

Características térmicas de rocas ornamentales

Coeficiente de dilatación

JESÚS BARRIOS SEVILLA

DR. ARQUITECTO

M^a REYES RODRÍGUEZ GARCÍA

LDA. CIENCIAS QUÍMICAS

INMACULADA MARTÍNEZ PERZA

LDA. CIENCIAS BIOLÓGICAS

El importante desarrollo que en los últimos años ha adquirido el empleo de los aplacados de piedra natural, tanto en rehabilitación como en edificios nuevos, se justifica por las características de los materiales empleados.

Sin embargo, la tradicional durabilidad de la piedra natural se ve alterada por la combinación de distintos efectos que dan lugar a diferentes patologías, objeto de este artículo

The important development reached in the past years in the use of natural stone claddings, either in new buildings or in restoration, is justified by the mechanical properties of the materials employed.

However, the traditional durability of natural stone is altered by the combination of different effects, causing diverse pathologies, which are the object of this article.

El empleo de aplacados de piedra natural como revestimiento, tanto en edificios nuevos como en restauraciones, está adquiriendo un importante desarrollo en los últimos años. El revestimiento total o parcial de la fachada de los edificios mediante la colocación de placas de piedra, se realiza con objeto de dotar a la construcción de diferentes características estéticas, formales, de aislamiento, de protección, o con el fin de restaurar o conservar.

Dadas las características mecánicas de los materiales empleados, se consigue, además, aumentar la durabilidad del edificio, proporcionando una imagen de resistencia a las acciones de agentes externos, como la contaminación ambiental y climas extremos.

La tradicional durabilidad de la piedra natural, tanto en su condición de material de mampostería como de roca ornamental, se ve alterada como consecuencia de varios efectos que pueden llegar a ser sinérgicos:

- Colocación defectuosa
- Ejecución incorrecta
- Elección inadecuada del tipo de piedra
- Comportamiento anómalo del material en el entorno en el que se sitúa
- Agresiones no previstas

Por todo ello, aparecen en estas edificaciones patologías que pueden provocar alteraciones de diferente signo e intensidad. Una de las más importantes, es la caída de placas originadas por tensiones, cuando éstas superan la propia de adherencia o de agarre al soporte. La principal causa suele ser, la dilatación debida a los gradientes térmicos que se pro-

ducen en el entorno. Concretamente en la ciudad de Sevilla se registran periodos de unos meses, en los que la temperatura no desciende de los 20 °C, llegándose a alcanzar, en determinados días, valores de 50 °C al sol. La temperatura de las piedras sigue un proceso diferente, debido fundamentalmente a la inercia térmica. Así en verano, el gradiente térmico día - noche, no supera los 10 - 12 °C, en tanto que en invierno puede oscilar entre 15 y 20 °C. Es sabido, que los cambios térmicos pueden provocar importantes alteraciones, aunque no intervengan otros factores. Este fenómeno se detecta, especialmente, en climas cálidos y secos.

Estos gradientes térmicos se traducen en dilataciones, que provocan fuertes tensiones entre las placas, sobre todo en aquellos casos, en los que no se han previsto juntas de dilatación, juntas entre placas mediante separadores, o el sistema de agarre es inadecuado para soportar las tensiones que se generan. Este suele ser el caso más frecuente, al emplearse como sistema de sujeción mortero de cemento o bastardo.

Para calcular la dilatación superficial de una placa, o las tensiones que se producen cuando éstas están confinadas, es necesario conocer, entre otros parámetros, el coeficiente de dilatación de las piedras empleadas. El método utilizado para calcularlo se realiza en laboratorio, verificando los incrementos dimensionales o tensionales en función de los cambios de temperatura. De esta forma no se tiene presente si están expuestas al sol o a la sombra, el grado de humedad, y, en definitiva, la climatología diversa, según la orientación de las fachadas. Si se considera que la radiación solar ejerce una influencia importante en la superficie de los muros (por las notables diferencias de temperatura entre el día y la noche), el calentamiento de la piedra y el gra-

diente térmico pueden originar tensiones, que provoquen la aparición de fisuras.

Por todo lo anterior, resulta de gran interés realizar un estudio de las dilataciones, teniendo en cuenta los parámetros climáticos del entorno en el que van a estar situadas.

METODOLOGÍA

El ensayo se ha diseñado de forma tal, que los valores obtenidos sean reproducibles en la realidad del elemento construido, buscándose una metodología que permita la obtención de resultados para cada caso específico.

Las piedras estudiadas han sido seis: mármol blanco (tipo Macael), caliza crema marmorizada o re cristalizada (tipo Crema Marfil), caliza blanca sedimentaria con abundantes restos fósiles (tipo caliza Gilena), granito claro (tipo Blanco Aurora), granito rosa (tipo Rosa Porriño) y granito negro (tipo negro Ochavo).

De cada muestra se han tallado 3 probetas de dimensiones 150 x 50 x 30 mm., que se han situado a la intemperie, con objeto de que estén sometidas a los cambios climáticos naturales. La medida de las deformaciones provocadas por el aumento y disminución de la temperatura, se ha conseguido mediante bandas extensométricas situadas en el centro de las probetas, orientadas según la dimensión mayor de las mismas, para así obtener las mayores tensiones. Estas bandas se mueven solidariamente con la piedra a la que está adherida, siendo su longitud de 20 mm de parrilla activa. El registro de las variaciones longitudinales se consigue, por la conexión de las bandas a un traductor digital de señales (equipo SOLARTRON-SLUMBERGER, modelo IPM), con capacidad para 30 canales de extensometría.

El montaje es comandado por un ordenador, y en la adquisición de

datos se utiliza el programa general de captura LOGGER, suministrado por SOLARTRON.

Los valores medidos son deformaciones unitarias dadas por:

$$\mu E = \frac{\Delta L}{L} \times 10^6$$

También se ha instalado un termohigrómetro, que proporciona las variaciones de la temperatura y humedad ambiental, durante el periodo de ejecución de los ensayos.

El estudio se ha realizado durante los años 1.993 y 1.994, lo que ha permitido verificar la validez del método en las diferentes climatologías, y determinar con exactitud el coeficiente de dilatación en función de las diferentes temperaturas, situación de sombra o sol, día o noche, etc...

Para obtener las mayores diferencias térmicas, las medidas se efectúan en los periodos de Invierno - Primavera y Verano - Otoño, ya que así las diferencias día - noche son más significativas.

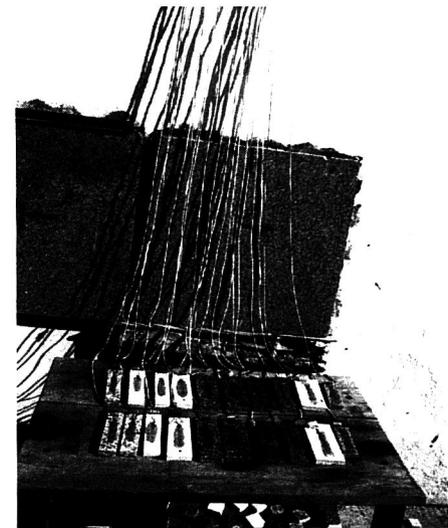
La metodología empleada proporciona datos fiables cuando se alcanzan situaciones estacionarias, por lo que los valores correspondientes al inicio de cada lectura no se tienen en cuenta. En consecuencia hay que indicar que las temperaturas mínimas registradas son, en algunos casos, ligeramente inferiores a las mínimas que se indican en el apartado siguiente. Por otra parte, las temperaturas corresponden a las ambientales y no a las de placa.

En las fotografías adjuntas se muestra el montaje de este ensayo.

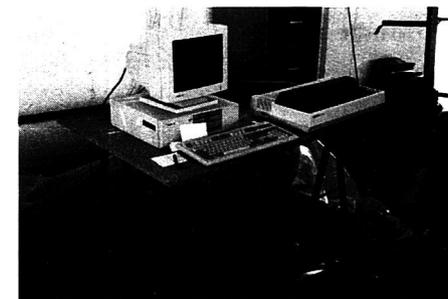
RESULTADOS

Las temperaturas ambientales máximas y mínimas registradas durante el periodo de ensayo han sido:

Máximas	30°C	45°C
Mínimas	10°C	15°C



Montaje de las bandas extensométricas en las probetas de piedra



Equipo de control de ensayos



Ubicación de las probetas en situación soleada



Ubicación de las probetas en situación sombría

Con los datos obtenidos se ha realizado un tratamiento estadístico con objeto de representar los valores de deformación frente a las temperaturas registradas. Estas representaciones se han realizado para un ciclo completo, es decir, una variación modelo día - noche. De esta forma pueden apreciarse las diferencias entre las dilataciones que experimentan las piedras durante el día, y las contracciones que sufren durante la noche. Así mismo se observa la linealidad existente entre las variaciones térmicas y las deformaciones dimensionales de los materiales estudiados.

Los dos tipos de gráficas que se presentan, muestran por un lado los ciclos día - noche para el gradiente térmico 10 - 30 °C y 15 - 45 °C, con y sin sol para cada tipo de piedra (Figuras 1 a 12). El otro tipo de gráficas (Figuras 13 a 18), muestra estos mismos ciclos pero de manera global, sin diferenciar las épocas del año, también para cada tipo de piedra.

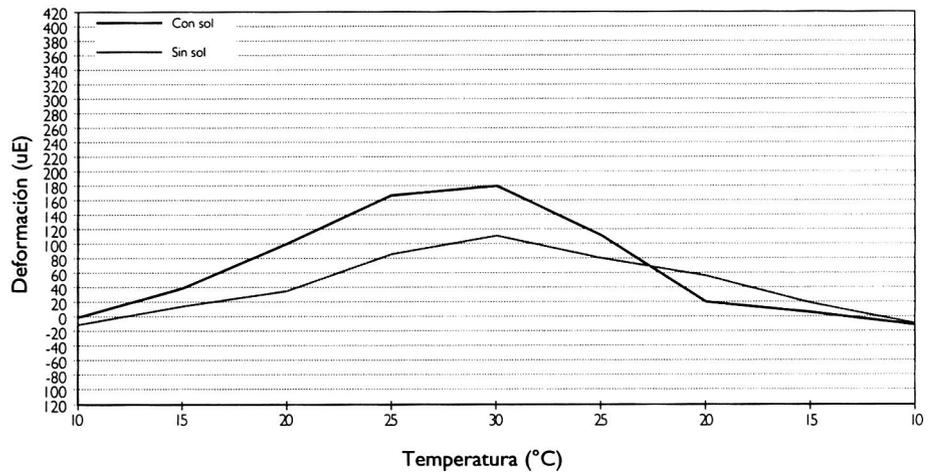
COEF. DE DILATACIÓN Y CONTRACCIÓN
(mm/m °C x 10³). PERIODO DE 10 - 30°C

MATERIAL	SOL		SOMBRA	
	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE
Granito Gris	9	6	5	5
Mármol Blanco	15	6	13	13
Caliza Cristalina	15	10	6	6
Caliza Sedimentaria	13	9	7	7
Granito Negro	21	16	5	5
Granito Rosa	11	9	6	6

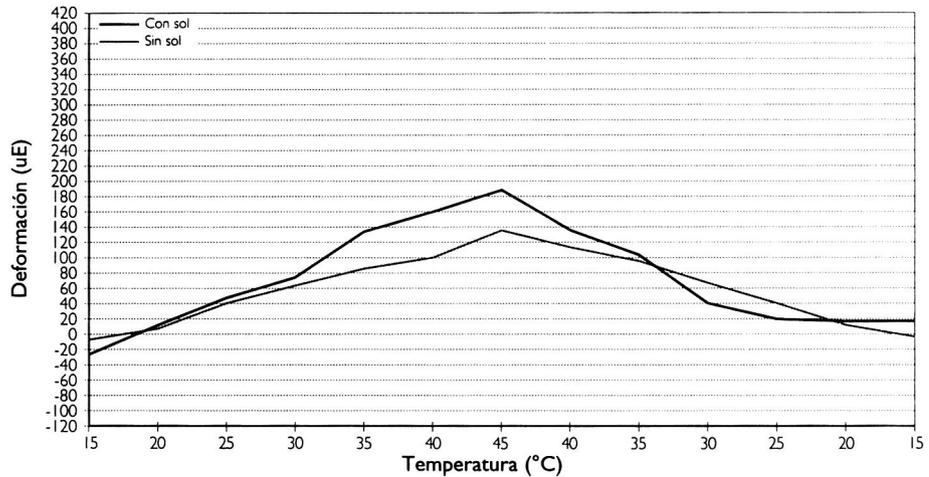
COEF. DE DILATACIÓN Y CONTRACCIÓN
(mm/m °C x 10³). PERIODO DE 15 - 45°C

MATERIAL	SOL		SOMBRA	
	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE
Granito Gris	9	2	6	6
Mármol Blanco	17	12	11	14
Caliza Cristalina	16	12	7	8
Caliza Sedimentaria	14	13	8	7
Granito Negro	22	20	5	5
Granito Rosa	12	11	7	6

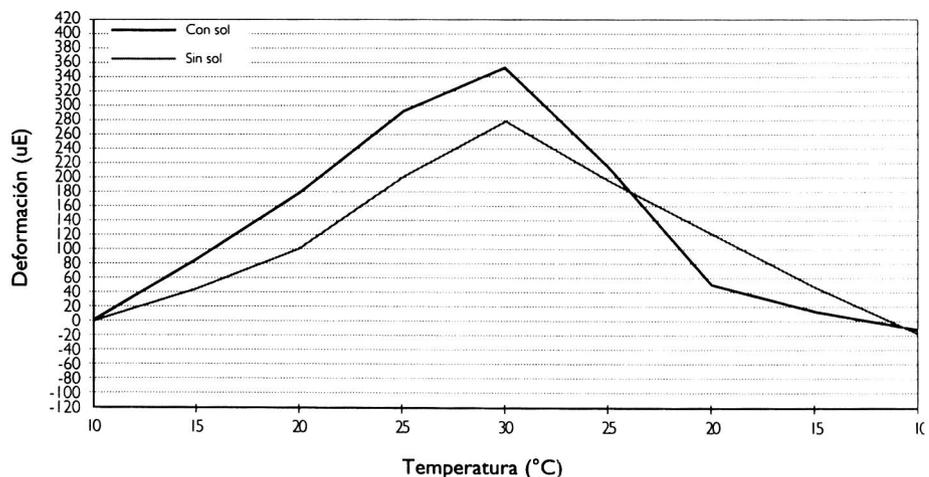
Deformación frente aTª (Grad. 10 - 30°C)
Granito Gris

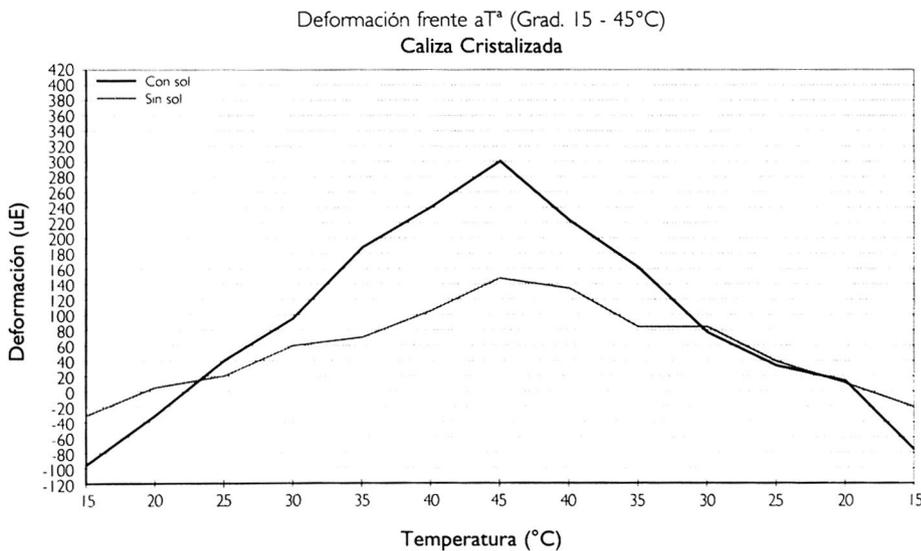
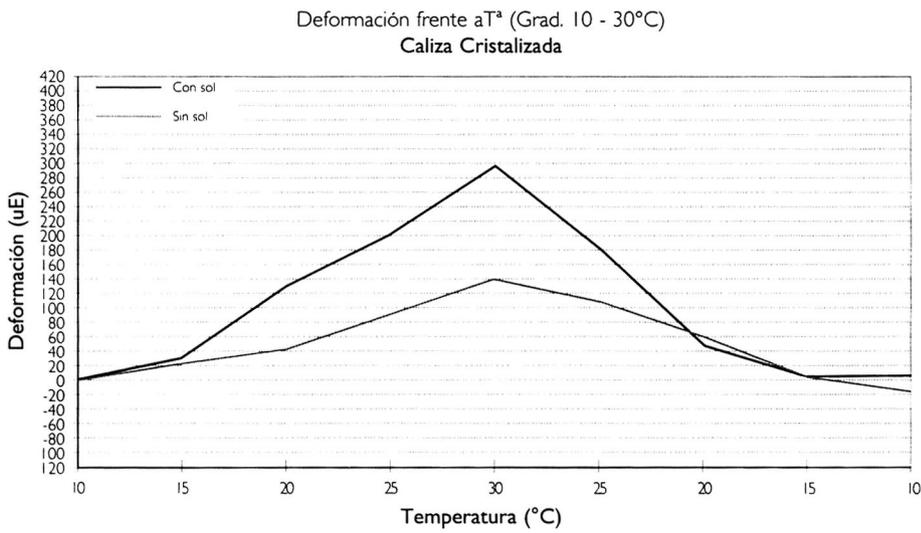
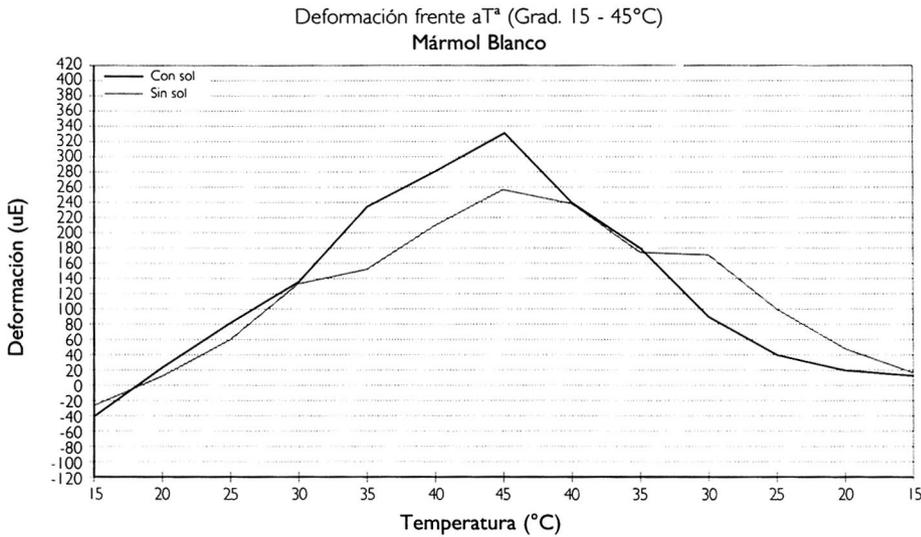


Deformación frente aTª (Grad. 15 - 45°C)
Granito Gris



Deformación frente aTª (Grad. 10 - 30°C)
Mármol Blanco





Las pendientes de las líneas obtenidas, corresponden a los coeficientes de dilatación (que ocurre durante el día) y contracción (que se observa durante la noche), con relación a la temperatura ambiente.

En las tablas pueden verse los valores obtenidos; después de haber realizado el tratamiento estadístico de los datos obtenidos durante la realización del trabajo.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Como puede deducirse de los valores que reflejan las dos tablas anteriores, existen variaciones significativas del comportamiento de los materiales en los dos periodos estudiados, así como durante el día y la noche. Analizando el comportamiento de cada piedra por separado se puede indicar:

- El **Granito Gris** presenta los coeficientes más bajos de todos los materiales estudiados, y el ciclo día - noche es absolutamente similar cuando no se encuentra sometido a la influencia del sol. Igualmente, y en este supuesto, los valores del coeficiente de dilatación y de contracción, son prácticamente iguales. Sin embargo, cuando el grado de soleamiento es importante, aparecen ciertas diferencias día - noche, que son poco significativas en el caso de gradientes de 10 a 30 °C, siendo muy acusadas en el gradiente 15 - 45 °C, ya que como consecuencia de la ausencia de radiación solar durante la noche, el material pierde calor de forma más acusada que durante el día (Figuras 1 y 2).

- **Mármol blanco.** Presenta dos diferencias significativas con respecto al material anterior. Por un lado, los valores del coeficiente de dilatación son sensiblemente superiores en todos los supuestos. Por otro, el comportamiento cuando la piedra no está influida por el grado de soleamiento, en el periodo de mayor gradiente térmico (15 - 45 °C). En

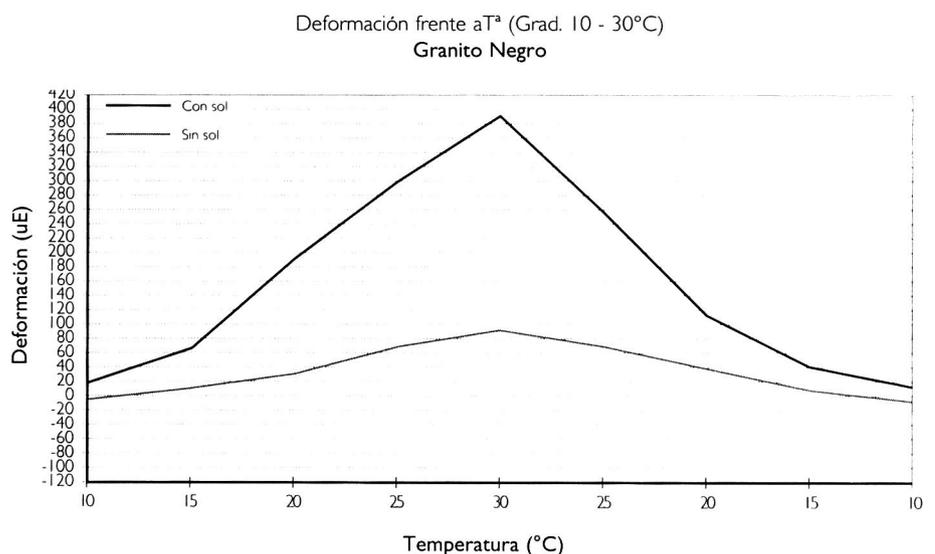
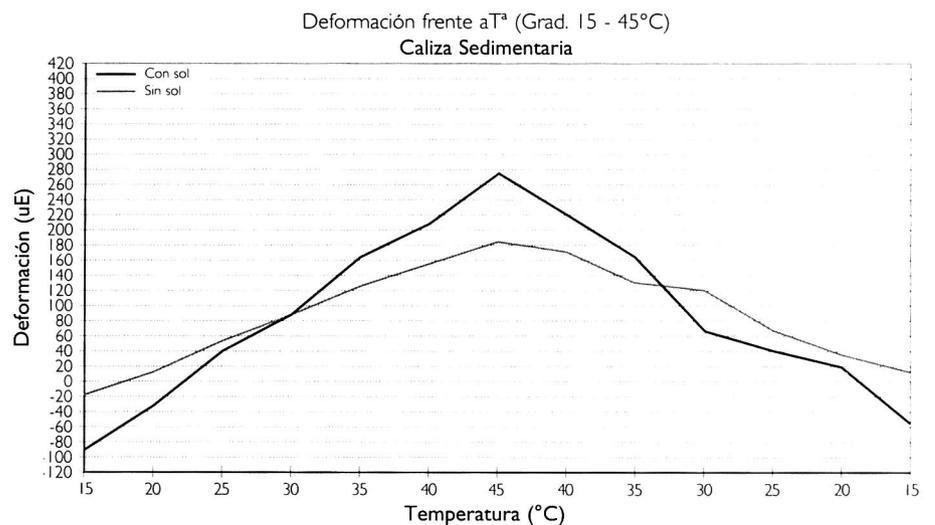
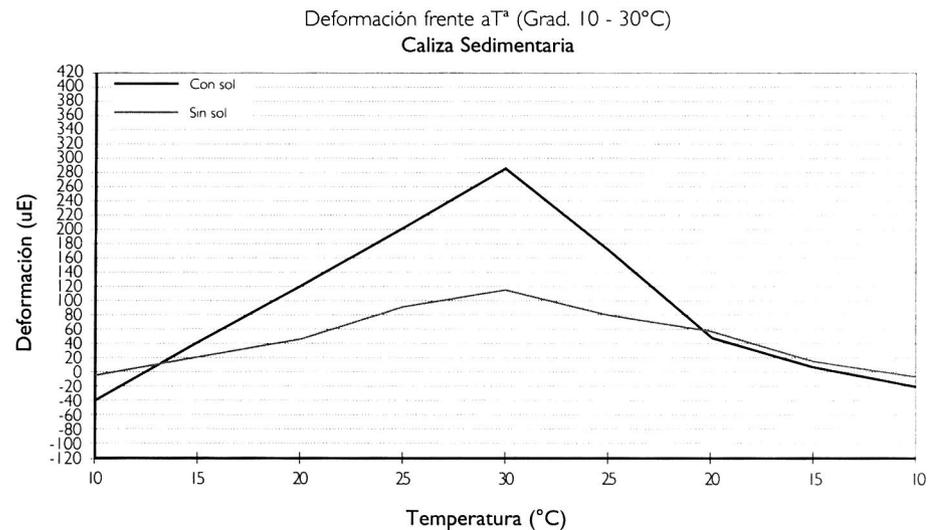
este caso se observa, que el mármol pierde calor durante la noche, mucho más rápidamente que lo gana durante el día. Comoquiera que este proceso es continuo en el tiempo, la fatiga del material ante estos cambios dimensionales es muy importante.

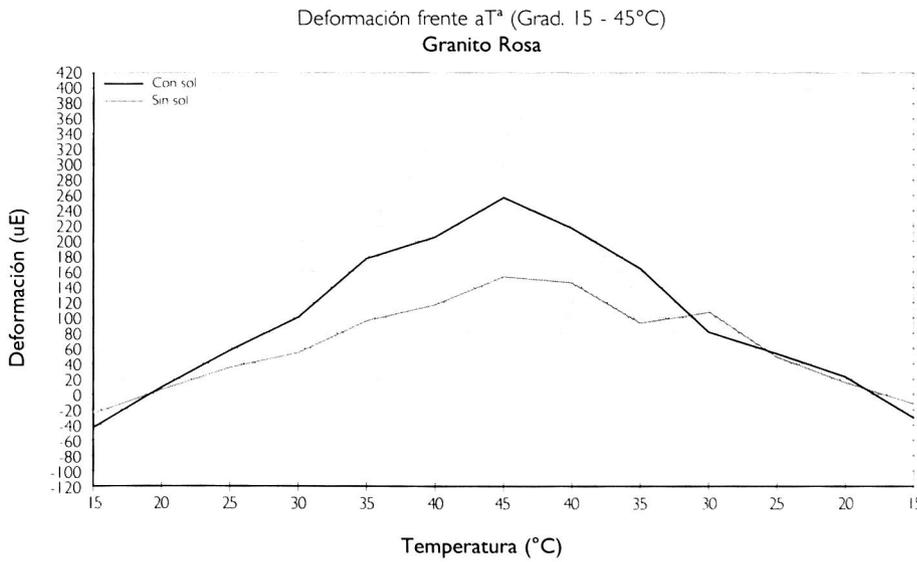
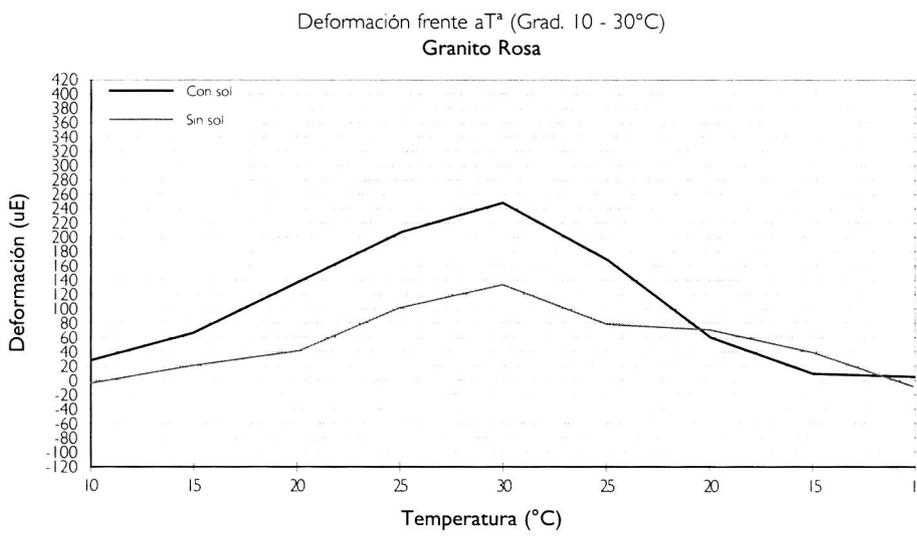
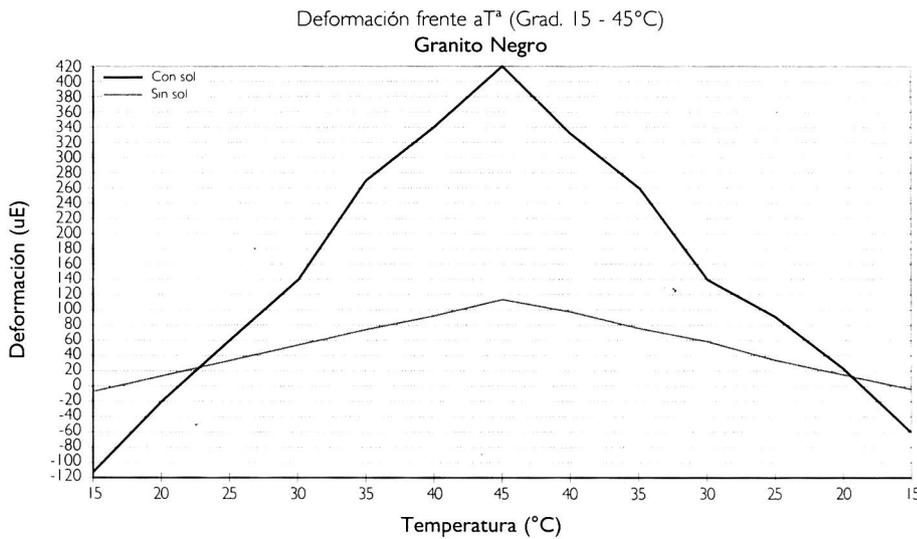
Asimismo hay que destacar, la diferencia tan importante de comportamiento que ocurre en virtud del grado de soleamiento en el periodo frío (10 - 30 °C), ya que los valores del coeficiente de dilatación y contracción se diferencian en más de un 100 % (Figuras 3 y 4).

- Con respecto a la **caliza cristalizada** (tipo crema marfil), hay que indicar que las mayores diferencias del comportamiento aparecen, también, en el periodo de gradiente 10 - 30 °C, cuando está presente el grado de soleamiento (Figuras 5 y 6).

- La **caliza sedimentaria** presenta el mismo comportamiento aunque menos acusado. Entre esta caliza y la anterior hay que destacar que aunque se cree que son similares, tienen un comportamiento absolutamente diferente cuando se ven sometidas a gradientes térmicos importantes (15 - 45 °C) y afectadas por el grado de soleamiento (como se ve en las tablas anteriores), ya que se pone de manifiesto la menor inercia térmica de la caliza sedimentaria con respecto a la cristalizada. Este hecho tiene gran influencia en la durabilidad de los materiales (Figuras 7 y 8).

- El **granito negro** presenta un comportamiento similar al del granito gris, en el caso de que no esté afectado por el grado de soleamiento. Esta similitud se pierde en el caso contrario, aumentando en este supuesto muy considerablemente los coeficientes de dilatación. Se observa, además, una diferencia importante entre este coeficiente y el de contracción, en el caso del periodo de menor gradiente térmico. La razón puede ser la mayor absorción y





retención de calor, por la coloración oscura que presenta (Figura 9 y 10).

- El **granito rosa** se comporta cuando no le afecta el sol, de la misma forma que el resto de los granitos. De nuevo las diferencias aparecen cuando se incluye este factor, aunque hay que indicar que los valores del coeficiente de dilatación son bastante inferiores (Figuras 11 y 12).

Se han calculado, también, los coeficientes de dilatación y retracción lineales de forma global, obteniéndose los resultados de la tabla

Estos valores coinciden, de forma genérica, con los que aparecen en la bibliografía. Esto confirma la bondad del método utilizado.

CONCLUSIONES

Una vez realizado el correspondiente tratamiento estadístico con todos los datos obtenidos, pueden establecerse los siguientes valores:

En la columna de valores usuales, figuran los datos que aparecen

COEF. DE DILATACIÓN Y CONTRACCIÓN
(mm/m °C x 10³). GLOBALES

MATERIAL	SOL		SOMBRA	
	DÍA	NOCHE	DÍA	NOCHE
Granito Gris	6	5	7	6
Mármol Blanco	11	9	12	12
Caliza Cristalina	13	7	8	8
Caliza Sedimentaria	10	6	9	8
Granito Negro	12	12	11	8
Granito Rosa	8	6	8	7

VALORES ESTADÍSTICOS

TIPO DE PIEDRA	VALORES USUALES	VALORES RECOMENDADOS	
		Soleado	No Soleado
Granito Gris	8	9	6
Mármol Blanco	10	17	13
Caliza Cristalina	3	16	7
Caliza Sedimentaria	3	22	5
Granito Negro	8	12	7
Granito Rosa	8	14	8

en las tablas de la diferente bibliografía consultada. En la columna de la zona soleada, figuran los valores recomendados, para el coeficiente de dilatación, cuando la piedra va a estar expuesta al sol, fundamentalmente de tarde (Sur - Oeste). En la otra columna, los valores corresponden al caso en que estén situadas en zonas no soleadas o con sol de mañana (Este - Norte).

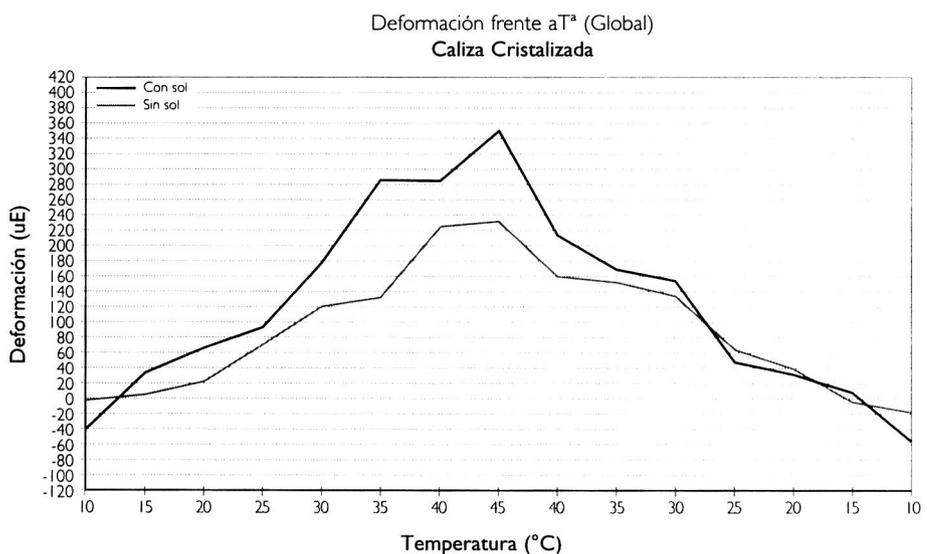
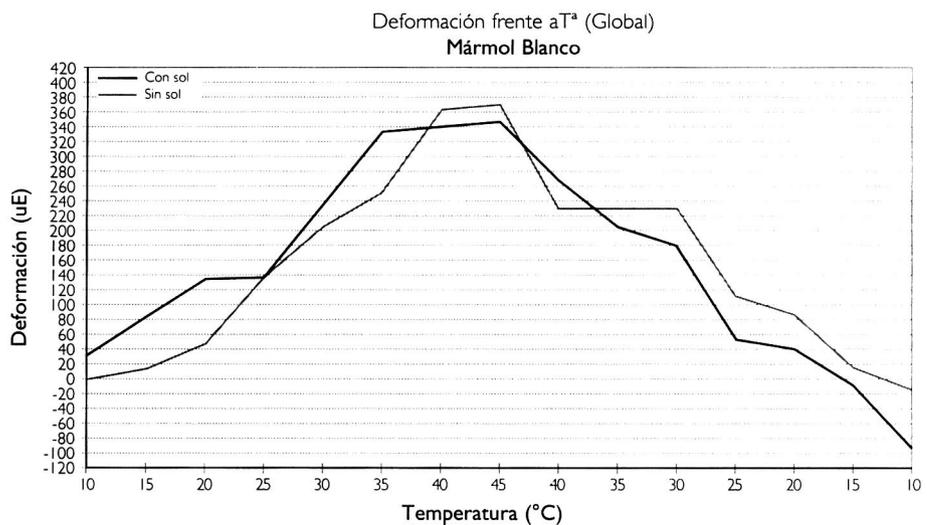
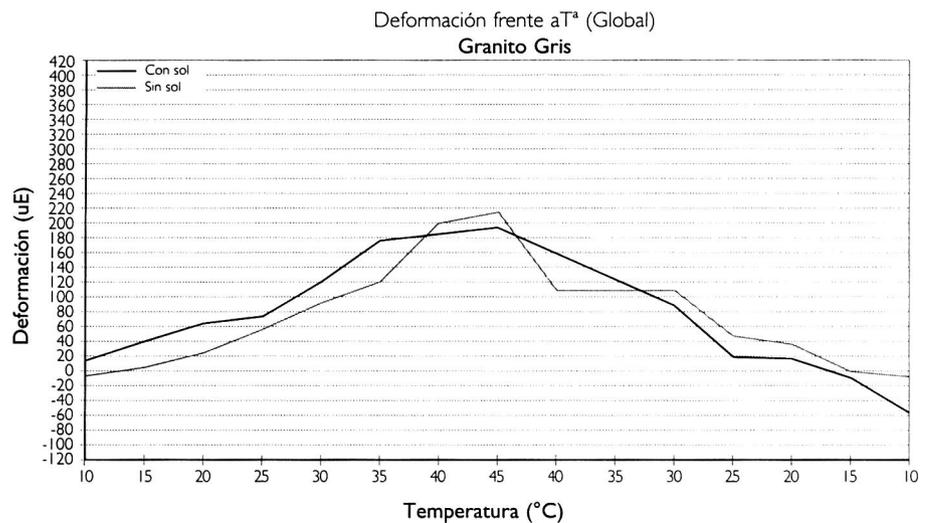
Con estos valores obtenidos en función de la climatología de Sevilla, pueden obtenerse datos reales de dilatación y tensiones de dilatación, con lo que podrán proyectarse más adecuadamente las juntas de dilatación y de unión entre placas, así como el sistema de agarre más adecuado para soportar las tensiones que puedan producirse como consecuencia de los cambios climáticos día - noche, y estación calurosa y fría.

Por otra parte, debe resaltarse como datos de interés de esta investigación, los siguientes:

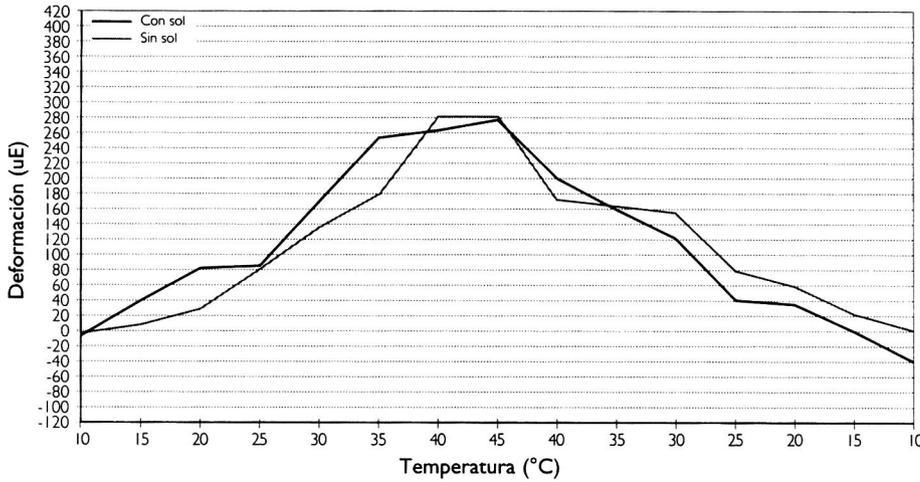
- La marcada influencia del grado de soleamiento en el comportamiento de las piedras. Las diferencias día - noche son tanto más acusadas, cuanto mayor es el gradiente térmico.

- La influencia del sol en estas diferencias día - noche es más acusada en los periodos de menor gradiente térmico (10 - 30°C), debido a que las temperaturas más altas se alcanzan con menor velocidad, y la humedad ambiental es mucho más elevada.

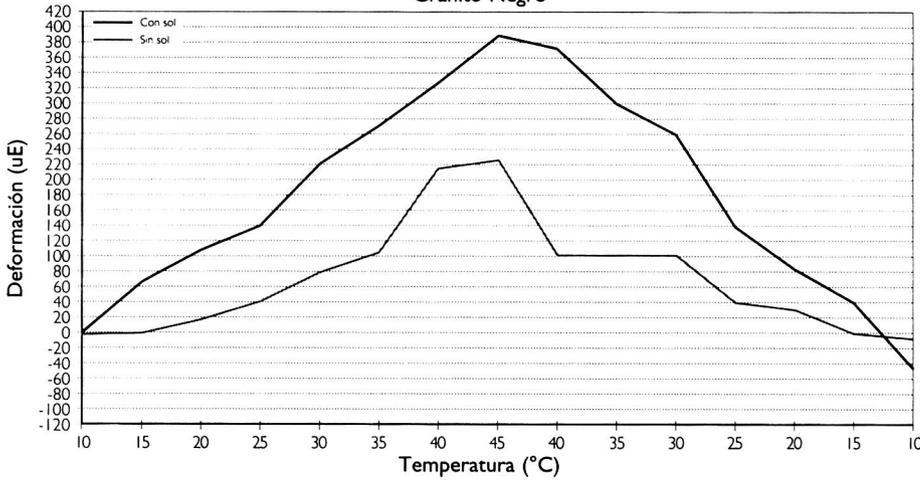
- Los valores obtenidos para las calizas son sensiblemente superiores a los establecidos en la bibliografía. La causa de ello, puede ser que el coeficiente de dilatación está referido a calizas más porosas y menos compactas que las utilizadas en Sevilla.



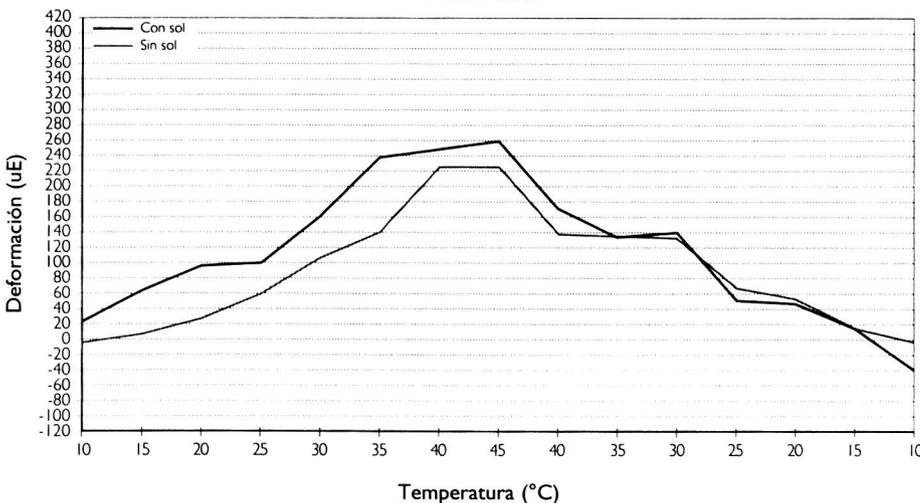
Deformación frente a T^a (Global)
Caliza Sedimentaria



Deformación frente a T^a (Global)
Granito Negro



Deformación frente a T^a (Global)
Granito Rosa



AGRADECIMIENTOS

Los Autores desean expresar su agradecimiento al Ministerio de Educación y Ciencia por la ayuda concedida para el Intercambio de Personal Investigador entre Industria y Centros Públicos de Investigación, así como a la Empresa Vorsevi, S.A, en particular al Jefe del Departamento de Estructuras, Sr. D. Hermenegildo Sanz Daza.