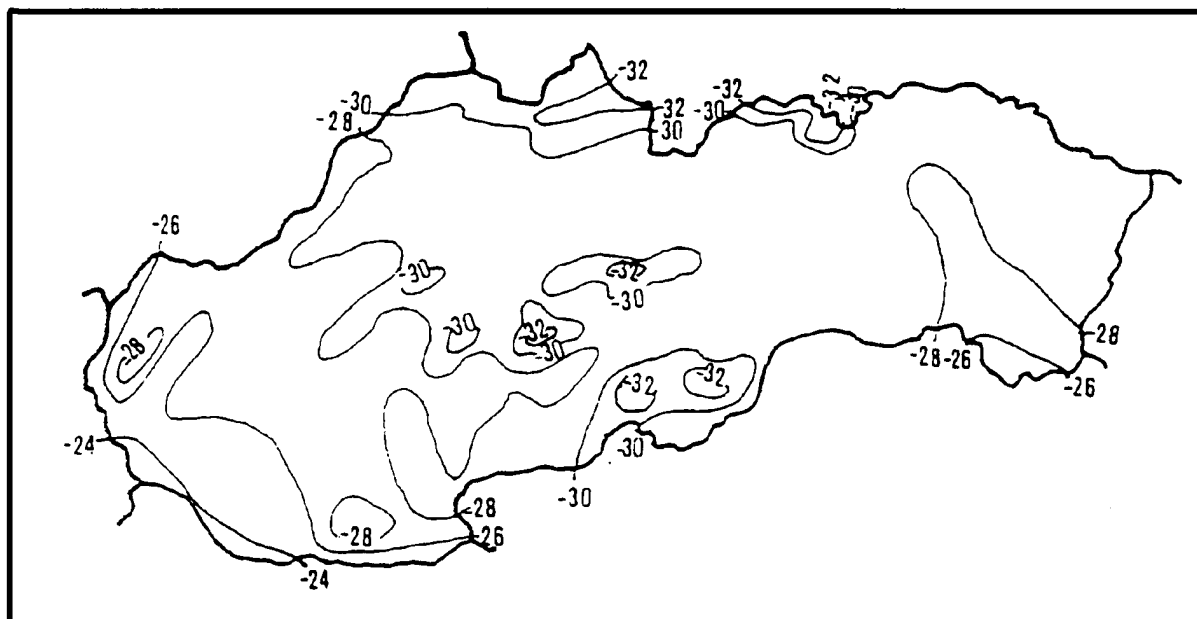
En general, la temperatura mínima del aire a la sombra podrá tomarse como $- 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

(2) Isoterma de la temperatura máxima del aire a la sombra

En general, la temperatura máxima del aire a la sombra podrá tomarse como $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

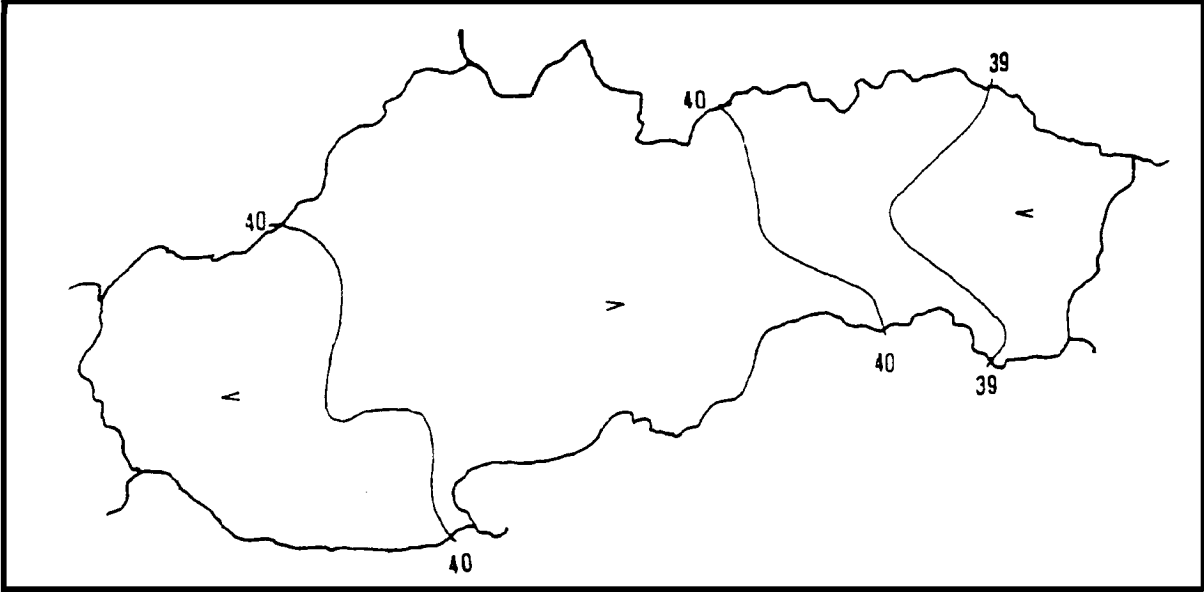
A.3.17 Eslovaquia

(1) Isotermas de la temperatura mínima del aire a la sombra en °C



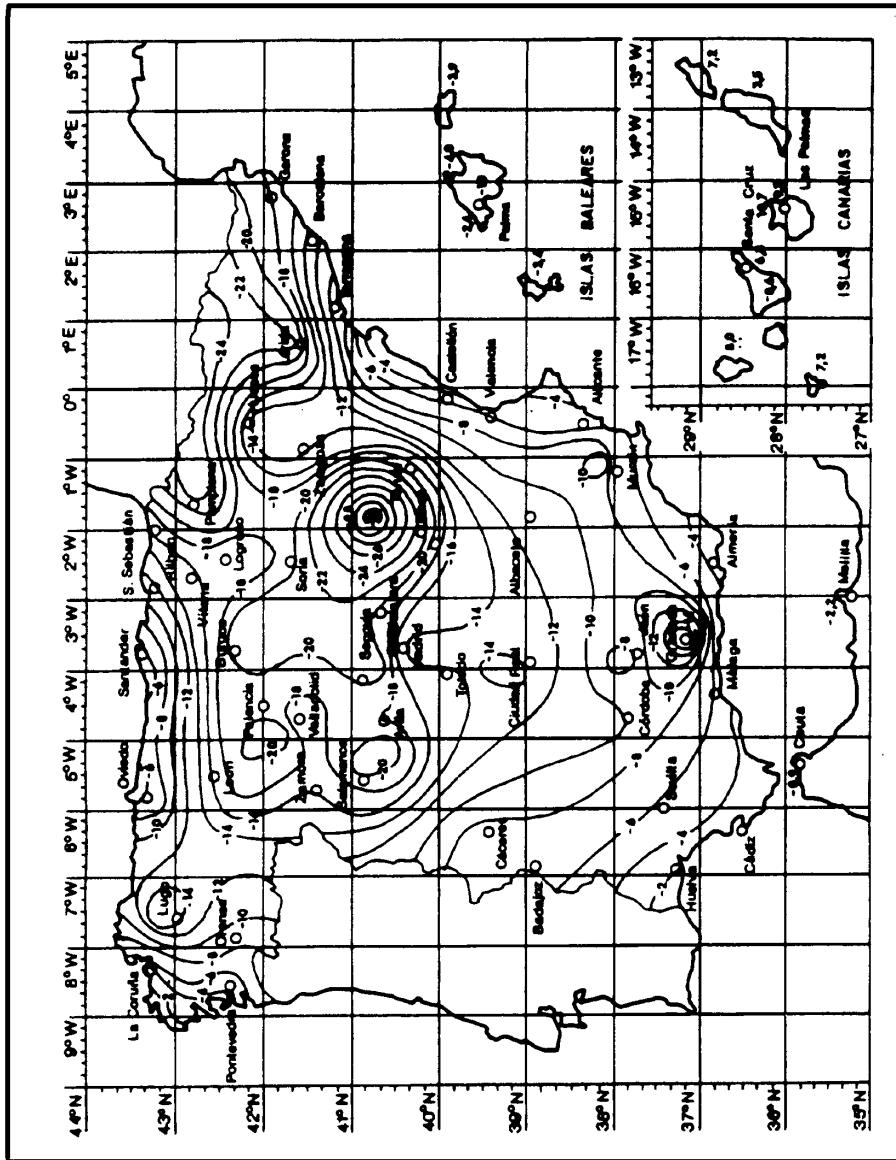
A.3.17 Eslovaquia

(2) Isothermas de la temperatura máxima del aire a la sombra en °C



A.3.18 España

(1) Isotermas de la temperatura mínima del aire a la sombra en °C

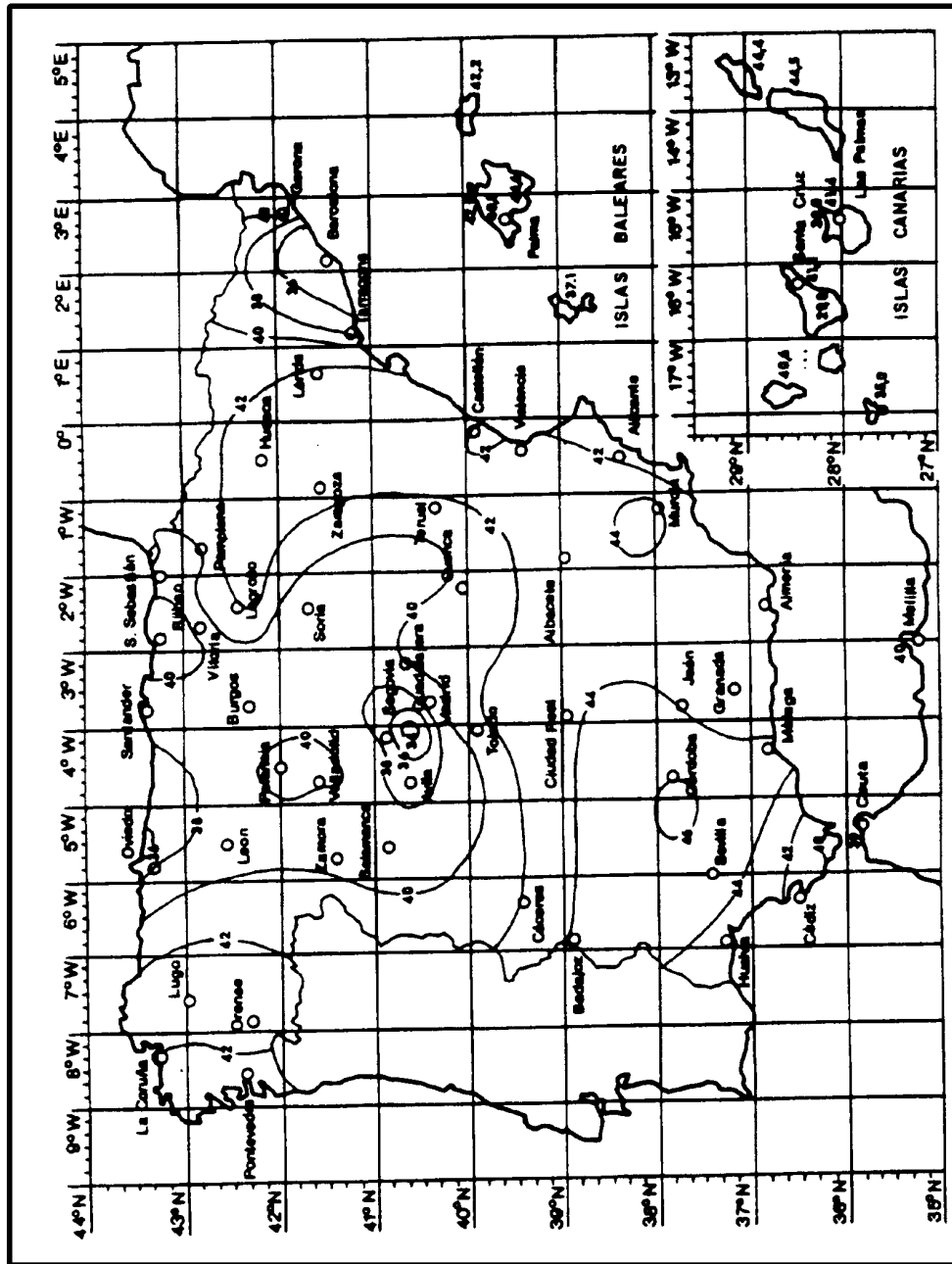


Los valores han sido determinados utilizando el siguiente método:

- datos de la temperatura desde 1961 hasta 1990;
- los ajustes se han realizado utilizando la función de distribución de valores extremos, por el método de la máxima verosimilitud;
- período de retorno de 50 años;
- nivel de confianza del 90%;
- el mapa ha sido desarrollado usando el método lineal de Kriging.

A.3.18 España

(2) Isotermas de la temperatura máxima del aire a la sombra en °C



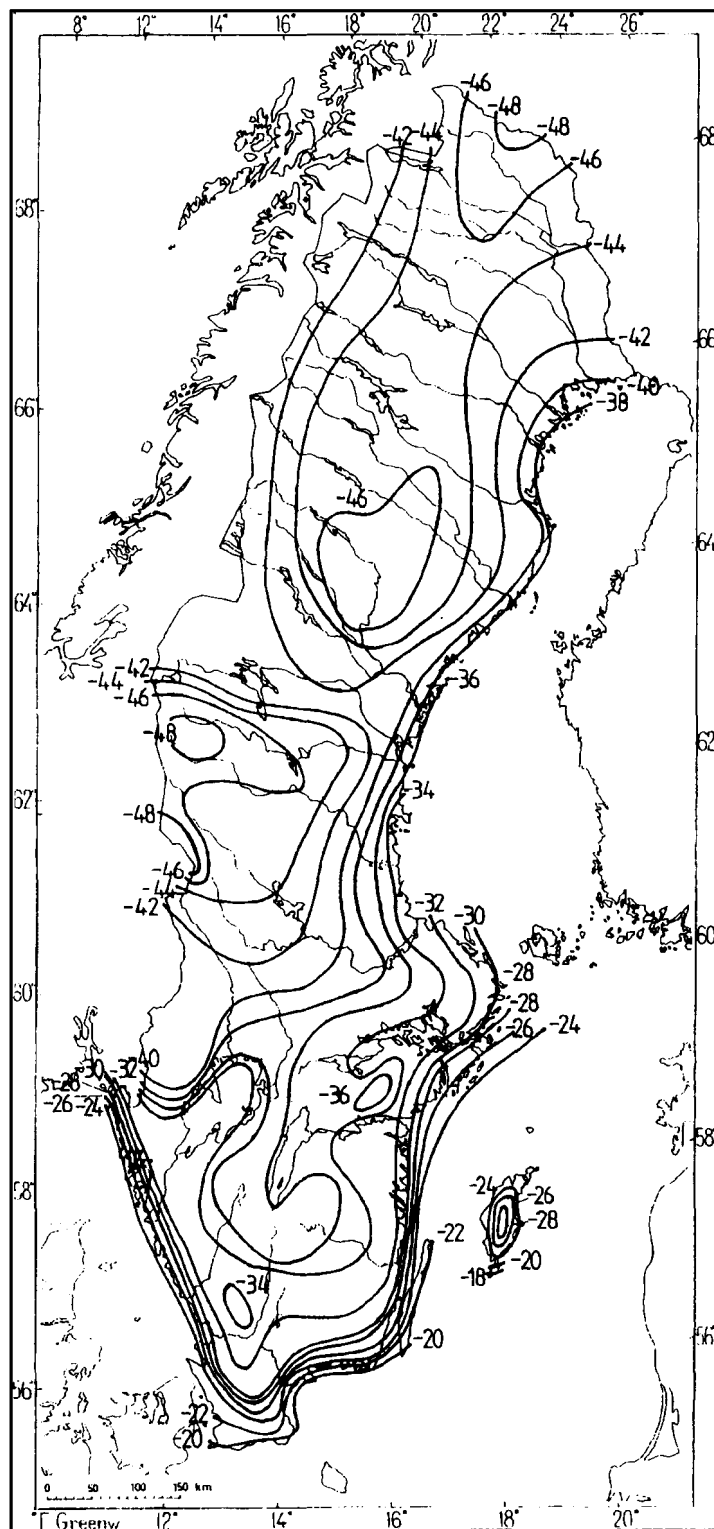
Los valores han sido determinados utilizando el siguiente método:

- datos de la temperatura desde 1961 hasta 1990;
- los ajustes se han realizado utilizando la función de distribución de valores extremos, por el método de la máxima verosimilitud;
- período de retorno de 50 años;
- nivel de confianza del 90%;
- el mapa ha sido desarrollado usando el método lineal de Kriging.

A.3.19 Suecia

(1) Isotermas de la temperatura mínima del aire a la sombra en °C

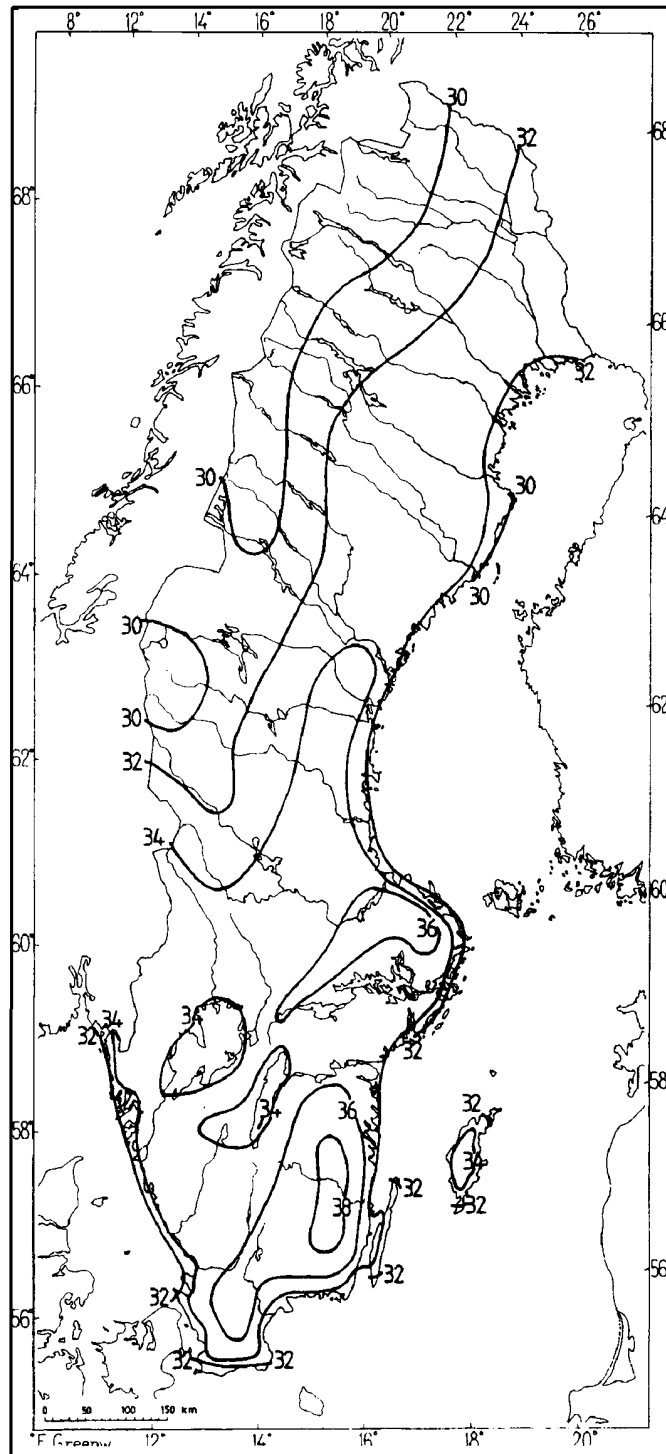
Los datos representan valores modales de temperaturas mínimas anuales obtenidos durante un período de observación de 50 años. Pueden esperarse desviaciones significativas locales en función de la topografía y el desarrollo urbano.



A.3.19 Suecia

(2) Isotermas de la temperatura mínima del aire a la sombra en °C

Los datos representan valores modales de temperaturas máximas anuales obtenidos durante un período de observación de 50 años. Pueden esperarse desviaciones significativas locales en función de la topografía y el desarrollo urbano.



A.3.20 Suiza

(1) Isoterma de la temperatura mínima del aire a la sombra

En general, la temperatura mínima del aire a la sombra puede tomarse como:

Norte de los Alpes -28 °C;

Sur de los Alpes -20 °C.

(2) Isoterma de la temperatura máxima del aire a la sombra

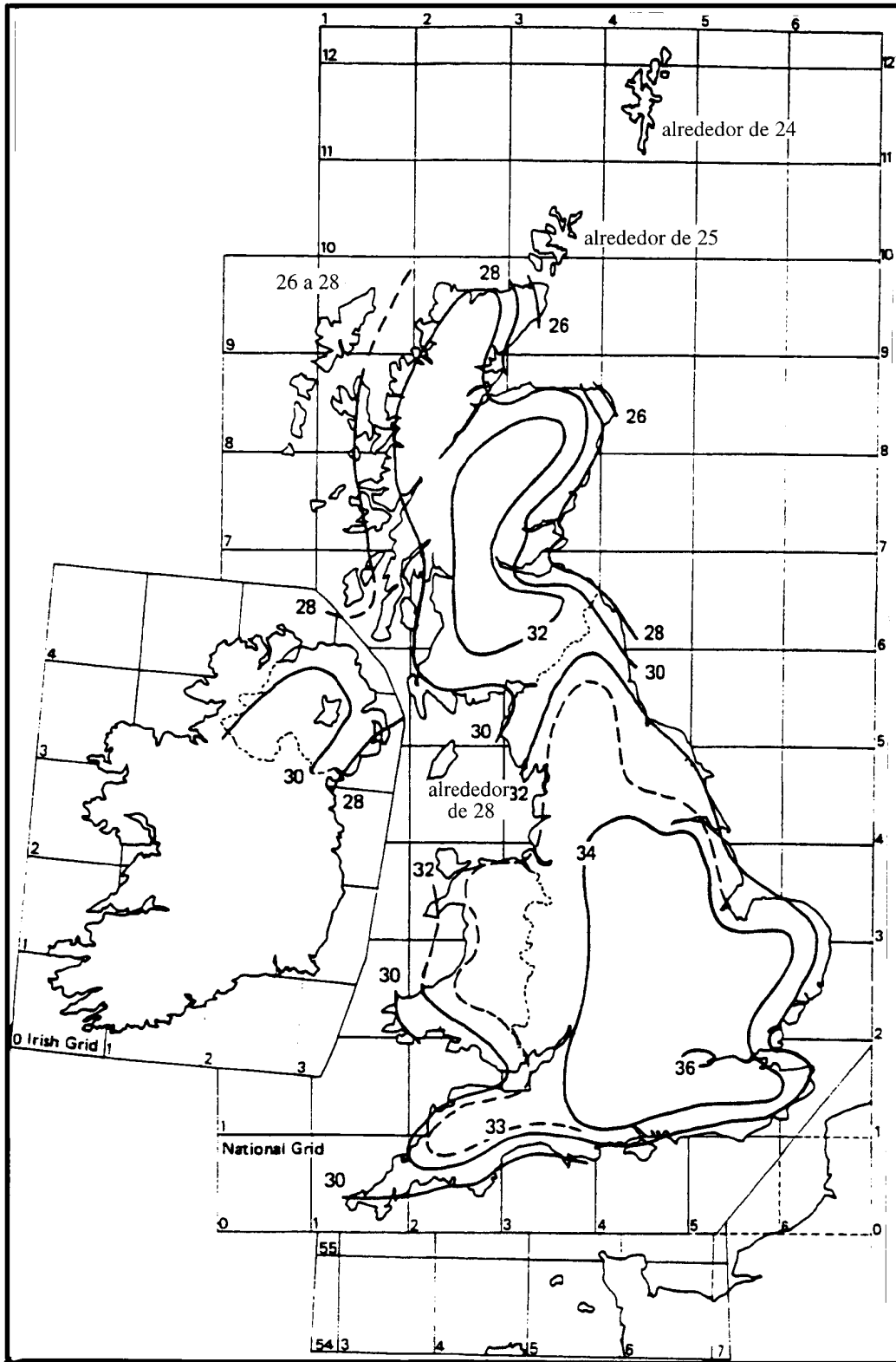
En general, la temperatura máxima del aire a la sombra puede tomarse como:

Norte de los Alpes 38 °C;

Sur de los Alpes 36 °C.

A.3.21 Reino Unido

(2) Isotermas de la temperatura máxima del aire a la sombra en °C



ANEXO B (Normativo)

MODELOS PARA EL CÁLCULO DE LAS ACCIONES TÉRMICAS NO LINEALES EN PUENTES

NOTA – El contenido de este anexo podrá incluirse en el texto principal de la EN para el uso de los Estados Miembros.

B.1 Generalidades

- (1) Este anexo contiene tablas de distribuciones de diferencias de temperatura positivas y negativas.
- (2) Las distribuciones de diferencias de temperatura se presentan para cada uno de los tres grupos básicos de superestructuras mostrados en la figura B.1 para las distintas condiciones de superficie de rodadura.
- (3) Las distribuciones de diferencias de temperatura presentadas están definidas en las siguientes tablas y figuras.

B.2 Efecto del espesor de la superficie de rodadura

- (1) Se podrán utilizar los valores de las diferencias de temperatura dados en la figura B.1. Los valores son válidos para espesores de superficie de rodadura de 40 mm para superestructuras del grupo 1 y de 100 mm para las de los grupos 2 y 3. Para otros espesores, deberán utilizarse los valores dados en las tablas B.1, B.2 y B.3.

Tabla B.1
Valores de T para superestructuras del grupo 1

Espesor de la superficie de rodadura	Distribución positiva de la diferencia de temperatura				Distribución negativa de la diferencia de temperatura
	T_1	T_2	T_3	T_4	T_1
mm	°C	°C	°C	°C	°C
Sin superficie de rodadura	[30]	[16]	[6]	[3]	[8]
20	[27]	[15]	[9]	[5]	[8]
40	[24]	[14]	[8]	[4]	[6]

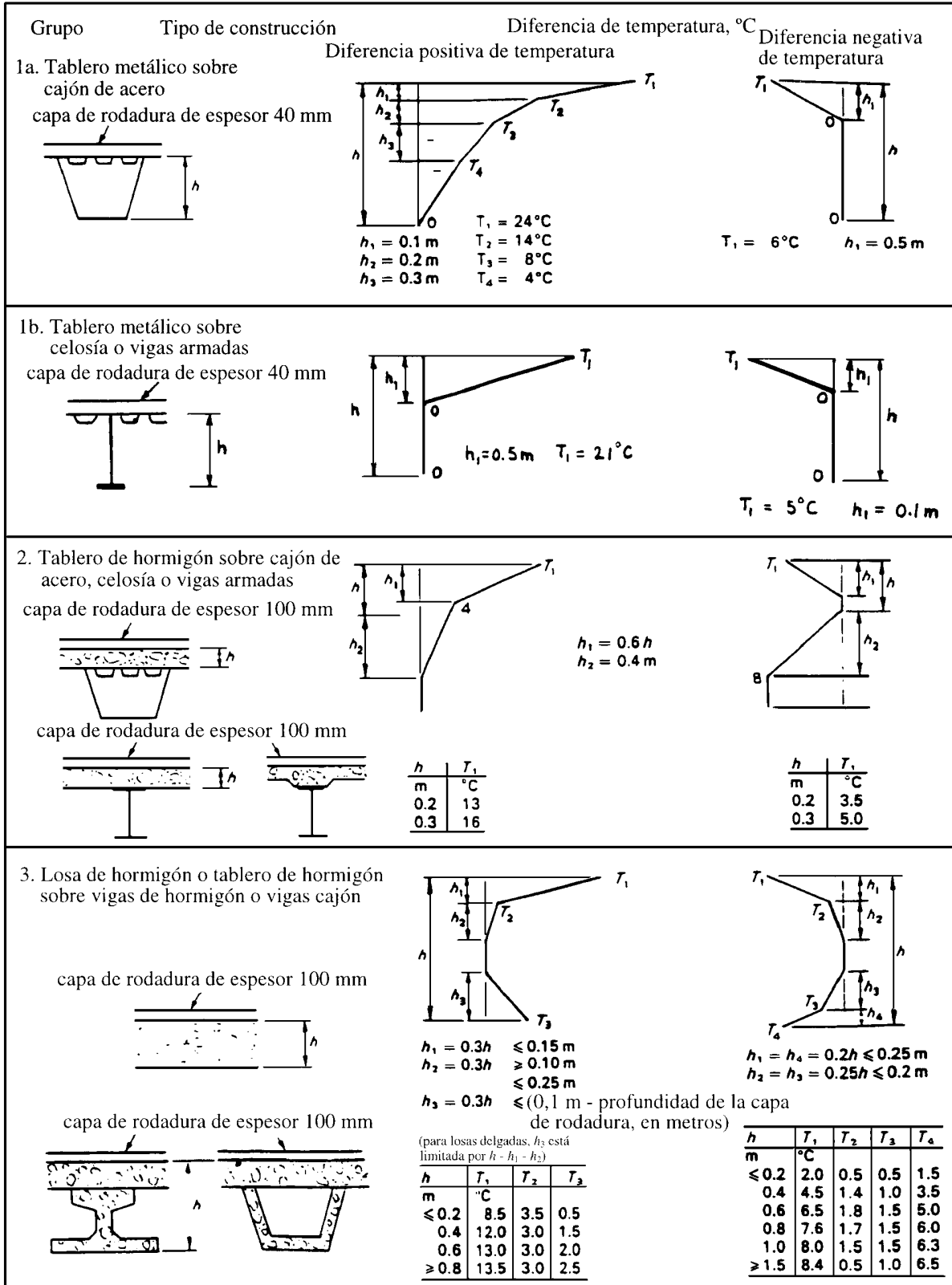


Fig. B.1 – Diferencia de temperatura para diferentes grupos de superestructuras

Tabla B.2
Valores de T para superestructuras del grupo 2

Canto de la losa (h)	Espesor de la superficie de rodadura	Diferencia positiva de temperatura	Diferencia negativa de temperatura
		T_1	T_1
m	mm	°C	°C
0,2	sin superficie de rodadura impermeabilizado	[16,5]	[5,9]
	50	[23,0]	[5,9]
	100	[18,0]	[4,4]
	150	[13,0]	[3,5]
	200	[10,5]	[2,3]
0,3	sin superficie de rodadura impermeabilizado	[8,5]	[1,6]
	50	[18,5]	[9,0]
	100	[26,5]	[9,0]
	150	[20,5]	[6,8]
	200	[16,0]	[5,0]
		[12,5]	[3,7]
		[10,0]	[2,7]

Tabla B.3
Valores de T para superestructuras del grupo 3

Canto de la losa (h)	Espesor de la superficie de rodadura	Diferencia positiva de temperatura			Diferencia negativa de temperatura			
		T_1	T_2	T_3	T_1	T_2	T_3	T_4
m	mm	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
0,2	Sin superficie de rodadura	[12,0]	[5,0]	[0,1]	[4,7]	[1,7]	[0,0]	[0,7]
	Impermeabilizado	[19,5]	[8,5]	[0,0]	[4,7]	[1,7]	[0,0]	[0,7]
	50	[13,2]	[4,9]	[0,3]	[3,1]	[1,0]	[0,2]	[1,2]
	100	[8,5]	[3,5]	[0,5]	[2,0]	[0,5]	[0,5]	[1,5]
	150	[5,6]	[2,5]	[0,2]	[1,1]	[0,3]	[0,7]	[1,7]
	200	[3,7]	[2,0]	[0,5]	[0,5]	[0,2]	[1,0]	[1,8]
0,4	Sin superficie de rodadura	[15,2]	[4,4]	[1,2]	[9,0]	[3,5]	[0,4]	[2,9]
	Impermeabilizado	[23,6]	[6,5]	[1,0]	[9,0]	[3,5]	[0,4]	[2,9]
	50	[17,2]	[4,6]	[1,4]	[6,4]	[2,3]	[0,6]	[3,2]
	100	[12,0]	[3,0]	[1,5]	[4,5]	[1,4]	[1,0]	[3,5]
	150	[8,5]	[2,0]	[1,2]	[3,2]	[0,9]	[1,4]	[3,8]
	200	[6,2]	[1,3]	[1,0]	[2,2]	[0,5]	[1,9]	[4,0]
0,6	Sin superficie de rodadura	[15,2]	[4,0]	[1,4]	[11,8]	[4,0]	[0,9]	[4,6]
	Impermeabilizado	[23,6]	[6,0]	[1,4]	[11,8]	[4,0]	[0,9]	[4,6]
	50	[17,6]	[4,0]	[1,8]	[8,7]	[2,7]	[1,2]	[4,9]
	100	[13,0]	[3,0]	[2,0]	[6,5]	[1,8]	[1,5]	[5,0]
	150	[9,7]	[2,2]	[1,7]	[4,9]	[1,1]	[1,7]	[5,1]
	200	[7,2]	[1,5]	[1,5]	[3,6]	[0,6]	[1,9]	[5,1]
0,8	Sin superficie de rodadura	[15,4]	[4,0]	[2,0]	[12,8]	[3,3]	[0,9]	[5,6]
	Impermeabilizado	[23,6]	[5,0]	[1,4]	[12,8]	[3,3]	[0,9]	[5,6]
	50	[17,8]	[4,0]	[2,1]	[9,8]	[2,4]	[1,2]	[5,8]
	100	[13,5]	[3,0]	[2,5]	[7,6]	[1,7]	[1,5]	[6,0]
	150	[10,0]	[2,5]	[2,0]	[5,8]	[1,3]	[1,7]	[6,2]
	200	[7,5]	[2,1]	[1,5]	[4,5]	[1,0]	[1,9]	[6,0]
1,0	Sin superficie de rodadura	[15,4]	[4,0]	[2,0]	[13,4]	[3,0]	[0,9]	[6,4]
	Impermeabilizado	[23,6]	[5,0]	[1,4]	[13,4]	[3,0]	[0,9]	[6,4]
	50	[17,8]	[4,0]	[2,1]	[10,3]	[2,1]	[1,2]	[6,3]
	100	[13,5]	[3,0]	[2,5]	[8,0]	[1,5]	[1,5]	[6,3]
	150	[10,0]	[2,5]	[2,0]	[6,2]	[1,1]	[1,7]	[6,2]
	200	[7,5]	[2,1]	[1,5]	[4,3]	[0,9]	[1,9]	[5,8]
1,5	Sin superficie de rodadura	[15,4]	[4,0]	[2,0]	[13,7]	[1,0]	[0,6]	[6,7]
	Impermeabilizado	[23,6]	[5,0]	[1,4]	[13,7]	[1,0]	[0,6]	[6,7]
	50	[17,8]	[4,0]	[2,1]	[10,6]	[0,7]	[0,8]	[6,6]
	100	[13,5]	[3,0]	[2,5]	[8,4]	[0,5]	[1,0]	[6,5]
	150	[10,0]	[2,5]	[2,0]	[6,5]	[0,4]	[1,1]	[6,2]
	200	[7,5]	[2,1]	[1,5]	[5,0]	[0,3]	[1,2]	[5,6]

ANEXO C (Informativo)

DETERMINACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA TEMPERATURA EN TABLEROS DE PUENTES

C.1 Generalidades

- (1) De acuerdo con el sistema de los Eurocódigos, los valores característicos de las cargas variables deberán determinarse para el Estado Límite Último (E.L.U.). Para las acciones térmicas, el valor característico se toma como aquel que tiene un período de retorno de 50 años.
- (2) De acuerdo con ENV-1-1 y ENV-1-3, deberán considerarse tres situaciones de proyecto para los Estados Límite de Servicio (E.L.S.) y correspondientemente deberán determinarse tres valores representativos para cargas o acciones:
 - Infrecuente (se presenta con un período de retorno de 1 año)
 - Frecuente (se presenta con un período de retorno de 2 semanas)
 - Cuasipermanente.

- (3) Estos valores representativos pueden obtenerse con la ayuda de los coeficientes de reducción Ψ , los cuales, multiplicados por el valor característico, conducen al nivel de acción con el periodo de retorno considerado.

$$\Delta T_1' = \Psi_1' \Delta T_K \quad (\text{valor infrecuente de la acción térmica})$$

$$\Delta T_1 = \Psi_1 \Delta T_K \quad (\text{valor frecuente de la acción térmica})$$

$$\Delta T_2 = \Psi_2 \Delta T_K \quad (\text{valor cuasipermanente de la acción térmica})$$

donde

ΔT_K es el valor característico de la acción térmica.

- (4) Podrán utilizarse los siguientes valores del coeficiente Ψ :

$$\Psi_1' = 0,8;$$

$$\Psi_1 = 0,6;$$

$$\Psi_2 = 0,5.$$

C.2 Cálculo de la distribución de temperatura a través del canto del tablero de un puente

- (1) El cálculo de la distribución de temperatura en el canto del tablero de un puente ha sido considerado por numerosos autores. Las distribuciones presentadas en el anexo B han sido obtenidas con la ayuda de un procedimiento de cálculo, desarrollado en el Reino Unido, que utiliza un modelo de flujo de calor unidimensional, tal como señalan diferentes trabajos.

C.3 Datos climáticos

- (1) Las condiciones ambientales que tienen una mayor influencia en la temperatura de un puente son la temperatura del aire a la sombra, y la radiación (tanto la radiación solar total absorbida (TSR) como la emitida por el tablero). La velocidad del viento también juega un papel especial; éste debe reflejarse en el valor del coeficiente de transferencia de calor empleado.

- (2) Como las distribuciones de la máxima diferencia positiva de temperatura a través del canto del tablero de un puente ocurren invariablemente en el verano, los datos en Europa deberán tomarse normalmente en los meses de junio, julio y agosto. Las distribuciones de la máxima diferencia negativa de temperatura pueden ocurrir en cualquier época del año.
- (3) Para determinar los efectos de la temperatura en el tablero de un puente, se requieren los siguientes datos climáticos:
 - temperatura del aire a la sombra;
 - radiación solar;
 - emisión de radiación nocturna.
- (4) Estos datos deben obtenerse para cada país o para cada zona climática cuando en el país haya diferentes zonas climáticas.
- (5) En cualquier caso, el periodo de observación de los datos climáticos deberá ser tan largo como sea posible y, de forma ideal, al menos 25 años.

C.4 Datos estructurales

- (1) La ordenación estructural y el material utilizado influirán en los efectos de la temperatura en puentes. Los parámetros más importantes son:
 - características geométricas de la sección transversal del puente;
 - propiedades térmicas y materiales del tablero del puente tales como:
 - coeficiente de absorción;
 - coeficiente de emisión;
 - coeficiente de transferencia de calor en las superficies;
 - conductividad térmica;
 - calor específico;
 - densidad.

C.5 Determinación de las diferencias de temperatura

- (1) Con el uso de los parámetros anteriores podrán extraerse los máximos y los mínimos de las diferencias lineales de temperatura.
- (2) Para tableros de hormigón, puede ser apropiado el uso de un modelo de flujo de calor unidimensional.
- (3) En el caso de tableros metálicos y mixtos, podrá necesitarse un modelo bidimensional de flujo de calor para calcular las diferencias a lo largo de la sección.
- (4) Para secciones transversales mixtas deberán considerarse las propiedades de cada material, y las distribuciones de temperatura equivalente deberán ser obtenidas. Esto podrá hacerse de la siguiente forma:

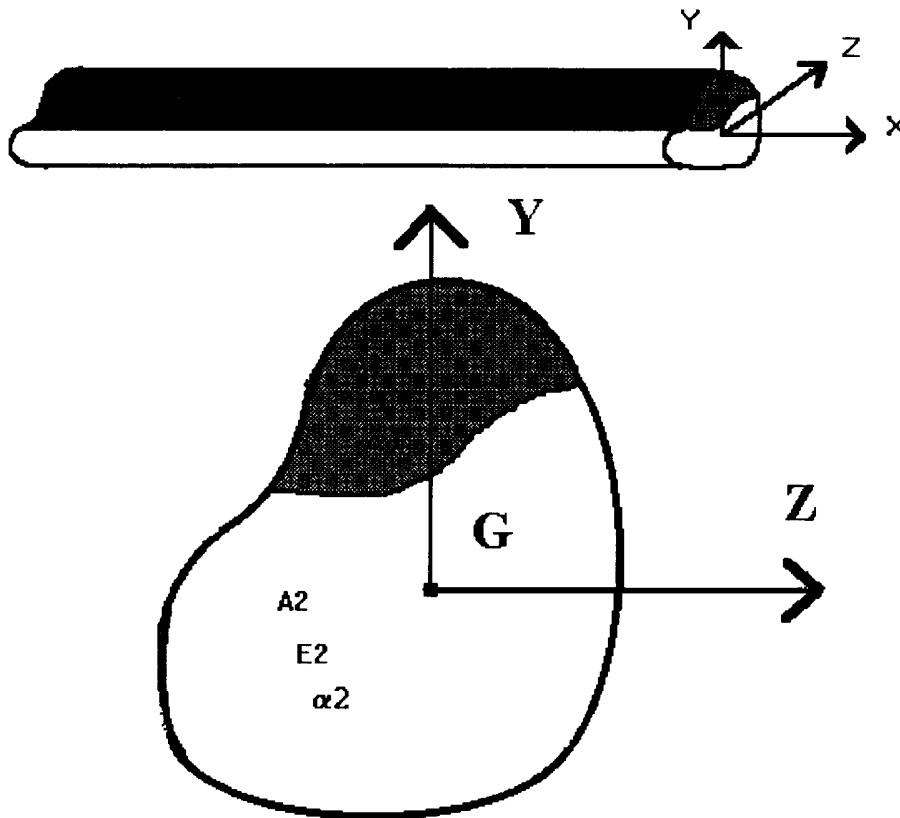


Fig. C.1 – Sección transversal mixta

(5) En referencia a las figuras 4.1 y C.1, si:

$$n_E = \frac{E_1}{E_2} \tag{C.1}$$

$$n_\alpha = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \tag{C.2}$$

donde

E_1 es el módulo de elasticidad del material 1;

E_2 es el módulo de elasticidad del material 2;

α_1 es el coeficiente de dilatación térmica del material 1;

α_2 es el coeficiente de dilatación térmica del material 2;

A_1 es el área de la sección transversal del material 1;

A_2 es el área de la sección transversal del material 2.

la componente uniforme efectiva de la temperatura viene dada por:

$$\Delta T_N = \frac{n_E n_\alpha \iint_{A_1} T(z, y) dA_1 + \iint_{A_2} T(z, y) dA_2}{n_E A_1 + A_2} \quad (C.3)$$

(6) El gradiente lineal de temperatura a lo largo del eje y-y (°C/m), viene dado por:

$$DT_{My} = \frac{n_E n_\alpha \int_{A_1} T(z, y) y dA_1 + \int_{A_2} T(z, y) y dA_2}{n_E J_{z1} + J_{z2}} \quad (C.4)$$

donde

DT_{My} es el gradiente lineal de temperatura a lo largo del eje y-y (°C/m);

J_{z1} es el momento de inercia de la sección transversal del material 1 respecto al eje central principal de inercia z-z, de la sección transversal homogeneizada, en (m⁴);

J_{z2} es el momento de inercia de la sección transversal del material 2 respecto al eje central principal de inercia z-z, de la sección transversal homogeneizada, en (m⁴).

(7) El gradiente lineal de temperatura a lo largo del eje z-z (°C/m), viene dado por:

$$DT_{Mz} = \frac{n_E n_\alpha \int_{A_1} T(z, y) z dA_1 + \int_{A_2} T(z, y) z dA_2}{n_E J_{y1} + J_{y2}} \quad (C.5)$$

donde

DT_{Mz} es el gradiente lineal de temperatura a lo largo del eje z-z (°C/m);

J_{y1} es el momento de inercia de la sección transversal del material 1 respecto al eje central principal de inercia y-y, de la sección transversal homogeneizada, en (m⁴);

J_{y2} es el momento de inercia de la sección transversal del material 2 respecto al eje central principal de inercia y-y, de la sección transversal homogeneizada, en (m⁴).

(8) Si el eje y-y es vertical y el z-z es horizontal, entonces:

$$\Delta T_{My} = h \times DT_{My}; \text{ y } \Delta T_{Mz} = b \times DT_{Mz} \quad (C.6)$$

donde

h es el canto de la sección transversal (vertical);

b es el ancho de la sección transversal (horizontal).

- (9) Cuando $T(z, y)$ es uniforme en la sección transversal, las ecuaciones C.4 y C.5 conducen sin embargo a gradientes lineales verticales y horizontales distintos de cero que respectivamente son:

$$DT_{My} = T \frac{n_E n_\alpha \int y dA_1 + \int y dA_2}{n_E J_{z1} + J_{z2}}; \quad DT_{Mz} = T \frac{n_E n_\alpha \int z dA_1 + \int z dA_2}{n_E J_{y1} + J_{y2}}; \quad (C.7)$$

y son iguales a cero sólo cuando $n_\alpha = 1$, esto es, cuando los dos materiales tienen el mismo coeficiente de dilatación térmica.

C.6 Análisis estadístico

- (1) Se necesitan considerar análisis estadísticos para determinar apropiadamente los valores de los rangos de temperatura y de las diferencias de temperatura.

ANEXO D (Informativo)

COEFICIENTES DE DILATACIÓN LINEAL

- (1) Con el propósito de determinar las acciones térmicas de acuerdo con esta parte, la tabla D.1 da valores del coeficiente de dilatación térmica lineal para una selección de materiales más usados:

Tabla D.1
Coeficientes de dilatación térmica lineal

Material	α_T ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)
Aluminio, aleación de aluminio	24
Acero inoxidable	16
Acero estructural, hierro dulce o de fundición	12
Hormigón (excepto los indicados debajo)	12
Hormigón, árido calizo	9
Hormigón, árido ligero	7
Mampostería	6-10 (véase notas)
Vidrio	(véase nota 4)
Madera, paralela a las fibras longitudinales	5
Madera, perpendicular a las fibras longitudinales	30-70 (véase notas)

NOTA 1 – Para otros materiales deberá pedirse asesoramiento especial.

NOTA 2 – Los valores dados deberán usarse para la determinación de las acciones térmicas, a menos que un valor menor pueda ser verificado mediante ensayos o estudios más detallados.

NOTA 3 – Los valores para mampostería pueden variar dependiendo del tipo de fábrica de ladrillo; los valores para la madera perpendicular a las fibras pueden variar considerablemente dependiendo del tipo de madera.

NOTA 4 – Para una información más detallada ver:

EN 572-1 – *Vidrio para la construcción. Productos básicos de vidrio sodocálcico. Parte 1: Definiciones y propiedades generales físicas y mecánicas;*

EN 1748-1 – *Vidrio en edificación. Productos básicos especiales. Parte 1: Vidrios borosilicatados;*

EN 1748-2 – *Vidrio en edificación. Productos básicos especiales. Parte 2: Vitrocerámicas.*

NOTA 5 – Para algunos materiales como la mampostería y la madera, en los que se necesitan considerar otros parámetros (p.e. el contenido de humedad), véase ENV 1995-1996.

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00

Fax 91 310 40 32