

CUADERNOS INTEMAC

Investigación sobre la resistencia, funcionalidad y durabilidad de las aceras

Walkway strength, functionality and durability

Fernando Catalá Moreno
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos



METIRE UT SCIAS

INTEMAC

INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

N.º 80

4.º TRIMESTRE '10



METIRE UT SCIAS

INTEMAC

INSTITUTO TÉCNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

CONTROL DE PROYECTO

CONTROL DE OBRA

GARANTÍA DE CALIDAD

(O.C.T.) CONTROL PARA EL SEGURO DE DAÑOS

INFORMES DE PATOLOGÍA, REHABILITACIÓN Y REFUERZOS DE CONSTRUCCIONES

OBRAS PÚBLICAS
EDIFICACIÓN
INSTALACIONES



INTEMAC AUDIT

AUDITORIA TÉCNICO-ECONÓMICA DE CONSTRUCCIONES

- ASESORÍA EN EL PLANTEAMIENTO Y EN LA CONTRATACIÓN DE LA OBRA
- SEGUIMIENTO DE COSTOS Y PLAZOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN
- VALORACIONES DE TERRENOS, INMUEBLES Y CONSTRUCCIONES
- AUDITORIAS DE TRABAJOS PARCIALES Y DE LIQUIDACIÓN DE LA OBRA



INTEMAC ECO

AUDITORÍA TÉCNICA MEDIOAMBIENTAL

CONTROL DE IMPACTO AMBIENTAL

Obras Públicas
Edificación
Instalaciones

CONTROL DE CALIDAD AMBIENTAL

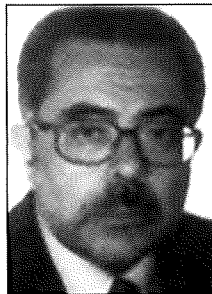
Aire
Agua
Ruido

AUDITORIA MEDIOAMBIENTAL

ASESORAMIENTO EN MATERIA DE MEDIO AMBIENTE

**INVESTIGACIÓN SOBRE LA RESISTENCIA, FUNCIONALIDAD
Y DURABILIDAD DE LAS ACERAS**

**WALKWAY STRENGTH, FUNCTIONALITY
AND DURABILITY**



Fernando Catalá Moreno
Dr. Ingeniero de Caminos Canales y Puertos
Civil Engineer, MSc, PhD

Copyright © 2010, INTEMAC

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida o distribuida de ninguna manera ni por ningún medio, ni almacenada en base de datos o sistema de recuperación, sin el previo permiso escrito del editor.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in a data base or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

ISSN 1133-9365

Depósito legal: M-4699-2010
Infoprint, S.A. - San Vicente Ferrer, 40

ABSTRACT

This research deals with some aspects related to the resistance, functionality and durability of the materials employed in sidewalk construction.

Due to the great variety of solutions for sidewalks, the study has been focussed on structures formed by granular subbases of suitable soils, concrete bases and concrete floor tiles, laid on a mortar layer. This solution is the one used in 84% of the cases on sidewalks built in Spain.

The obtained conclusions can be used to assess the pavement material quality used in the cement floor tiles commonly employed in the Spanish sidewalks, and also to establish the optimal solutions, from the economical point of view, for the construction of these kinds of pavements and the used of subbases and bases. ()*

Through the end of the last century, much less documentation could be found in the literature on urban than inter-urban infrastructure.

Compared to the abundance of excellent information on road geometry and structure, very few papers had been published in which city streets were the object of analysis.

TABLE 1
LENGTH OF PAVED ROADS IN SPAIN (in Km)

NETWORK OWNER	EXPRESS - AND MOTRO - WAYS	CONVENTIONAL ROADS	INTERURBAN NETWORK	CITY STREETS
CENTRAL GOVT	7 654	16 449		
REGIONAL G.	2 088	68 749		
PROVINCIAL G.			68 615	
LOCAL GOVT			361 519	128 179
SUBTOTAL	9 742	85 198	430 134	128 179 (19.6%)
TOTALES	653 253			

(*) This Report is a summary of a doctoral thesis conducted by Prof. José Calavera on the Building and Precasting Chair at the Civil Engineering College in the Universidad Politécnica de Madrid.

RESUMEN

La presente investigación trata sobre algunos aspectos relacionados con la resistencia, funcionalidad y durabilidad de los firmes para la construcción de aceras.

Dada la gran variedad de firmes capaces de sustentar aceras, hemos limitado el estudio a estructuras que, sobre una explanada mejorada, estén formadas por subbases granulares de suelos adecuados, bases de hormigón y pavimentos constituidos por baldosas de hormigón, sentadas sobre una capa de mortero de agarre. Este tipo de firme es el utilizado en el 84% de los firmes para aceras construidos en España.

Las conclusiones obtenidas permiten valorar la calidad de los materiales empleados en los pavimentos de baldosas de cemento comúnmente empleados en las aceras españolas, así como establecer las soluciones óptimas, desde el punto de vista económico, para la construcción de estos firmes, en lo que se refiere a las subbases y bases empleadas. ()*

Hasta finales del siglo pasado, era un hecho la escasa documentación que existía, con carácter general, sobre las infraestructuras urbanas en relación con la disponible para las mismas cuando su ámbito era el interurbano.

En el caso del viario, frente a la abundante y excelente información que podía obtenerse sobre carreteras en sus aspectos tanto geométricos como estructurales, destacaban las escasas publicaciones cuando es la calle el objeto de nuestro análisis.

CUADRO 1
LONGITUD EN Km DE LA RED DE VÍAS ESPAÑOLAS

RED	AUTOPISTAS Y AUTOVÍAS	CARRETERAS CONVENCIONALES	VIARIO INTERURBANO	VIARIO URBANO
ESTADO	7.654	16.449		
AUTONOMÍAS	2.088	68.749		
DIPUTACIONES			68.615	
AYUNTAMIENTOS			361.519	128.179
SUMAS	9.742	85.198	430.134	128.179 (19,6%)
TOTALES		653.253		

(*) El presente documento es un resumen de una tesis doctoral dirigida por el Prof. José Calavera Ruiz en la Cátedra de Edificación y Prefabricación de la Escuela de Ingenieros de Caminos de la Universidad Politécnica de Madrid.

This is particularly striking since, as Table 1 shows, of the 650 000-plus km of thoroughfares in Spain, more than 128 000 km, or 19.6 %, are found in cities.

The earliest catalogues on the structural design of streets were not published until the late nineteen eighties.

Indeed, the City of Madrid's Municipal Code on Hardscaping in Urban Developments, released in 1988, contained the first officially approved catalogue of structural designs for city street carriageway and walkway pavements in Spain.

This code classified traffic into three categories, heavy, medium and light, and identified five structural groups for pavements: rigid, mixed, semi-rigid, flexible and sett.

Walkways, which are subject to lighter loads, were classified into eight types, based essentially on surfacing.

This initiative was later emulated by other municipal governments. The methodology applied in one of the more prominent codes, approved in 2007 by the Valencia Town Council for street pavements, was similar to the procedure followed in Madrid in 1988.

According to the data in Table 2, furnished by the seven largest Spanish cities, the total paved area in cities nationwide comes to an estimated 762 million square metres, 38 % of which, i.e., 286 million square metres, are walkways.

TABLE 2
PAVED SURFACES IN SPAIN (10⁶ m²)

CITY STREETS	WALKWAYS	WALKWAYS WITH CEMENT BOUND PAVERS		
		HYDRAULIC	TERRAZZO	TOTAL
752	286 (38 %)	209 (73 %)	31 (11 %)	240 (84 %)

The Table also shows that 73 % of the walkways are surfaced with hydraulically pressed concrete paving flags and 11 % with terrazzo concrete. Consequently, around 240 million square metres of Spanish walkways, or 84 % of the total, are paved with cement bound pavers.

In addition to channelling pedestrian traffic, city walkways protect any number of municipal services housed in the ground below. Water supply, electric power, gas and communications lines are largely run underneath walkways. These networks must often be accessed for expansion or upgrading, new service connections or repairs.

TABLE 3
MUNICIPAL SERVICES
MADRID
MAY 2000 – MAY 2003

YEARLY DATA	DITCHES	CABLEWAYS	REPAIRS	TOTAL
NUMBER	9 646	1 616	10 833	22 095
LENGTH (Km)	192.9	323.2	108.3	624.5
AREA (m ²)				499 560

Es un hecho llamativo si tenemos en cuenta, como podemos ver en el Cuadro 1, que de los más de 650.000 Km que miden las vías españolas, más de 128.000, esto es, el 19,6%, corresponden a viario urbano.

Tuvimos que esperar hasta los años 90 para ver publicados, por ejemplo, catálogos de secciones estructurales para las vías urbanas.

En la Normalización de Elementos Constructivos para obras de Urbanización de 1988 del Ayuntamiento de Madrid, se incluyó el primer catálogo de secciones estructurales para firmes urbanos, de calzadas y aceras, aprobado por una administración pública en España.

A partir de una clasificación clara y precisa del tráfico en tres categorías, pesado, medio y ligero, se establecieron cinco grupos estructurales para los firmes de las calzadas: rígidos, mixtos, semirígidos, flexibles y adoquinados.

Las aceras, menos comprometidas estructuralmente, se clasificaron en ocho tipos, atendiendo fundamentalmente, a su pavimento.

Esta iniciativa la siguió posteriormente algún otro ayuntamiento, destacando el documento que en 2007 aprobó el Ayuntamiento de Valencia para los firmes de sus calzadas, con una metodología muy similar a la que utilizamos en Madrid en 1988.

Centrándonos en las aceras, según los datos, facilitados por los siete ayuntamientos españoles con mayor número de habitantes (Cuadro 2), podemos estimar en 752 millones de metros cuadrados la superficie del viario urbano de nuestro país, de los que el 38%, esto es, 286 millones de metros cuadrados corresponden a las aceras.

CUADRO 2
SUPERFICIES EN ESPAÑA (10⁶ m²)

VIARIO URBANO	ACERAS	ACERAS PAVIMENTADAS CON BALDOSAS DE CEMENTO		
		HIDRÁULICA	TERRAZO	TOTAL
752	286 (38%)	209 (73%)	31 (11%)	240 (84%)

En cuanto a los pavimentos, los mismos datos nos indican que el 73% de la superficie de aceras está pavimentada con baldosas hidráulicas y el 11% con baldosas de terrazo, lo que permite estimar en más de 240 millones de metros cuadrados la superficie de las aceras españolas pavimentadas con baldosas de cemento, lo que representa el 84% de la superficie total.

Las aceras de nuestras ciudades, además de canalizar el tráfico peatonal, sirven para alojar una gran cantidad de servicios urbanos. Las redes de distribución de agua, energía eléctrica, gas y comunicaciones, discurren en gran medida bajo nuestras aceras. Estas redes están sometidas a continuas actuaciones, bien por sus necesarias ampliaciones, por la aparición de nuevos usuarios que requieren nuevas acometidas o, finalmente, por las inevitables averías.

CUADRO 3
SERVICIOS URBANOS
AYUNTAMIENTO DE MADRID
MAYO 2000 – MAYO 2003

DATOS ANUALES	CALAS	CANALIZACIONES	AVERÍAS	TOTAL
NÚMERO	9.646	1.616	10.833	22.095
LONGITUD (Km)	192,9	323,2	108,3	624,5
SUPERFICIE (m ²)				499.560

Table 3 shows that, according to the City of Madrid's Works Area, from May 2000 to May 2003, over 624 km of walkways and carriageways had to be replaced as a result of the installation or repair of municipal services. This means that a total of 499 560 m² of cement bound pavers are laid in Madrid's walkways every year.

TABLE 4
YEARLY CEMENT BOUND PAVER CONSUMPTION IN
SPAIN (10⁶ m² and 10⁶€)

SERVICE INSTALLATION OR REPAIR	ROUTINE UPKEEP	REHABILITATION AND NEW WORKS	TOTAL	
			(10 ⁶ m ²)	(10 ⁶ €)
7	16	5	28	280

Extrapolating these figures to include all other Spanish cities gives a yearly consumption of over seven million square metres of paving flags nation-wide.

Since such works are numerous and widely distributed throughout cities, they have a substantial impact on walkway surface durability, which is seldom over 15 years.

The above data show that simple routine upkeep of walkway surfacing in Spanish cities entails an annual consumption of over 16 million m² of cement bound pavers.

According to the data furnished by municipal governments, an estimated five million square metres of cement bound flags were laid yearly for new and rehabilitation works conducted throughout the country in 1999-2003.

At a mean cost of 10/m² for the supply and installation of these pavers, overall spending on these operations comes to 280 million euros per year in Spain.

In 1999, the City of Madrid conducted a statistical survey on the quality of hydraulically pressed concrete paving flags that had been laid on Madrilenian walkways between July 1995 and July 1999.

Since technical and cost quality control of municipal works was centralised at the time, a sufficiently large data bank was at hand to run a reliable statistical analysis of the test findings.

In that four-year period, INTEMAC, which had been awarded the quality control service, conducted over 15000 trials on cement bound pavers.

The sample size and uniformity of the procedures applied, from sampling to the write-up of the final report, resulted in a highly reliable statistical study.

The conclusion drawn from that survey was that the cement bound pavers used were of mediocre quality.

In other words, the technical documentation on municipal pavements was scarce, the spending on cement bound pavers for walkways was relatively high and the trials run on these materials proved that they were of merely modest quality.

Hence the importance of improving both the manufacture and on-site laying of this material through research and experiment.

The present study aimed to analyse construction solutions for the walkways in place in most Spanish cities by assessing their performance under pedestrian traffic and accidental action.

En el Cuadro 3, podemos observar que, con los datos suministrados por el Área de Obras del Ayuntamiento de Madrid, correspondientes al período mayo de 2000 – mayo de 2003, la longitud de los pavimentos de aceras y calzadas repuestos por actuaciones derivadas de la instalación o reparación de servicios urbanos supera, anualmente, los 624 Km, lo que conduce a que 499.560 m² de las aceras madrileñas se reponen con baldosas de cemento.

CUADRO 4
CONSUMO DE BALDOSAS DE CEMENTO AL AÑO EN
ESPAÑA (10⁶ m² y 10⁶ €)

INSTALACIÓN O REPARACIÓN DE SERVICIOS	CONSERVACIÓN RUTINARIA	REHABILITACIONES Y OBRAS NUEVAS	TOTAL	
			(10 ⁶ m ²)	(10 ⁶ €)
7	16	5	28	280

Extrapolando estas cantidades al resto de nuestras ciudades, se obtiene que el consumo anual de baldosas de cemento en nuestro país, por este concepto, supera los 7 millones de metros cuadrados.

Estas obras tienen, además, la característica de ser muy numerosas y de estar muy distribuidas por las ciudades, por lo que afectan de una manera muy importante a la durabilidad de los firmes de las aceras que raramente supera los 15 años.

De la información anteriormente citada, se puede deducir que, solamente la conservación rutinaria de los pavimentos de las aceras de nuestras ciudades, requiere un consumo anual superior a los 16 millones de m² de baldosas de cemento.

Si consideramos las obras nuevas y las rehabilitaciones realizadas en nuestras ciudades durante el periodo 1999-2003, de los datos facilitados por los referidos ayuntamientos, podemos estimar en más de 5 millones de metros cuadrados el consumo en baldosas de cemento, al año.

La simple consideración de un coste medio, para el suministro e instalación de estas baldosas, de 10 m² indica que la facturación de este material, en España, supera al año los 280 millones de euros.

En 1999, realizamos en el Ayuntamiento de Madrid, un estudio estadístico sobre la calidad de las baldosas hidráulicas que se estaban colocando en las aceras madrileñas durante el periodo comprendido entre julio de 1995 y julio de 1999.

Durante este periodo, la gestión técnica y económica del control de calidad de las obras municipales, estaba centralizada, lo que permitió disponer de un banco de datos suficientemente amplio, que permitió analizar, a nivel estadístico con el suficiente grado de confianza, los resultados obtenidos en los ensayos realizados.

Durante estos cuatro años se realizaron, por INTEMAC, adjudicataria del servicio de control de calidad, más de 15.000 ensayos sobre baldosas de cemento.

El tamaño de la muestra analizada y la uniformidad de los procesos de gestión técnica, desde la toma de muestras hasta la redacción del último informe, da una gran fiabilidad al estudio estadístico realizado.

La conclusión final de este estudio fue que las baldosas de cemento que se estaban utilizando tenían una calidad, simplemente, regular.

Como hemos visto, se disponía de escasa documentación técnica sobre firmes urbanos, las pavimentaciones de aceras con baldosas de cemento tenían una relevante importancia económica y los resultados de los controles de calidad realizados sobre estos materiales eran, simplemente, discretos.

A technical analysis of the most widespread solutions was the basis for assessing the factors affecting walkway surface performance in terms of strength, functionality and durability.

The primary objective of this research was to determine the effect of sub-bases, bases and surfacing on performance under traffic loads.

The standards in place when the research was conducted, Spanish codes UNE 127001 to UNE 127007 (1990), are listed in Table 5.

TABLE 5
LEGISLATION IN EFFECT WHEN THE RESEARCH WAS CONDUCTED

SPANISH CODE (UNE)	AÑO	CONTENIDO
127001	1990	"Definitions. Classification. Characteristics. Acceptance"
127001/M	1994	"Definitions. Classification. Characteristics. Acceptance"
127002	1990	"Determination of water absorption coefficient"
127003	1990 EX	"Permeability and water absorption"
127004	1990	"Frost resistance"
127005-1	1990	"Abrasion - induced wear. Block on ring method"
127005-2	1990	"Abrasion - induced wear. Pin on disk method"
127006	1990	"Determination of bending strength"
127007	1990	"Determination of impact resistance"

Codes UNE 127001:1990 and UNE 127001-1M: 1994 established the definitions, classification, characteristics and conditions for on-site acceptance of cement bound paving flags.

These pavers are made from cement and aggregate to which pigments may be added. Their manufacture involves pressing, vibration or both.

TABLE 6
CEMENT BOUND PAVING FLAGS

TYPE	NUMBER OF LAYERS	OUTER SIDE	MIDDLE LAYER	INNER SIDE
HIDRAULIC	2 or 3	Cement mortar		
		Very fine sand ± Pigments	Fine sand	Crushed or river sand
SINGLE LAYER	1	Moist cement mix Aggregate with hard stone ± Pigments		
TERRAZZO	2	Cement mortar		
		Very fine sand Marble ± Pigments	—	Crushed or river sand
USES: NORMAL - INTENSE - INDUSTRIAL - OUTDOOR				

Se comprende, pues, la importancia de mejorar, mediante investigaciones y experimentaciones, tanto la fabricación como la puesta en obra de este material.

La presente investigación pretende analizar, en detalle, las soluciones constructivas de las aceras que se utilizan en la mayor parte de las vías urbanas españolas, evaluando su comportamiento frente al tráfico peatonal y las acciones accidentales.

Partiendo de un análisis técnico de las soluciones que se emplean con mayor profusión, se pretende efectuar una valoración de los factores que inciden en el comportamiento de los firmes para aceras, atendiendo a las condiciones de resistencia, funcionalidad y durabilidad de las mismas.

La influencia en el firme de las subbases, bases y pavimentos, en relación con su comportamiento ante las cargas de tráfico, constituye el objetivo fundamental de esta investigación.

La normativa existente durante el periodo de realización de la investigación, estaba constituida por las normas UNE 127001 a UNE 127007 de 1990, que se detallan en el Cuadro 5.

CUADRO 5
NORMATIVA EXISTENTE EN EL PERIODO DE REALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

NORMA UNE	AÑO	CONTENIDO
127001	1990	"Definiciones. Clasificación. Características. Recepción"
127001/M	1994	"Definiciones. Clasificación. Características. Recepción"
127002	1990	"Determinación del coeficiente de absorción de agua"
127003	1990 EX	"Ensayo de permeabilidad y absorción de agua"
127004	1990	"Ensayo de heladicidad"
127005-1	1990	"Desgaste por abrasión. Método de la plataforma giratoria"
127005-2	1990	"Desgaste por abrasión. Método del disco"
127006	1990	"Determinación de la resistencia a flexión"
127007	1990	"Determinación de la resistencia al choque"

Las normas UNE 127001:1990 y UNE 127001-1M: 1994 establecían las definiciones, clasificación, características y condiciones de recepción en obra de las baldosas de cemento.

Las baldosas de cemento son elementos fabricados con cemento, áridos, con o sin colorantes, obtenidos por compresión, vibración o ambos sistemas a la vez.

CUADRO 6
BALDOSAS DE CEMENTO

TIPOS	NÚMERO DE CAPAS	CARA VISTA	CAPA INTERMEDIA	DORSO
HIDRÁULICA	2 ó 3	Mortero de cemento		
		Arena muy fina ± Colorantes	Arena fina	Arena de machaqueo o de río
MONOCAPA	1	Mezcla húmeda de cemento Áridos con piedras duras ± Colorantes		
TERRAZO	2	Mortero de cemento		
		Arena muy fina Mármol ± Colorantes	—	Arena de machaqueo o de río
USOS: NORMAL – INTENSIVO – INDUSTRIAL – EXTERIOR				

Table 7 summarises the physical specifications for outdoor use of cement bound pavers laid down in the aforementioned codes.

TABLE 7
CODE 127001
OUTDOOR USE

PHYSICAL PROPERTY		SINGLE LAYER	DUAL LAYER HYDRAULIC	TERRAZZO
WEAR (mm)		≤ 1.2	≤ 1.5	≤ 1.2
BNDNG (MPa)	Outer side axially loaded	≥ 6	≥ 5.0	≥ 6.0
	Inner side axially loaded		≥ 4.0	≥ 4.5
ABSORPTION (%)		≤ 7.5		
IMPACT (mm)		≥ 600		
FROST RESISTANCE		GOOD		
PERMEABILITY		NON-PERMEABLE		

Table 8 lists the geometric properties of these pavers.

TABLE 8
CODE 127001
OUTDOOR USE

GEOMETRIC PROPERTY	SINGLE LAYER	DUAL LAYER HYDRAULIC	TERRAZZO
LENGTH (scatter %)	≤ 0.5 (< 300 mm long)		
WIDTH (scatter %)	≤ 0.3 (≥ 300 mm wide)		
THICKNESS (scatter %)	≤ 2 (Thickness ≤ 400 mm) ≤ 3 (Thickness > 400 mm)		
ANGLE DEVIATION (mm)	≤ 0.4		
EDGE STRAIGHTNESS (%)	≤ 0.2		
FLATNESS (%)	≤ 0.2 (Polished) ≤ 0.3 (Unpolished)		

Beginning in 1999, the AENOR Technical Standardisation Committee for Precast Cement and Concrete drew up bridging standards to adapt the existing legislation to the codes that were being drafted by the European Committee for Standardisation, CEN.

The European codes that superseded all the aforementioned Spanish standards in 2004 and 2005 were UNE-EN 1339:2004 "Concrete paving flags"; UNE-EN 13748-1:2005 "Terrazzo tiles for internal use"; and UNE-EN 13748-2:2005 "Terrazzo tiles for external use".

El Cuadro 7, refleja las especificaciones, para uso exterior, de las características físicas prescritas en las citadas normas para las baldosas de cemento.

CUADRO 7

NORMA 127001
USO EXTERIOR

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		MONOCAPA	HIDRÁULICA BICAPA	TERRAZO
DESGASTE (mm)		≤ 1,2	≤ 1,5	≤ 1,2
FLEXIÓN (Mpa)	Cara en tracción	≥ 6	≥ 5,0	≥ 6,0
	Dorso en tracción		≥ 4,0	≥ 4,5
ABSORCIÓN (%)		≤ 7,5		
CHOQUE (mm)		≥ 600		
HELADICIDAD		NO HELADIZA		
PERMEABILIDAD		NO PERMEABLE		

En el Cuadro 8, se indican las características geométricas para las mismas baldosas.

CUADRO 8

NORMA 127001
USO EXTERIOR

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS	MONOCAPA	HIDRÁULICA BICAPA	TERRAZO
LONGITUD (dispersión %)	≤ 0,5 (Lado < 300 mm)		
ANCHURA (dispersión %)	≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)		
ESPESOR (dispersión %)	≤ 2 (Espesor ≤ 400 mm)		
	≤ 3 (Espesor > 400 mm)		
DESVIACIÓN DE ÁNGULOS (mm)	≤ 0,4		
RECTITUD DE ARISTAS (%)	≤ 0,2		
PLANEIDAD (%)	≤ 0,2 (Textura pulida)		
	≤ 0,3 (Otras texturas)		

A partir de 1999, el Comité Técnico de Normalización de AENOR sobre prefabricados de cemento y hormigón, fue elaborando unas normas puente que permitiesen adecuar la normativa existente a la que estaba redactando el Comité Europeo de Normalización, CEN.

Posteriormente, las normas europeas que en 2004 y 2005 han anulado y sustituido a todas estas normas españolas, han sido las siguientes: UNE-EN 1339:2004 "Baldosas de Hormigón", UNE-EN 13748-1:2005 "Baldosas de Terrazo para uso interior" y UNE-EN 13748-2:2005 "Baldosas de Terrazo para uso exterior".

Esta nueva normativa supuso un gran avance en lo relativo a las especificaciones definitorias de estos materiales al establecer el concepto de "Clase" según dimensiones, diagonales, carga de rotura, resistencia a flexión, al desgaste por abrasión, al deslizamiento y climática, para las baldosas de hormigón, completando su identificación con los datos relativos al número de capas, al acabado superficial, al formato y al color y, en el caso de los terrazos, al espesor de la capa de huella.

These new codes constituted a considerable improvement in the specifications for these materials, inasmuch as they established "classes" depending on size, diagonals, ultimate load, bending strength and abrasion, slip and weather resistance for concrete paving flags. In addition, pavers were identified by number of layers, surface finish, format and colour and, in terrazzo, the outer layer thickness.

Inasmuch as these are harmonised standards, in Annex ZA AENOR specified the properties, requirements, test methods and supply and acceptance conditions for unreinforced concrete paving flags and ancillary fittings for paved areas exposed to traffic in Spain, via reference to code UNE 127339: 2007 and the aforementioned UNE – EN 1339: 2004.

The experimental part of the research conducted to study the factors affecting cement bound paver walkway strength, functionality and durability comprised three clearly distinct phases.

In PHASE I, the pavers themselves were studied, both as delivered and after wet-dry and freeze-thaw accelerated ageing.

In PHASE II, tests were run to determine the behaviour of a series of trial moduli before and after the aforementioned accelerated ageing procedures.

Lastly, in PHASE III, the mechanical properties were found for a trial walkway consisting of 16 sub-sections consisting of different combinations of sub-bases, concrete bases, cement bound paving flags and service loads.

At the same time, a statistical survey that might be called PHASE 0, was conducted on the quality of hydraulically pressed concrete pavers that had been laid on Madrilenian walkways between July 1999 and July 2003. The research addressed only 15x15 single layer, 15x15 dual layer hydraulically pressed, 20x20 blister and 30x30 terrazzo paving flags.

The characterisation trials required by the legislation in place at the time, i.e., aforementioned codes UNE 127001 to 127007, were performed on all four materials.

Further to the comparison of the findings to code specifications, only the terrazzo pavers were apt for the four uses listed: normal, intense, industrial and outdoor. The hydraulically pressed and blister pavers were suitable for normal use, and the single layer pavers for none of the uses defined.

A comparison of the four types of pavers in terms of their physical and mechanical properties showed that the terrazzo flags performed distinctly better than the others. The single layer material proved to have very low bending strength, while the hydraulically pressed concrete pavers exhibited the poorest physical-mechanical properties.

Although these findings were consistent with the conclusions drawn from the statistical study of the tests conducted on cement bound pavers used in walkways in Madrid from 1995 to 1999, a second statistical study was run with the same methodology in 2003 for the period 1999-2003.

TABLE 9
STATISTICAL STUDY, 1999 – 2003

PROPERTY	MADRID SPECS	MEAN	STANDARD DEVIATION	COEFFICIENT DE VARIACIÓN	% CONFORMING
ABSORPTION (%)	≤ 7.5	7.29	0.74	10.1	59
WEAR (mm)	≤ 2 ≤ 1.5	1.71	0.44	25.8	67
OUTER BENDING (Mpa)	≥ 5	6.47	1.29	19.9	80
INNER BENDING (Mpa)	≥ 4	7.61	3.06	40.2	94
IMPACT (mm)	≥ 600	692	56.13	8.1	87

Al tratarse de normas armonizadas, en su Anejo ZA, AENOR especificó, mediante la norma UNE 127339: 2007, junto con la referida UNE - EN 1339: 2004 las propiedades, requisitos, métodos de ensayo y condiciones de suministro y recepción de la baldosas de hormigón no armadas y accesorios complementarios para áreas pavimentadas sometidas al tráfico, en España.

La investigación experimental realizada para estudiar diversos factores que afectan a la resistencia, funcionalidad y durabilidad de las aceras construidas con baldosas de cemento, ha comprendido tres fases, claramente diferenciadas.

La primera fase, FASE I, abordó la investigación sobre baldosas, realizándose ensayos sobre baldosas en estado de suministro y ensayos tras unos tratamientos previos de envejecimiento artificial acelerado por ciclos de humectación-secado y por ciclos de hielo-deshielo.

En la FASE II, se realizaron los ensayos necesarios para determinar el comportamiento de una serie de módulos de prueba antes y después de los tratamientos de envejecimiento acelerado citados.

Finalmente, durante la FASE III, se determinaron las propiedades mecánicas de un tramo de prueba, formado por 16 subtramos, obtenidos al combinar distintos tipos de explanadas, espesores de la base de hormigón, pavimentos de baldosas de cemento y solicitaciones de uso.

En paralelo, en lo que podríamos llamar FASE 0, realizamos un estudio estadístico sobre la calidad de las baldosas hidráulicas que se estaban colocando en las aceras madrileñas durante el periodo comprendido entre julio de 1999 y julio de 2003.

Para la investigación solo se han considerado baldosas monocapa de 15x15, hidráulicas bicapa de 15 x 15, de botones de 20 x 20 y de terrazo de 30 x 30.

Durante la FASE I, se han realizado, sobre las muestras correspondientes a cada tipo de material, los ensayos de caracterización prescritos por la normativa en vigor en ese momento, esto es, por las normas UNE 127001 a 127007, anteriormente citadas.

La interpretación de los resultados obtenidos, de acuerdo con las referidas normas, fue que solo las baldosas de terrazo ensayadas eran aptas para los cuatro usos establecidos en la norma, esto es, normal, intensivo, industrial y exterior, que las baldosas hidráulicas y de botones eran aptas para el uso normal y, finalmente, que las baldosas monocapa no eran aptas para ninguno.

Al efectuar la comparación de las características físico-mecánicas entre los cuatro tipos de baldosas, vimos que las prestaciones del terrazo eran claramente superiores a las del resto de las baldosas. De igual modo se pudieron destacar los reducidos valores de la resistencia a flexión que presentaba la monocapa y que la baldosa hidráulica fue la que obtuvo peor comportamiento respecto al resto de parámetros físico-mecánicos evaluados.

Aunque estos resultados estaban en concordancia con las conclusiones del Estudio Estadístico realizado sobre los resultados de los ensayos efectuados en las baldosas de cemento empleadas en las pavimentaciones realizadas por el Ayuntamiento de Madrid desde 1995 hasta 1999, en el año 2003 realizamos, con la misma metodología, un segundo Estudio Estadístico, correspondiente al periodo 1999 – 2003.

CUADRO 9
ESTUDIO ESTADÍSTICO REALIZADO PERIODO 1999 – 2003

CARACTERÍSTICAS	PCTG AYTO.DE MADRID	MEDIA	DESVIACIÓN TÍPICA	COEFICIENTE DE VARIACIÓN	% DE CONFORMIDAD
ABSORCIÓN (%)	≤ 7,5	7,29	0,74	10,1	59
DESGASTE (mm)	≤ 2 ≤ 1,5	1,71	0,44	25,8	67
FLEXIÓN CARA (Mpa)	≥ 5	6,47	1,29	19,9	80
FLEXIÓN DORSO (Mpa)	≥ 4	7,61	3,06	40,2	94
CHOQUE (mm)	≥ 600	692	56,13	8,1	87

The findings are summarised in Table 9.

The technical quality and cost control of municipal works was also centralised in that period, when INTEMAC, the awardee for this quality control service, conducted over 12000 tests on cement bound paving flags.

The sample size and uniformity of the technical procedures applied, from sampling to the write-up of the final report, ensured highly reliable results.

The most significant conclusions are discussed below.

Only 59 % of the pavers tested met absorption specifications and only 67 % the wear resistance requirement, defined in the municipal codes as under 2 mm, whereas the UNE 127001 ceiling was 1.5 mm. This means that a much smaller percentage of flags would have been code-compliant if the UNE rules had been applied.

Outer side bending strength requirements were met in 80 % of the samples, and inner side in 94 %.

A total of 87 % of the pavers complied with the impact resistance standards.

Pursuant to the requirements laid down in the applicable codes, then, these cement bound pavers, with the exception of terrazzo, proved to be unsuitable for outdoor municipal use.

Samples of all four types of pavers were tested for the physical and geometric properties described above after exposure to two types of ageing treatments.

BOX 1 WET-DRY ARTIFICIAL AGEING SEQUENCE

- 24 hours at +40 °C soaked to saturation at outset
- 48 hours at 20 °C
- 24 hours at +40 °C soaked to saturation at outset
- 72 hours at 20 °C

The pavers were first exposed to wet-dry accelerated ageing at temperatures ranging from +20 °C to +40 °C, followed by wet-dry sequences in an infrared chamber. The sequence followed in each cycle throughout the total 4-month procedure is listed in Box 1.

BOX 2 FREEZE-THAW ARTIFICIAL AGEING SEQUENCE

- Freezing at -20 °C for 48 hours
- Submerged in water at +20 °C for 48 hours
- Freezing at -20 °C for 72 hours
- Submerged in water at +20 °C for 48 hours
- Freezing at -20 °C for 48 hours
- Submerged in water at +20 °C for 72 hours

The pavers were later submerged in water at +20 °C and then exposed to freeze-thaw accelerated ageing for 4 months, with freezing at -20 °C followed by submerged thawing at +20 °C. The sequence followed in each cycle was as listed in Box 2.

After ageing, these samples were characterised using the same tests as conducted on the pavers as delivered.

En el Cuadro 9, se resumen los resultados obtenidos.

Durante este periodo, la gestión técnica y económica del control de calidad de las obras municipales, también estaba centralizada, realizándose por INTEMAC, adjudicataria del servicio de control de calidad, más de 12.000 ensayos sobre baldosas de cemento.

El tamaño de la muestra analizada y la uniformidad de los procesos de gestión técnica, desde la toma de muestras hasta la redacción del último informe, también garantizaron una gran fiabilidad al estudio realizado.

Indicamos, a continuación, las conclusiones más significativas.

Solamente el 59% de las baldosas ensayadas cumplían las especificaciones relativas a la absorción, y solo el 67%, las correspondientes al desgaste, si bien hay que señalar que la norma municipal exigía valores inferiores a 2 mm, mientras que la UNE 127001 establecía un límite de 1,5 mm. Por ello este 67% habría sido sensiblemente inferior si hubiera sido esta norma el patrón de comparación.

La flexión en cara se cumplía en el 80% de los casos y la flexión en dorso en el 94%.

Finalmente, la resistencia al choque se cumplía en el 87% de los casos.

De todo lo anterior se deduce que, respecto a los requisitos exigidos por la normativa de aplicación, las baldosas de cemento, con la excepción de las de terrazo, son inadecuadas para su uso en pavimentación exterior urbana.

En las muestras correspondientes a cada uno de los cuatro tipos de baldosas se realizaron los ensayos relativos a la determinación de sus características físicas y geométricas ya descritos, tras ser sometidas a dos tratamientos de envejecimiento artificial diferentes.

TABLA 1
ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL POR CICLOS DE HUMECTACIÓN-SECADO

- 24 horas a +40 °C hasta saturación al inicio del calentamiento
- 48 horas a 20 °C
- 24 horas a +40 °C hasta saturación al inicio del calentamiento
- 72 horas a 20 °C

En primer lugar, se sometió a las baldosas a un tratamiento de envejecimiento acelerado mediante la aplicación de ciclos de humectación-secado, con temperaturas comprendidas entre + 20 °C y + 40 °C, completado con secuencias de humedad-sequedad en cámara de radiación infrarroja, con una duración total de 4 meses, siguiendo los ciclos que se indican en la TABLA 1.

TABLA 2
ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL POR CICLOS DE HIELO-DESHIELO

- Congelación a -20 °C, durante 48 horas
- Inmersión en agua a +20 °C, durante 48 horas
- Congelación a -20 °C, durante 72 horas
- Inmersión en agua a +20 °C, durante 48 horas
- Congelación a -20 °C, durante 48 horas
- Inmersión en agua a +20 °C, durante 72 horas

En paralelo, se sometieron a las baldosas a un segundo tratamiento de envejecimiento acelerado por medio de ciclos de hielo-deshielo, aplicando ciclos de inmersión en agua, a +20 °C, y posterior congelación, a -20 °C, con una duración de 4 meses, siguiendo los ciclos que se indican en la TABLA 2.

Tras estos tratamientos, las muestras fueron sometidas a los mismos ensayos de caracterización que los que se realizaron con las baldosas en estado de suministro.

TABLE 10
USAGE SUITABILITY BEFORE AND AFTER ACCELERATED AGEING

PAVER TYPE	INITIAL	WET-DRY	FREEZE-THAW
SINGLE LAYER	None	None	None
HYDRAULIC	Normal	None	None
BLISTER	Normal	Normal	Normal Intense
TERRAZZO	Normal, intense, industrial and outdoor		

Table 10 summarises the possible usage for which each type of paver is fit, according to Spanish code UNE 127001, further to the test findings before and after accelerated ageing.

An analysis of the after-ageing results leads to the following remarks:

In the dual layer pavers, both the wet-dry and freeze-thaw cycles lowered the bending strength of the hydraulically pressed material substantially, although the effect was more accentuated after the latter, in particular when the outer side of the paver was axially loaded.

This infers that the parameter best suited for evaluating possible paving flag degeneration due to wet-dry or freeze-thaw cycles is bending strength under outer side axial loads, for it reveals which material typology is the most vulnerable to these aggressive actions. This is especially significant because not only did strength fail to rise in the 4-month period as would have been expected (submerged in water for part of the time), but actually declined considerably.

The Phase II trials were conducted on twelve 60x60-cm² and sixteen 30x30-cm² test moduli.

Moduli measuring 60x60 cm² were made from all four types of pavers, each consisting of sixteen 15x15 (single layer and hydraulically pressed), nine 20x20 (blister) or four 30x30 (terrazzo) flags, laid over a 10-cm thick base of H-250 concrete in a 3-cm thick layer of setting mortar.

Three trial moduli were prepared for each paver type, varying the setting mortar used: two with type I and one with type II. The mortar types used are described in Table 11.

TABLE 11
MORTAR TYPES

MORTAR	BATCHING (C : S*)	CEMENT (kg)	SAND (m ³)	WATER (litres)
TYPE I	1 : 4	350	1.030	260
TYPE II	1 : 10	160	1.150	250

CUADRO 10

USOS PERMITIDOS ANTES Y DESPUÉS DE LOS ENVEJECIMIENTOS ACELERADOS

TIPOS	INICIAL	HUMECTACIÓN- SECADO	HIELO-DESHIELO
MONOCAPA	Ninguno	Ninguno	Ninguno
HIDRÁULICA	Normal	Ninguno	Ninguno
BOTONES	Normal	Normal	Normal Intensivo
TERRAZO	Normal, Intensivo, Industrial y Exterior		

En el Cuadro 10, se indican, para cada tipo de baldosa, los usos posibles, de acuerdo a la norma UNE 127001, a la vista de los resultados obtenidos antes y después de realizar cada uno de los dos tipos de envejecimientos artificiales acelerados descritos.

Del análisis de los resultados obtenidos sobre las baldosas tras su exposición a los dos tratamientos de envejecimiento acelerado descritos, pueden establecerse las siguientes consideraciones:

En las baldosas bicapa, tanto los ciclos de humectación y secado como los de hielo-deshielo suponen una merma considerable en la resistencia a flexión del material hidráulico, siendo más acentuada la variación de resistencia ocasionada por los ciclos de congelación y descongelación y, más evidente, en los ensayos a flexión con la cara vista en tracción.

De ello se deduce que el mejor parámetro para evaluar la posible degradación de las baldosas ocasionada por ciclos alternos de humedad y secado o por la acción de las heladas, es la resistencia a flexión con la cara vista en tracción, que pone de manifiesto cuál es la tipología de material que presenta una mayor susceptibilidad frente a ambos tipos de agresiones. Este aspecto se considera especialmente relevante porque no solo no se observan los incrementos de resistencia que cabría esperar por haber transcurrido 4 meses (con periodos de inmersión en agua) desde la realización de los ensayos de caracterización inicial, sino que los decrementos de resistencia son muy elevados.

Los ensayos de la FASE II, se han realizado sobre 12 módulos de prueba de 60x60 cm² y 16 módulos de 30x30 cm².

Los módulos de dimensiones en planta de 60x60 cm², se han construido con baldosas de cada uno de los cuatro tipos, estando cada uno formados por 16 baldosas 15x15 ("monocapa" e "hidráulica"), 9 baldosas 20x20 ("botones") o 4 baldosas 30x30 ("terrazo"), asentadas sobre una base de hormigón H-250 de 10 cm de espesor, y, recibidas a la misma, mediante una capa de mortero de unión de 3 cm de espesor.

Por cada uno de los 4 tipos de baldosas, se han fabricado tres módulos de prueba diferenciados por la calidad del mortero de unión a utilizar, dos con mortero Tipo I, y un tercero con mortero Tipo II. Las calidades del mortero se indican en el Cuadro 11.

CUADRO 11

TIPOS DE MORTERO

MORTERO	DOSIFICACIÓN (C : A)	CEMENTO (Kg)	ARENA (m ³)	AGUA (litros)
TIPO I	1 : 4	350	1,030	260
TIPO II	1 : 10	160	1,150	250

All twelve 60x60 moduli were visually inspected before proceeding to the accelerated ageing treatments described above, as shown in Table 12.

TABLE 12
60 x 60 MODULI

AGEING TREATMENT	MORTAR	PAVER TYPE			
		SINGLE	HYDR	BLST	TERR
WET-DRY	TYPE I	1	1	1	1
	TYPE II	1	1	1	1
FREEZE-THEW	TYPE I	1	1	1	1

The sixteen 30x30-cm² trial moduli were made from 5x5-cm² fragments hewn from the pavers and set in mosaic format. Table 13 lists the treatments applied.

TABLE 13
30 x 30 MODULI

AGEING TREATMENT	MORTAR	PAVER TYPE			
		SINGLE	HYDR	BLST	TERR
WET-DRY	TYPE I	1	1	1	1
	TYPE II	1	1	1	1
FREEZE-THEW	TYPE I	1	1	1	1
	TYPE II	1	1	1	1

Four moduli were prepared for each paver type, two with each type of mortar, one of which was aged with the wet-dry and the other with the freeze-thaw procedure.

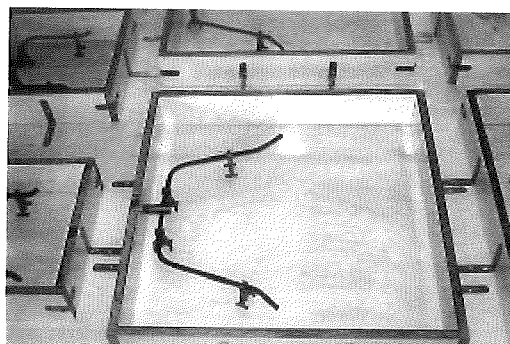


Figure 1. Reinforcement layout
Figura 1. Esquema de armado

Una vez fabricados los 12 módulos de prueba de 60x60, se realizó una inspección visual de todos, previamente a la realización de los tratamientos de envejecimiento acelerado anteriormente descritos, según se describe en el Cuadro 12.

CUADRO 12
MÓDULOS DE 60 x 60

TRATAMIENTO PREVIO	MORTERO	TIPO DE BALDOSA			
		MONO	HIDR	BOT	TERR
CICLOS DE HUMECTACIÓN-SECADO	TIPO I	1	1	1	1
	TIPO II	1	1	1	1
CICLOS DE HIELO-DESHIELO	TIPO I	1	1	1	1

Los 16 módulos de prueba de 30x30 cm², se formaron con fragmentos de las baldosas objeto del estudio, talladas a 5x5 cm², a modo de mosaico, según se indica en el Cuadro 13, en el que se reflejan los tratamientos que se realizaron

CUADRO 13
MÓDULOS DE 30 x 30

TRATAMIENTO PREVIO	MORTERO	TIPO DE BALDOSA			
		MONO	HIDR	BOT	TERR
CICLOS DE HUMECTACIÓN-SECADO	TIPO I	1	1	1	1
	TIPO II	1	1	1	1
CICLOS DE HIELO-DESHIELO	TIPO I	1	1	1	1
	TIPO II	1	1	1	1

Para cada uno de los cuatro tipos de baldosas, se han fabricado cuatro módulos, dos por cada tipo de mortero, de modo que dos módulos, con diferente tipología de mortero, han sido sometidos a envejecimiento acelerado por ciclos de humectación-secado y los otros dos a envejecimiento por ciclos de hielo-deshielo.

Para la fabricación de los módulos de prueba se prepararon 12 encofrados de 62 cm x 60 cm x 10 cm en los que se dispusieron armaduras en forma de V, para hacer factible su transporte.

El vertido del hormigón H-250, se realizó en una sola tongada, compactándose mediante picado con barra.

Posteriormente, se fratasó la superficie y, en fresco, se cepilló para favorecer la adherencia del mortero.

Twelve forms were prepared for the 62x60x10-cm test moduli and fitted with V-shaped reinforcement for readier handling.

The H-250 concrete was cast in a single lift and hand-compacted with a rod.



Figure 2. Concrete casting and compaction
Figura 2. Vertido y compactación del hormigón

The surface was subsequently floated and brushed while the concrete was still fresh to favour bonding to the setting mortar.

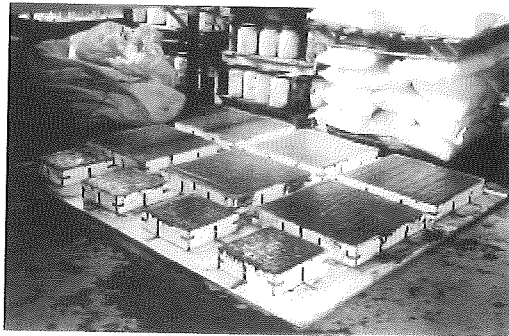


Figure 3. Modulus surface texture
Figura 3. Textura superficial de los módulos

The finished 60x60 moduli are depicted in Figure 4.

After the moduli were removed from the moulds, they were stored for 10 days at 20 °C and 50 % relative humidity and subsequently covered with one of the two types of mortar.

The pavers were then laid, the joints were grouted and the moduli were washed.

The effect of wet-dry and freeze-thaw artificial ageing was quantified by comparing a series of modulus parameters before and after these procedures.

The parameters measured were variation in size, flatness, slip resistance, number of flaws and colour.

Pull-out tests were conducted on the sixteen 30x30 mosaic moduli (four per paver type) as specified in Spanish code UNE 83822. Five trials were performed per modulus before and five after the ageing procedures.

En la Figura 4, puede apreciarse el aspecto de los módulos de 60x60, una vez terminados.

Desmoldados los módulos, se mantuvieron durante 10 días a 20 °C y 50% de humedad relativa, procediéndose, a continuación a la colocación de las dos tipologías de mortero en los módulos correspondientes.

A continuación se colocaron las baldosas, procediéndose, finalmente, al enlechado de las juntas, al tableado y al lavado de los módulos.

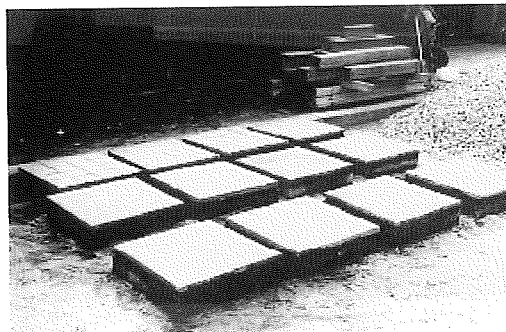


Figura 4. Módulos de 60 x 60 acabados
Figure 4. Finished 60 x 60 moduli

El efecto de los ciclos de envejecimiento artificial por ciclos de humectación-secado y de hielo-deshielo aplicados ha sido cuantificado mediante comparación de un conjunto de parámetros determinados sobre los módulos de prueba, previamente al comienzo de los tratamientos, y, posteriormente, una vez finalizados los mismos.

Las determinaciones realizadas sobre los módulos de prueba, han sido las siguientes: variación dimensional, planitud, resistencia al deslizamiento, cuantificación de defectos y cromatismo.

Sobre el mosaico de los cuatro módulos de 30x30 construidos para cada tipo de baldosa, se han efectuado ensayos de adherencia, según la norma UNE 83822, efectuando cinco arrancamientos por módulo, antes y después de la realización de los envejecimientos descritos.

Vamos a comentar, brevemente, los resultados de los ensayos realizados sobre los módulos de 60x60.

En forma de croquis, se confeccionaron unos esquemas detallados del resultado de la inspección visual de los módulos de prueba, antes y después de los tratamientos de envejecimiento acelerado con el fin de detectar la evolución de coqueras, fisuras, grietas desconchado de aristas y despuntado de esquinas.

El estudio de la variación de color con los ciclos de envejecimiento artificial acelerado, se ha realizado seleccionando, en todos los módulos, dos zonas de forma cuadrada, 4x4 cm², situadas en una de las diagonales, próximas a los vértices. En cada una de dichas zonas se han realizado antes y después de los ciclos de envejecimiento, 10 medidas de color, como puede apreciarse en la Figura 5.

El modelo cromático utilizado para la medición de las coordenadas cromáticas, (L*, a*, b*), ha sido el CIE 1976 CIELAB.

The findings for the 60x60 moduli are briefly discussed below.

Detailed sketches were drawn of the flaws observed during the visual inspections before and after ageing to identify variations in bug holes, fissures, cracks, edge scaling and nicked corners.

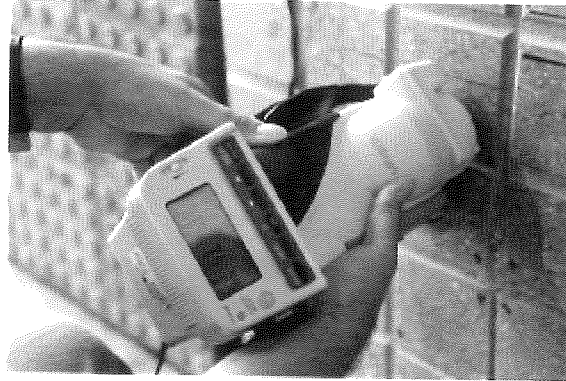


Figure 5. Colour analysis
Figura 5. Análisis cromático

Colour variation following accelerated ageing was determined for all the moduli in two 4x4-cm² areas along one of the diagonals near the vertices. A total of ten colour measurements were taken in both areas, before and after ageing, as shown in Figure 5.

The CIE 1976 CIELAB colour space was the model used to measure the colour coordinates (L*, a*, b*).

In this model, L* is lightness, and a* and b* are chromatic coordinates.

As Figure 6 shows, a* and b* are represented on a circular diagram in which the -a*,+a* axis represents green to red, and the axis -b*,+b*, blue to yellow. The centre, with values near zero for a* and b*, is colourless, while colour saturation rises from the centre to the edge of the diagram.

The values for a* and b* give the chroma, C*, and hue angle, H*.

The chroma is an indication of colour saturation and the hue angle the tone, i.e., the amount or purity of colour.

In addition, the yellowness index, YI, an indication of the degree to which the sample differs from white in the yellow direction, and the whiteness index, WI, or percentage of ideal white, were also calculated.

Tables 14 and 15 give the variations in these chromatic parameters before and after the two accelerated ageing treatments.

TABLE 14
MEAN VARIATION IN COLOUR PARAMETERS BEFORE AND
AFTER WET-DRY AGEING

PAVER	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔC^*	ΔH^*	ΔYI	ΔWI
Single layer	-0.72	0.30	0.50	0.54	-1.23	1.19	-1.45
Hydraulic	-0.14	0.16	0.80	0.81	-0.91	1.87	-1.70
Blister	-1.11	0.77	-0.37	0.33	-2.33	-0.20	-0.45
Terrazzo	-0.48	0.15	0.04	0.13	-0.21	0.25	0.12

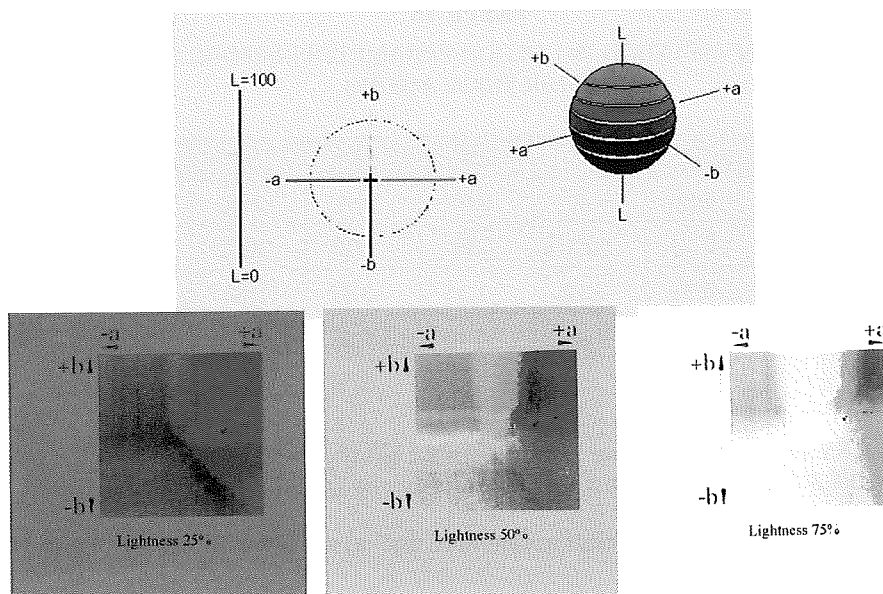


Figura 6. CIE 1976 CIELAB
Figure 6. CIE 1976 CIELAB

En este modelo, L^* corresponde a la luminosidad, mientras que a^* y b^* son las coordenadas cromáticas.

Las coordenadas a^* y b^* , como puede apreciarse en la Figura 6, se representan en un diagrama circular en donde el eje $-a^*, +a^*$ representa el color verde al rojo, y el eje $-b^*, +b^*$ representa el color azul al amarillo. El centro, valores próximos a cero para a^* y b^* , sería acromático, y al desplazarse hacia la periferia del diagrama, aumentaría la saturación de color.

A partir de los valores de a^* y b^* , se determinan la croma, C^* , y ángulo hue, H^* .

La croma hace referencia a la saturación de color y el ángulo hue al tono, esto es, a la cantidad o pureza de color. Adicionalmente, se han calculado de acuerdo con las normas ASTM E308 y D2244 el índice de amarillo, IA, que representa el grado en el cual la muestra es diferente del blanco en la dirección del amarillo, y el índice de blanco, IB, que sería de 100 para el blanco ideal.

En los cuadros 14 y 15 se indican las variaciones de estos parámetros cromáticos, antes y después de cada uno de los dos tratamientos de envejecimiento acelerado realizados.

CUADRO 14

VARIACIÓN MEDIA DE LOS PARÁMETROS CROMÁTICOS ANTES Y DESPUÉS DEL TRATAMIENTO DE ENVEJECIMIENTO POR CICLOS DE HUMECTACIÓN-SECADO

BALDOSA	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔC^*	ΔH^*	ΔIA	ΔIB
Monocapa	-0,72	0,30	0,50	0,54	-1,23	1,19	-1,45
Hidráulica	-0,14	0,16	0,80	0,81	-0,91	1,87	-1,70
Botones	-1,11	0,77	-0,37	0,33	-2,33	-0,20	-0,45
Terrazo	-0,48	0,15	0,04	0,13	-0,21	0,25	0,12

TABLE 15
MEAN VARIATION IN COLOUR PARAMETERS BEFORE AND
AFTER THAW AGEING

PAVER	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔC^*	ΔH^*	ΔYI	ΔWI
Single layer	-5.56	0.46	0.07	0.15	-2.44	1.83	-2.26
Hydraulic	-2.18	0.41	0.99	1.02	-2.52	2.70	-3.17
Blister	-0.99	-3.20	-2.19	-3.82	1.97	-4.61	3.23
Terrazzo	-3.55	-1.46	-1.15	-1.86	0.22	-0.94	1.79

The 5x5-cm² specimens hewn from (and of the same thickness as) the pavers were laid in the two types of mortar described above on the 30x30 moduli to conduct the pull-out tests as specified in code UNE 83822.

The results of the tests performed before and after accelerated ageing are given in Tables 16 and 17.

TABLE 16
BOND STRENGTH AFT WET-DRY AGEING

PAVER	MORTAR	BOND STRENGTH (MPa)	
		BEFORE	AFTER
Single layer	TYPE I	0.64	0.35
	TYPE II	0.27	0.22
Hydraulic	TYPE I	0.74	0.45
	TYPE II	0.28	0.15
Blister	TYPE I	0.63	0.48
	TYPE II	0.24	0.15
Terrazzo	TYPE I	1.21	1.11
	TYPE II	0.39	-

TABLE 17
BOND STRENGTH AFT WET-DRY AGEING

PAVER	MORTAR	BOND STRENGTH (MPa)	
		BEFORE	AFTER
Single layer	TYPE I	0.60	-
	TYPE II	0.29	-
Hydraulic	TYPE I	0.72	0.49
	TYPE II	0.20	0.17
Blister	TYPE I	0.62	0.48
	TYPE II	0.22	0.16
Terrazzo	TYPE I	1.13	0.93
	TYPE II	0.30	0.16

CUADRO 15**VARIACIÓN MEDIA DE LOS PARÁMETROS CROMÁTICOS ANTES Y DESPUÉS DEL TRATAMIENTO DE ENVEJECIMIENTO POR CICLOS DE HIELO-DESHIELO**

BALDOSA	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔC^*	ΔH^*	ΔIA	ΔIB
Monocapa	-5,56	0,46	0,07	0,15	-2,44	1,83	-2,26
Hidráulica	-2,18	0,41	0,99	1,02	-2,52	2,70	-3,17
Botones	-0,99	-3,20	-2,19	-3,82	1,97	-4,61	3,23
Terrazo	-3,55	-1,46	-1,15	-1,86	0,22	-0,94	1,79

Sobre los módulos de prueba de 30x30, se colocaron probetas talladas a partir de las baldosas objeto del estudio, con una superficie de 5x5 cm² y el espesor original de cada baldosa, empleando las dos tipologías de mortero descritas, para la realización de los ensayos de adherencia según UNE 83822.

Los ensayos se efectuaron previamente al comienzo de los tratamientos de envejecimiento artificial acelerado, y una vez finalizados los ciclos. Los resultados obtenidos, se indican en los cuadros 16 y 17.

CUADRO 16**TENSIÓN DE ADHERENCIA TRAS ENVEJECIMIENTO POR CICLOS DE HUMECTACIÓN-SECADO**

BALDOSA	MORTERO	TENSIÓN DE ADHERENCIA (Mpa)	
		INICIAL	FINAL
Monocapa	TIPO I	0,64	0,35
	TIPO II	0,27	0,22
Hidráulica	TIPO I	0,74	0,45
	TIPO II	0,28	0,15
Botones	TIPO I	0,63	0,48
	TIPO II	0,24	0,15
Terrazo	TIPO I	1,21	1,11
	TIPO II	0,39	-

CUADRO 17**TENSIÓN DE ADHERENCIA TRAS ENVEJECIMIENTO POR CICLOS DE HIELO-DESHIELO**

BALDOSA	MORTERO	TENSIÓN DE ADHERENCIA (Mpa)	
		INICIAL	FINAL
Monocapa	TIPO I	0,60	-
	TIPO II	0,29	-
Hidráulica	TIPO I	0,72	0,49
	TIPO II	0,20	0,17
Botones	TIPO I	0,62	0,48
	TIPO II	0,22	0,16
Terrazo	TIPO I	1,13	0,93
	TIPO II	0,30	0,16

An analysis of the after-ageing results for the test moduli leads to the following remarks:

The flatness findings for the finished side of the moduli showed no significant differences before and after wet-dry or freeze-thaw ageing.

Nor did changing the mortar or paver type lead to unequal flatness values.

The slip resistance coefficient, SRC, values were the same or only slightly lower after ageing.

The terrazzo pavers, which were much smoother than the others, had perceptibly lower SRC values than the single layer and hydraulically pressed paving flags.

The flaws (bug holes, fissures, edge scaling and nicked corners) observed in the trial moduli before exposure to accelerated ageing were not worsened by frost or the wet-dry cycles, except in the blister pavers which were also the materials with the highest initial proportion of such flaws. As a general rule, the relief on these pavers was observed to wear away, more intensely as a result of frost action than alternate wetting and drying. The magnitude of the initial flaws was observed to rise after both types of ageing.

The colour analysis revealed no perceptible differences between the two areas measured in any given modulus.

The colour variations observed after wet-dry cycle ageing were practically insignificant. After the freeze-thaw procedure, however, colour intensity declined significantly in red, anti-slip blister pavers. All the flags showed a decline in lightness after this ageing treatment.

Lastly, the freeze-thaw cycles induced gradual soiling in the single layer pavers, whose yellow index was higher before than after ageing. Similarly, the white index values provided an indication that the reddish pavers, both blister and terrazzo, whitened. The blister materials in particular had a substantially higher whiteness index after than before ageing.

According to the before ageing bond strength results, the terrazzo pavers with Type I mortar exhibited on the order of 70 % higher bond stress than the other three pavers when laid in the same mortar. While bond strength was likewise highest in terrazzo with mortar Type II, the difference between it and the other pavers was scanty significant in this case.

The bond strength values found for mortar Type I were double or more the strength found with Type II, and in terrazzo the former nearly quadrupled the latter.

Bond strength declined significantly in all the pavers after ageing, but especially in the single layer materials, which became detached from the base altogether when exposed to freeze-thaw cycles.

At the opposite extreme, bond strength in the terrazzo pavers laid in mortar Type I dipped only minimally, by 8 to 20 %. The bond strength values obtained for the other pavers after both types of ageing were from 20 to 50 % lower than their respective initial values. No significant differences were observed in paving flag performance between the two types of ageing treatment, with the exception of the single layer pavers mentioned above.

A sample walkway measuring 19.20 m long by 1.20 m wide and 0.70 m deep was built at INTEMAC's Central Laboratory. This structure consisted of sixteen 2.40 x 1.20-m² sub-sections, resulting from the combination of the following variables:

- 1.- four paver types: single layer, hydraulically pressed, blister and terrazzo
- 2.- one setting mortar: Type II
- 3.- two H-250 concrete base thicknesses: 4 and 10 cm
- 4.- two degrees of sub-base compaction: deficient (85 % of the standard proctor) and satisfactory (100 % of the standard proctor).

Del análisis de los resultados obtenidos sobre los módulos de prueba tras su exposición a tratamientos de envejecimiento acelerado, se pueden establecer las siguientes consideraciones.

Los resultados de planeidad efectuados sobre la cara de acabado de los módulos, no presentan diferencias significativas entre los valores iniciales y los obtenidos después de la aplicación de los tratamientos de envejecimiento mediante ciclos de humectación-secado o de hielo-deshielo.

Tampoco se han obtenido valores desiguales por el empleo de uno u otro tipo de mortero, ni por la tipología de baldosa empleada.

Los valores de coeficiente de resistencia al deslizamiento, CRD, son iguales o muy ligeramente inferiores después de la aplicación de los envejecimientos respecto a las medidas iniciales.

La baldosa de terrazo, al presentar una textura superficial mucho más lisa que el resto, da lugar a valores del CRD sensiblemente inferiores a las baldosas monocapa e hidráulica.

Los defectos observados sobre los módulos de prueba antes de la exposición a los tratamientos de envejecimiento acelerado (coqueras, fisuras, desconchado de aristas o despuntados de esquinas), no aumentan por la acción del hielo o de los ciclos de humectación-secado, salvo en los módulos con baldosas de botones que, a su vez eran los que mayor proporción de defectos manifestaban originariamente. En general, en estas baldosas se detectan pérdidas del material que conforma el relieve, y esto se presenta en mayor medida por la acción de las heladas que por los ciclos de humectación-secado. En ambos casos, también se observa un aumento de la magnitud de los defectos iniciales.

Los resultados iniciales obtenidos, tras los análisis cromáticos, son indicativos de que no existen diferencias apreciables entre las dos zonas ensayadas sobre un mismo módulo.

Con respecto a las variaciones cromáticas producidas, por exposición a los distintos tratamientos de envejecimiento, se puede concluir que estas son prácticamente insignificantes durante los ciclos de humectación y secado. Sin embargo, en los ciclos de hielo-deshielo se produce una disminución importante de la intensidad de color de las baldosas con botones, rojas, antideslizantes. De igual modo, tras este tratamiento se observa que todas las tipologías de baldosas pierden luminosidad.

Por último se puede reseñar que en las baldosas monocapa se induce, mediante los ciclos de hielo-deshielo un ensuciamiento gradual, dado que su índice de amarillo inicial es superior al medido al final del tratamiento. De igual modo, los índices de blancura son indicativos de que las baldosas de tonalidad roja, botones y terrazo, van blanqueándose, especialmente las de botones en las que el índice de blancura final es, sensiblemente, más elevado que el inicial.

Los resultados iniciales obtenidos de adherencia, son indicativos de que las baldosas de terrazo en las que se ha empleado el mortero Tipo I presentan una tensión de adherencia muy superior, del orden del 70%, a las de las otras tres tipologías de baldosas con idéntico mortero. En cambio, ese comportamiento no se manifiesta con el mortero Tipo II, ya que aunque los resultados obtenidos sobre la baldosa de terrazo son los más elevados, las variaciones con el resto de baldosas son poco significativas.

Por lo que respecta a las calidades de los morteros, los valores de adherencia obtenidos con el mortero Tipo I duplican, como mínimo, los valores alcanzados con el mortero Tipo II, excepto en el caso de las baldosas de terrazo en el que, prácticamente, se cuadruplican.

Respecto al efecto de los tratamientos de envejecimiento aplicados, en todos los casos se ponen de manifiesto pérdidas significativas de la tensión de adherencia, que resultan especialmente llamativas en el caso de las baldosas monocapa, dado que se desprenden totalmente del soporte cuando son expuestas a la acción de los ciclos de hielo-deshielo.

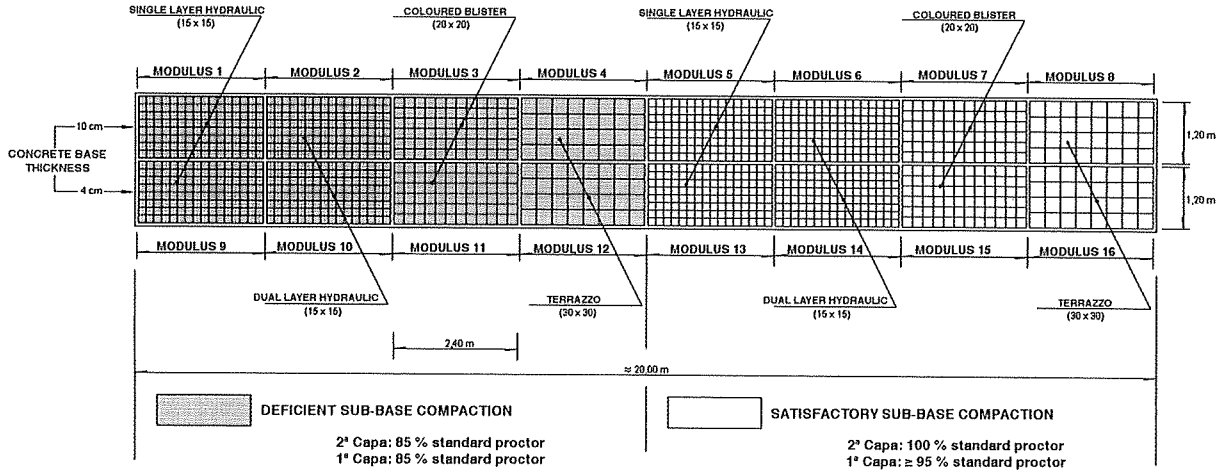
El caso opuesto lo presentan las baldosas de terrazo en las que ha sido utilizado el mortero Tipo I, ya que en estas se observa que las pérdidas de tensión de adherencia quedan muy minimizadas, del 8% al 20%. Para ambos tipos de envejecimiento, el resto de valores obtenidos se sitúan en un rango de disminución de la tensión de adherencia comprendido entre el 20% y el 50%, referidos a los respectivos valores iniciales de adherencia. No se observan diferencias significativas entre el comportamiento de las baldosas frente a uno y otro tipo de exposición, salvo para el citado caso de las baldosas monocapa.

Se ha construido en las instalaciones del Laboratorio Central de INTEMAC un tramo de prueba de 19,20 m de longitud, 1,20 m de anchura y 0,70 m de profundidad, formado por 16 subtramos de 2,40 x 1,20 m², resultantes de la combinación de las siguientes variables:

- 1.- Cuatro tipos de baldosas: monocapa, hidráulica, botones y terrazo
- 2.- Una calidad del mortero de fijación: TIPO II

The sub-sections were separated by 3-cm thick EPS (expanded polystyrene) panels sealed at the top with polyurethane.

The figures below give the plan and cross-sectional views of the sample walkway.



PLAN VIEW

Figure 7. Pavement (experimental walkway)

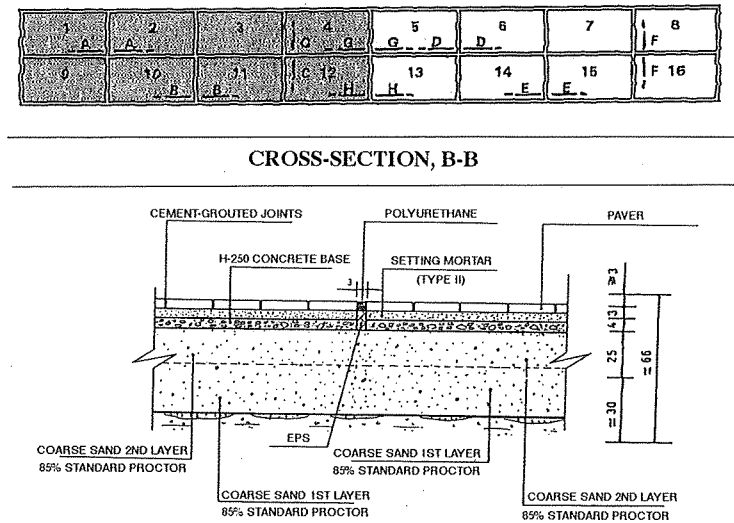


Figure 8. Sample walkway

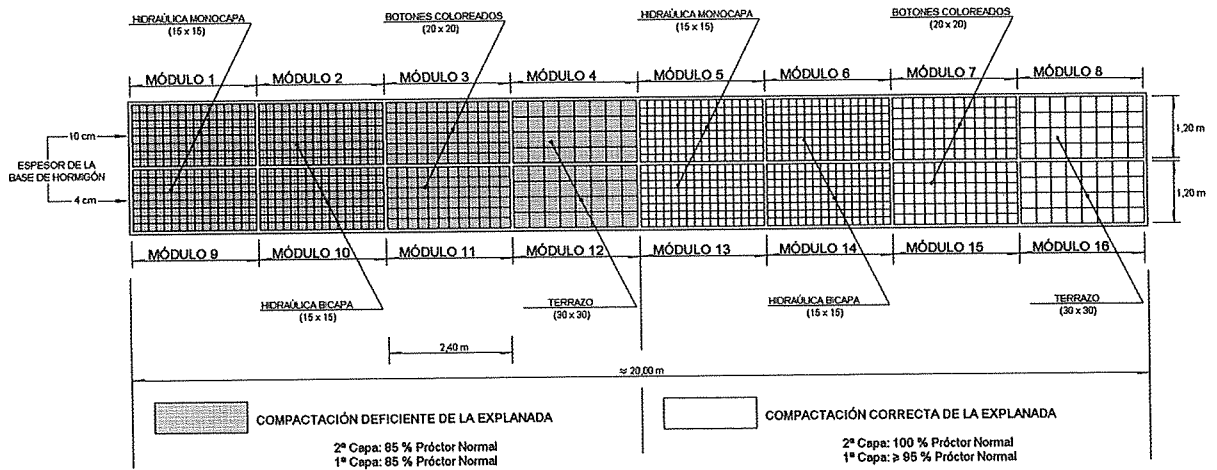
A shallow cavity measuring 20.20x3.50 m² by 75 cm deep on average had to be dug to reproduce the conditions required of the pavement. The depth depended on the existence of sufficiently stable and cohesive base soil to ensure a suitable foundation bed for the fills.

The excavation area was subsequently fitted to size as required.

- 3.- Dos espesores de la base de hormigón H-250: 4 cm y 10 cm
- 4.- Dos grados de compactación de la explanada: deficiente (85% P.N.) y correcto (100% P.N.)

Se aseguró la separación entre los distintos subtramos mediante planchas de porexpan de 3 cm de espesor, selladas superiormente con una masilla de poliuretano.

En las figuras siguientes, pueden apreciarse la planta y una sección transversal del tramo de prueba.



PLANTA

Figura 7. Pavimento (tramo experimental)

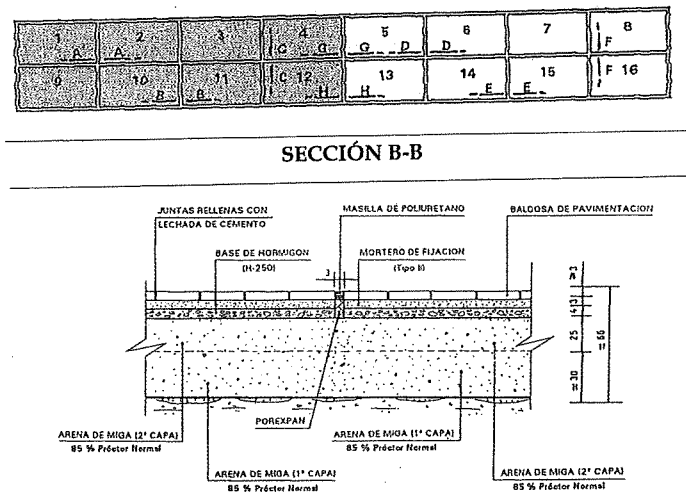


Figura 8. Tramo de prueba

Para la reproducción de las características exigibles al firme, ha sido necesaria la construcción de una excavación, en una superficie de, aproximadamente, 20,20x3,50 m² y una profundidad media de 75 cm, condicionando esta cota a la localización de un fondo de excavación suficientemente estable y cohesivo que garantizase una cimentación adecuada para los rellenos previstos.

Posteriormente, fueron ajustadas las superficies a las dimensiones definitivas mediante un cajado adecuado.

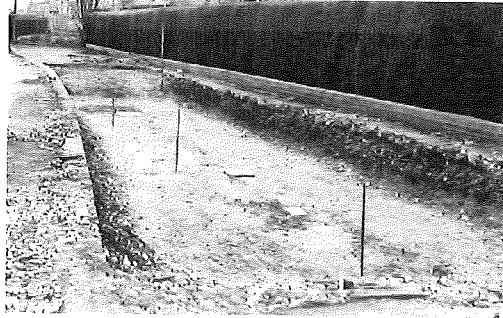


Figure 9. Excavation
Figura 9. Aspecto general de la excavación

The two layers of fill were spread and compacted to the pre-established proctor percentage. The satisfactory and deficient compaction areas were physically separated with a 3-cm thick EPS panel.

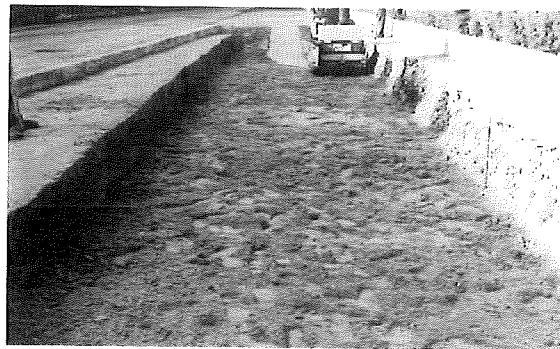


Figure 10. Compactation
Figura 10. Compactación

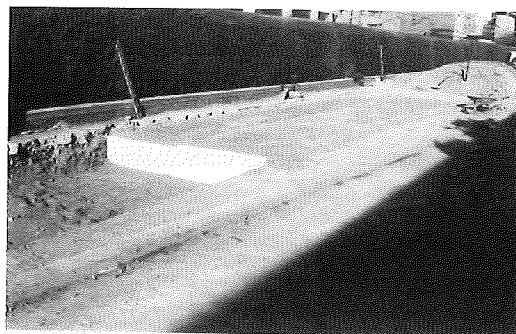


Figure 11. Area compacted to 100% proctor
Figura 11. Zona de compactación correcta

The top layer was subsequently smoothed and the fill levelled to its permanent status.

Sixteen rectangular steel frames, one for each sub-section, were then laid as forms for the concrete base. The concrete was cast, levelled off and covered with moist burlap and a protective plastic membrane for 7 days.

Se extendieron las dos capas del relleno, se compactaron hasta alcanzar el grado de compactación predeterminado separándose, físicamente, las zonas de compactación correcta y deficiente con una plancha de porexpan de 3 cm de espesor.

Terminada la compactación de las capas superiores, se procedió a un refinado y nivelación definitiva.

A continuación se dispuso un entramado metálico como encofrado del hormigón de base. Se vertió el hormigón y se enrasó. Se mantuvo cubierto con arpillera húmeda y plástico protector, manteniendo este curado durante 7 días.

A las 72 horas de curado, se retiró el encofrado y se colocaron unas planchas de porexpan que sirviesen de juntas entre subtramos.

A los 20 días del hormigonado, se procedió a la colocación de las baldosas en los diferentes subtramos, sobre una capa de mortero de agarre Tipo II.

Finalmente, se niveló el enlosado, se enlechó, se limpió y se sellaron las juntas con betún asfáltico del tipo 60/70.

Las figuras siguientes, muestran fotografías de este proceso.

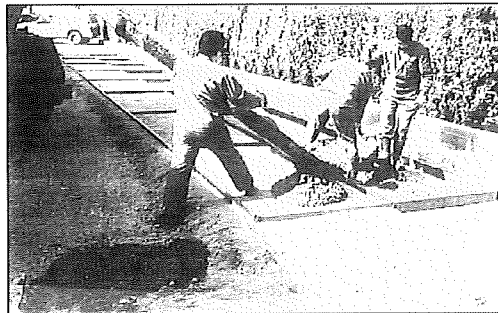


Figura 12. Vertido del hormigón
Figure 12. Concrete casting



Figura 13. Enlosado
Figure 13. Paver laying

The formwork was stripped after 72 hours and EPS panels were placed in between the sub-sections, where they acted as joints.

Twenty days after the concrete was cast, the pavers were laid in the sub-sections over a layer of Type II setting mortar.

The paving flags were then levelled and grouted and the joints cleaned and sealed with 60/70 type asphalt tar.

This process is depicted in the photographs below.



Figure 14. Grouting
Figura 14. Enlechado

The soil and concrete comprising the walkway were tested as outlined in the boxes below.

BOX 3
SOIL TEST

STANDARD PROCTOR

Optimal moisture (%)..... 12.2
Optimal density (gr/cm³)..... 1.92

ATTERBERG LIMITS

Liquid..... 29.6
Plastic..... 16.7
Plasticity..... 12.9
Fines content (%)..... 8.8

C.B.R

95% S.P..... 9.7
100% S.P..... 18.6

ORGANIC MATTER (%)..... NONE

CLASSIFICATION..... SUITABLE SOIL

BOX 4
DEGREE OF COMPACTION

COMPACTION	LAYER	MEAN
SATISFACTORY	1st	100
	2nd	102
DEFICIENT	1st	92
	2nd	89

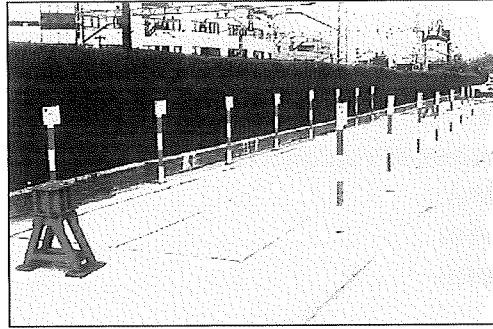


Figura 15. Aspecto general del tramo de pruebas
Figure 15. Sample walkway - overview

Sobre los materiales constituyentes del tramo de prueba, con excepción de los pavimentos, esto es, suelos y hormigones, se realizaron los ensayos cuyos resultados se recogen en las tablas siguientes.

TABLA 3
ENSAYOS DE SUELOS

PROCTOR NORMAL	
Humedad óptima (%).....	12,2
Densidad óptima (gr/cm ³).....	1,92
LÍMITES DE ATTERBERG	
Límite líquido.....	29,6
Límite plástico.....	16,7
Índice de plasticidad.....	12,9
Contenido de finos (%).....	8,8
ÍNDICES DE C.B.R	
95% P.N.	9,7
100% P.N.	18,6
MATERIA ORGÁNICA (%).....	NO CONTIENE
CLASIFICACIÓN.....	SUELO ADECUADO

TABLA 4
GRADOS DE COMPACTACIÓN

COMPACTACIÓN	CAPA	VALOR MEDIO
CORRECTA	1ª	100
	2ª	102
DEFICIENTE	1ª	92
	2ª	89

BOX 5
CONCRETE TEST

SLUMP TEST (cm)	9.0
MEAN DENSITY (gr/cm ³)	2.35
f _{c7} (MPa)	35.8
f _{c19} (MPa)	38.1
f _{c28} (MPa)	45.9

The sample walkway built, consisting of 16 sub-sections 2.40 m long by 1.20 m wide each, was designed to be able to assess the mechanical properties of walkways surfaced with four types of paving flags set over concrete bases of two thicknesses, in turn laid on two sub-base with different degrees of compaction.

A lightweight vehicle with a tare of 1 000 kg per axle was driven uniformly across the pavement a total of 1 200 times over a period of 4 months.

Surface flatness, levelling and deformability were assessed weekly, along with the "f" index referred to in standard ASTM E 1155.

The performance of these 16 sub-sections was quantified with a dynamic range analyser able to detect movements of 0.01 mm under a uniformly loaded forklift circulating at a speed of 5 km/h. The lift weighed 5 580 kg in all, with loads of 4 640 kg on the front and 940 kg on the rear axle. The tyre footprint was 210x170 mm² at the front and 130x135 mm² at the rear.

The methodology adopted is depicted in Figure 16.

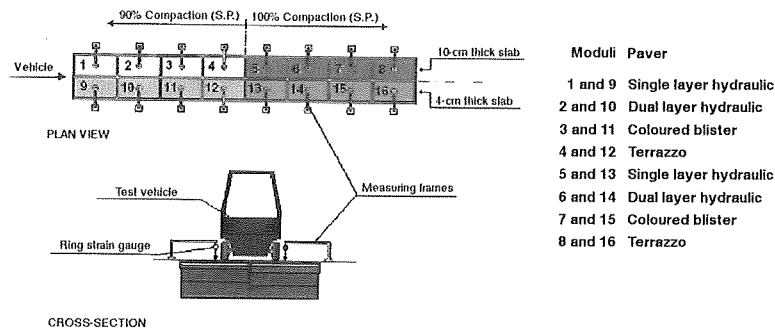


Figure 16. Methodology adopted

These measurements were taken with an apparatus attached to the top of the walkways, consisting of 16 ring strain gauges with a measuring range of 25 mm and a precision of 0.01 mm for deflection measurements.

The SAN-EI amplifiers used for data control and acquisition had a reading capacity of up to 32 strain gauge channels.

A total of 2000 readings per second and channel were taken.

The sampling rate was one measurement every 6 seconds in static trials.

Figures 17 to 20 depict the sample walkway, the displacement transducers, the forklift driven over the walkway and the data acquisition and control centre.

TABLA 5
ENSAYOS DE HORMIGONES

ASIENTO DE CONO (cm)	9,0
DENSIDAD MEDIA (gr/cm ³).....	2,35
f _{c7} (MPa).....	35,8
f _{c19} (MPa).....	38,1
f _{c28} (MPa).....	45,9

Con objeto de evaluar las características mecánicas de las aceras pavimentadas con 4 tipos distintos de baldosas, dos espesores de base de hormigón y dos compactaciones de la subbase, se dotó al tramo de prueba construido, formado por 16 subtramos de 2,40 m de longitud por 1,20 m de anchura, del necesario equipamiento.

Sobre los subtramos experimentales de firme definidos, se han efectuado 1.200 pasadas de un vehículo ligero de 1.000 Kg por eje de tara, uniformemente distribuidas durante 4 meses.

Con periodicidad semanal, se ha evaluado la evolución de la planeidad, nivelación y deformabilidad de la superficie del pavimento, así como la determinación del índice "f" a que hace referencia la norma ASTM E 1155.

El comportamiento de estos 16 subtramos se cuantificó con un equipo de rango dinámico capaz de apreciar movimientos de 0,01 mm al paso de una carretilla lastrada, siempre con la misma carga, circulando a una velocidad de 5 Km/h. El peso total de la carretilla era de 5.580 Kg, transmitiendo al eje delantero una carga de 4.640 Kg y al eje trasero una carga de 940 Kg. La huella del neumático delantero era de 210x170 mm² y la del neumático trasero de 130x135 mm².

En la Figura 16 puede observarse la metodología seguida.

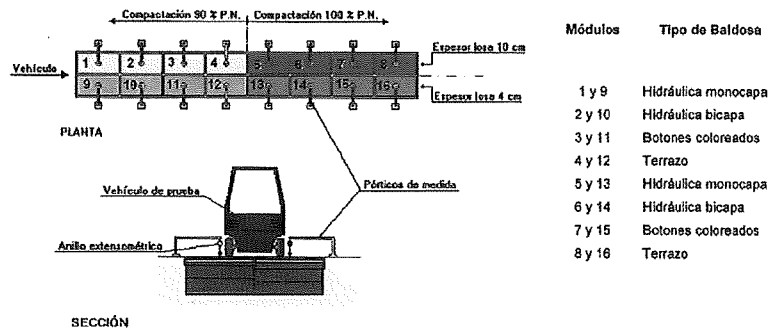


Figura 16. Metodología adoptada

Para la obtención de estas medidas se empleó un equipo que constaba de 16 anillos resistivos fijados a la cara superior de las aceras, de 25 mm de rango máximo de medida y una apreciación de de 0,01 mm para la medida de flechas.

El equipo de control y adquisición de datos estaba constituido por amplificadores tipo SAN-EI con una capacidad de lectura de hasta 32 canales de extensometría.

En cada registro se efectuaban 2.000 lecturas por segundo y por canal.

La velocidad de muestreo fue de una medida cada 6 segundos en las pruebas estáticas.

En las figuras 17 a la 20, pueden observarse el tramo de prueba, los transductores de desplazamiento, la carretilla desplazándose por el tramo de prueba y el equipo de adquisición y control.

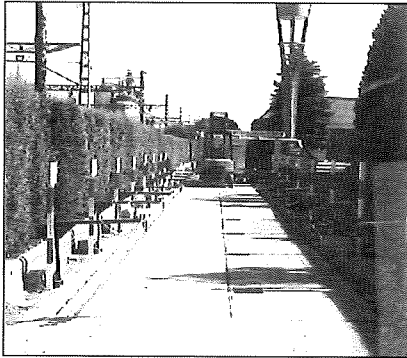


Figure 17. Sample walkway
Figura 17. Tramo de prueba

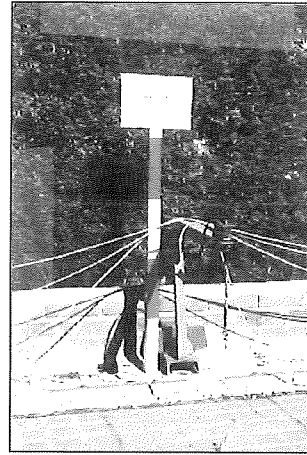


Figure 18. Displacement transducer
Figura 18. Transductor de desplazamiento

The software used for data acquisition, display and real time and post-trial graphic analysis of the records was developed by INTEMAC for the instrumental monitoring of static and dynamic structures.

The resolution of the instrument system as a whole depends on the scale used, which for medium or standard measuring scales can be established at 0.01 mm for ranges of up to 25 mm. All the information collected was stored for subsequent processing and analysis.

The instantaneous and residual deflection values reached were numerically analysed for each sub-section; in other words, for all the possible combinations of paver type, degree of sub-base compaction and concrete base thickness.

By way of example, Table 18 gives the maximum instantaneous deflection values recorded in two sub-sections with hydraulically pressed pavers and a 4-cm concrete base, one with a 90 % and the other with a 100 % compacted sub-base, after the forklift had been driven 0, 375, 735, 1 035 and 1 200 times over the structure. Table 19 shows the same data for a 10-cm thick concrete base.

TABLE 18
HYDRAULICALLY PRESSED PAVERS
BASE: 4 cm, concrete
SUB-BASE COMPACTION: 90 and 100% S.P.

No. OF FORKLIFT PASSES	DEFLECTION (mm)		DEFLECTION REDUCED BY (%)
	90%	100%	
0	0.20	0.12	40
375	0.23	0.13	43
735	0.19	0.10	47
1 035	0.22	0.12	45
1 200	0.42	0.24	43
MEAN			44

TABLE 19
 HYDRAULICALLY PRESSED PAVERS
 BASE: 10 cm, concrete
 SUB-BASE COMPACTION: 90 ang 100% S.P.

No. OF FORKLIFT PASSES	DEFLECTION (mm)		DEFLECTION REDUCED BY (%)
	90%	100%	
0	0.14	0.07	50
375	0.12	0.05	58
735	0.09	0.05	44
1 035	0.17	0.10	41
1 200	0.13	0.11	15
MEAN			42

No perceptible differences in the percentage of deflection reduced were observed between different paver types in the same pavement structure.

For that reason, the following discussion refers only to the findings for hydraulically pressed pavers which, as seen earlier, account for 74 % of Spanish walkway surfaces.

The data shown refer to the mean maximum instantaneous deflection recorded after the forklift had been driven 0, 375, 735, 1 035 and 1 200 times over the walkway.

TABLE 20
 HYDRAULICALLY PRESSED PAVERS
 REDUCTION OF MAXIMUM INSTANNEOUS DEFLECTION

BASE THICKNESS (cm)	SUB-BASE COMPACTION (%)	MEAN MAXIMUM INSTANTANEOUS DEFLECTION (mm)	REDUCTION (%)
4	90	0.25	44
	100	0.14	
10	90	0.13	42
	100	0.07	

Table 20 shows that for a 4-cm concrete base, a maximum 44 % reduction in deflection was attained by increasing compaction from 90 to 100 % of the S.P. The maximum reduction for a 10-cm base was 42 %.



Figura 19. Carretilla elevadora
Figure 19. Forklift

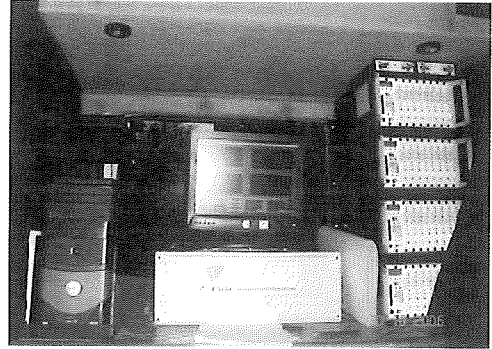


Figura 20. Equipo de adquisición y control
Figure 20. Acquisition and control centre

Los programas de toma de datos, visualización y análisis gráfico de los registros, tanto en tiempo real como con posterioridad a la prueba, han sido desarrollados por INTEMAC para la auscultación estática y dinámica de estructuras.

La resolución del sistema completo de instrumentación, es función de los fondos de escala utilizados que para rangos de medida medios o habituales pueden establecerse en 0,01 mm para rangos de hasta 25 mm. La totalidad de la información recogida fue archivada para su posterior proceso y análisis en gabinete.

Se han analizado, numéricamente, las flechas instantáneas y remanentes alcanzadas en cada uno de los subtramos del tramo de prueba, por lo tanto, para todas las combinaciones posibles de tipo de baldosa, grado de compactación de la subbase y espesor de la base de hormigón.

A título de ejemplo, en el Cuadro 18 se indican las flechas instantáneas máximas producidas en dos subtramos con pavimento de baldosa hidráulica, y base de hormigón de 4 cm, el primero con una subbase compactada al 90% y el segundo compactada al 100%, a las 0, 375, 735, 1.035 y 1.200 pasadas de la carretilla elevadora. Los datos del Cuadro 19 recoge esta misma información para un espesor de la base de hormigón de 10 cm.

CUADRO 18

BALDOSA HIDRÁULICA

BASE: 4 cm de hormigón

COMPACTACIÓN DE LA SUBBASE: 90 y 100% P.N.

NÚMERO DE PASADAS	FLECHA (mm)		REDUCCIÓN DE FLECHA (%)
	90%	100%	
0	0,20	0,12	40
375	0,23	0,13	43
735	0,19	0,10	47
1.035	0,22	0,12	45
1.200	0,42	0,24	43
VALOR MEDIO			44

CUADRO 19
BALDOSA HIDRÁULICA
BASE: 10 cm de hormigón
COMPACTACIÓN DE LA SUBBASE: 90 y 100% P.N.

NÚMERO DE PASADAS	FLECHA (mm)		REDUCCIÓN DE FLECHA (%)
	90%	100%	
0	0,14	0,07	50
375	0,12	0,05	58
735	0,09	0,05	44
1.035	0,17	0,10	41
1.200	0,13	0,11	15
VALOR MEDIO			42

Se ha observado que no existían diferencias apreciables en los porcentajes de reducción de los movimientos verticales, al comparar, para una misma tipología estructural del firme, distintos tipos de pavimentos de baldosas.

Por ello, en lo que sigue, solamente vamos a referirnos a los resultados obtenidos para las baldosas hidráulicas que, como hemos justificado, constituyen el pavimento del 74% de las aceras españolas.

Los datos que, a continuación exponemos se refieren a las medias de las flechas instantáneas máximas obtenidas para 0, 375, 735, 1.035 y 1.200 de la carretilla elevadora.

CUADRO 20
BALDOSA HIDRÁULICA
REDUCCIÓN DE FLECHAS INSTANTÁNEAS MAXIMAS

ESPESOR BASE (cm)	COMPACTACIÓN SUBBASE (%)	MEDIA DE FLECHAS INSTANTÁNEAS MÁXIMAS (mm)	REDUCCIÓN (%)
4	90	0,25	44
	100	0,14	
10	90	0,13	42
	100	0,07	

En el Cuadro 20, puede observarse que, para un espesor de 4 cm de la base de hormigón, la reducción de las flechas máximas al aumentar la compactación del 90 al 100% del P.N., es del 44%, siendo del 42% la reducción cuando el espesor de la base era de 10 cm.

TABLE 21
HYDRAULICALLY PRESSED PAVERS
REDUCTION OF MAXIMUM INSTANNEOUS DEFLECTION

SUB-BASE COMPACTION (cm)	BASE THICKNESS (%)	MEAN MAXIMUM INSTANTANEOUS DEFLECTION (mm)	REDUCTION (%)
90	4	0.25	48
	10	0.13	
100	4	0.14	47
	10	0.07	

Similarly, Table 21 shows that for 90 % compaction, deflection was reduced by a maximum of 48 % when a 10-cm instead of a 4-cm base was used, whereas the reduction at 100 % compaction was 47 %.

The same result was observed in all the sub-sections: increasing the base thickness induced much the same effect as enhancing the degree of sub-base compaction.

On a real scale, however, the cost of these two actions is obviously very different.

A much larger reduction was observed when the two extreme variables were compared: i.e., deflection was 69.8 % lower with an optimal quality 10-cm base laid on a 100 % compacted sub-base than with a low quality 4-cm base laid on a 90 % compacted sub-base.

MAXIMUM DEFLECTION 1 200 PASSES
 SUB-BASES: 90 and 100% S.P. BASES: 4 and 10 cm
 SURFACE: HYDRAULICALLY PRESSED PAVERS

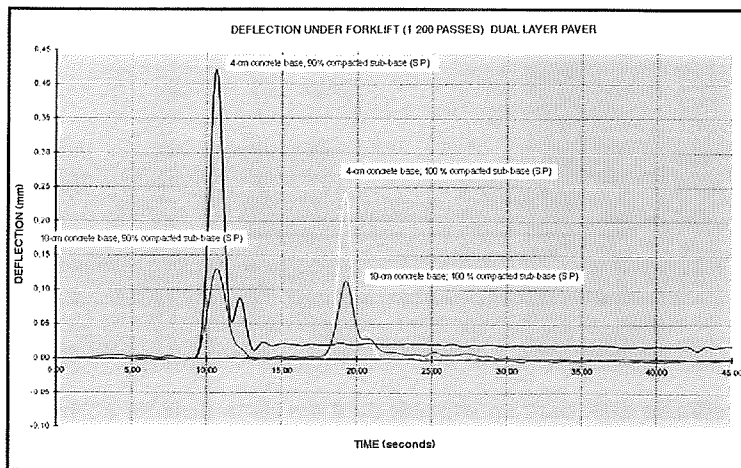


Figure 21

Figure 21 plots the maximum deflection, in mm, for hydraulic pavers, against time in seconds, as the forklift was driven over the pavement for the 1200th time. The data compare 4- and 10-cm bases and sub-bases with 90 and 100 % S.P. compaction.

CUADRO 21
BALDOSA HIDRÁULICA
REDUCCIÓN DE FLECHAS INSTANTÁNEAS MÁXIMAS

COMPACTACIÓN SUBBASE (cm)	ESPESOR BASE (%)	MEDIA DE FLECHAS INSTANTÁNEAS MÁXIMAS (mm)	REDUCCIÓN (%)
90	4	0,25	48
	10	0,13	
100	4	0,14	47
	10	0,07	

Análogamente, en el Cuadro 21 puede observarse que, para un grado de compactación de la subbase del 90% P.N., la reducción de las flechas máximas al aumentar el espesor de 4 a 10 cm, es del 48%, siendo del 47% cuando el grado de compactación de la subbase era del 100%.

En todos los subtramos se ha obtenido el mismo resultado: conduce a una similar reducción de los movimientos verticales el aumentar el espesor de la base que el aumentar el grado de compactación de la subbase.

Evidentemente, a escala real ambas actuaciones tienen costes muy diferentes.

Comparando las situaciones extremas, esto es, una mínima calidad del firme con 4 cm de espesor de la base y una compactación de la subbase del 90% del P.N., con una óptima calidad del mismo con 10 cm de espesor de la base de hormigón y una compactación de la subbase del 100% del P.N., se produce una reducción e movimientos verticales del 69,8%.

FLECHAS MÁXIMAS 1.200 PASADAS
SUBBASES: 90 y 100% P.N. BASES: 4 y 10 cm
PAVIMENTO: BALDOSAS HIDRÁULICAS

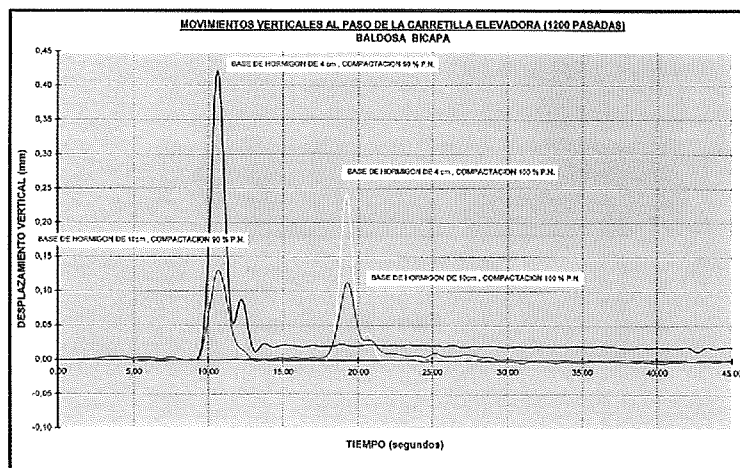


Figure 21

En la Figura 21, se representan, para las baldosas hidráulicas, los movimientos verticales máximos, en mm, con el tiempo, en segundos, al paso de la carretilla elevadora a las 1.200 pasadas, para bases de hormigón de de 4 y 10 cm, y porcentajes de compactación de la subbase del 90 y del 100%.

MAXIMUM DEFLECTION
 SUB-BASES: 90 and 100% S.P. BASES: 4 and 10 cm
 SURFACE: HYDRAULICALLY PRESSED PAVERS
 NUMBER OF PASSES: 0 to 1000

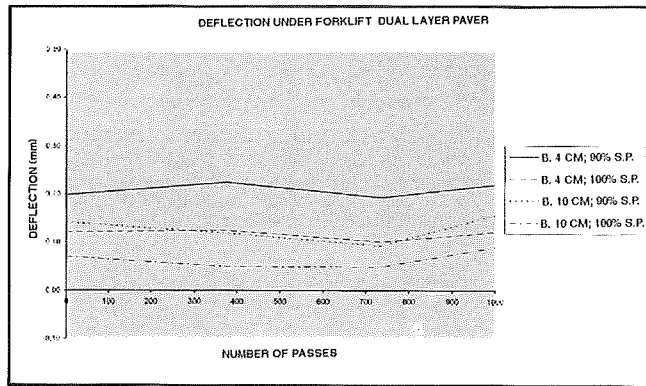


Figure 22

The maximum deflection values for the four possible pavement combinations analysed in this walkway are plotted in Figure 22 against the number of times the forklift was driven over the test section, from 0 to 1000.

MAXIMUM DEFLECTION
 SUB-BASES: 90 and 100% S.P. BASES: 4 and 10 cm
 SURFACE: HYDRAULICALLY PRESSED PAVERS
 NUMBER OF PASSES: 0 to 1200

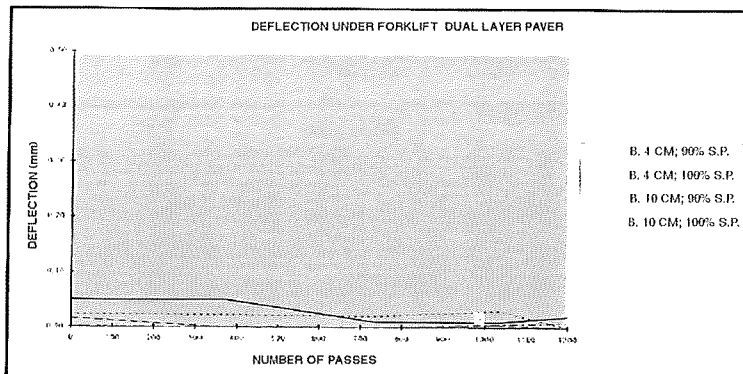


Figure 23

Finally, the residual deflection measured for each of the structural packages studied is plotted against the number of forklift passes in Figure 23.

An analysis of the findings in this study on cement bound walkway paving flags leads to the following conclusions with respect to the materials used.

- 1.- When compared to the requirements laid down in the applicable codes, the results of the tests on the pavers studied here, initially representative of the materials ordinarily used to surface walkways, showed that with the exception of the terrazzo flags, these cement bound pavers are unsuitable for use in outdoor environments.

FLECHAS MÁXIMAS
SUBBASES: 90 Y 100% P.N. BASES : 4 Y 10 CM
PAVIMENTO: BALDOSAS HIDRÁULICAS
NÚMERO DE PASADAS: 0 A 1.000

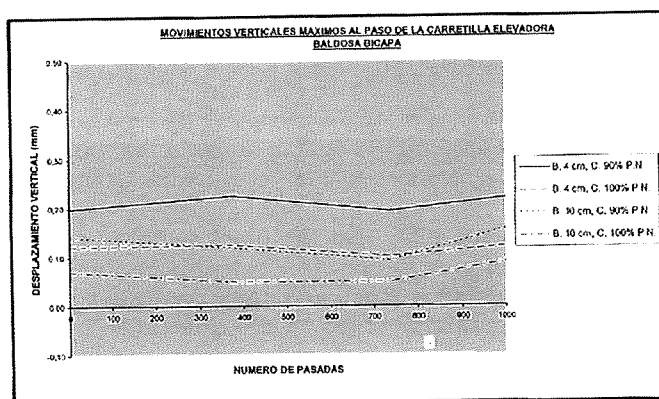


Figura 22

Para cada una de las cuatro combinaciones posibles de firme estructural que venimos analizando, en la Figura 22, se representan los movimientos verticales máximos, en mm, en función del número de pasadas de 0 a 1.000.

FLECHAS REMANENTES
SUBBASES: 90 y 100% P.N. BASES: 4 y 10 cm
PAVIMENTO: BALDOSAS HIDRÁULICAS
NÚMERO DE PASADAS: 0 a 1.200

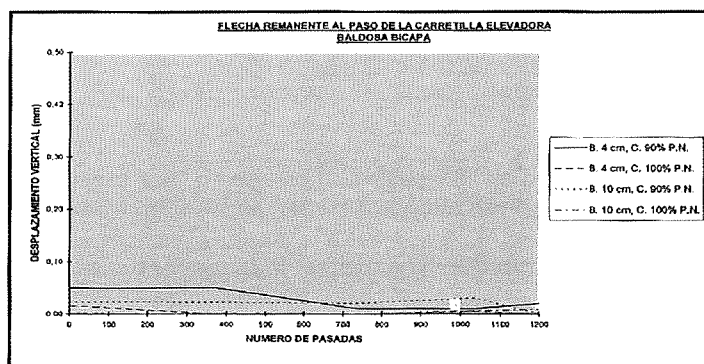


Figura 23

Finalmente, en la Figura 23, se representa la evolución, con el número de pasadas, para cada uno de los tipos del paquete estructural considerado, de la flecha remanente medida.

Del análisis de los resultados obtenidos en esta investigación sobre la pavimentación de aceras con baldosas de cemento, pueden establecerse las siguientes conclusiones en lo que se refiere a los materiales empleados.

- 1.- Los resultados obtenidos en los ensayos de investigación y caracterización de las baldosas empleadas en la investigación, al ser evaluados respecto a los requisitos por la normativa de aplicación, son indicativos de que las baldosas de cemento empleadas, representativas a priori de los materiales usualmente empleados en la pavimentación de aceras, son inadecuadas para su uso en pavimentación exterior urbana, salvo en lo relativo a la baldosa de terrazo ensayada, que sí resulta apta para el citado empleo

- 2.- The statistical studies conducted in 2000 and 2004, respectively on the results of 15 374 tests on the cement bound pavers used in Madrid between 1996 and 2000, and on the results of 12 554 tests run in the period 2000-2004, revealed the poor quality of the hydraulically pressed concrete pavers used to surface walkways in Spanish cities.

This conclusion is consistent with the findings of the statistical study conducted in 2003 on the results of Quality Control Department tests performed on cement bound pavers used to surface walkways in Madrid between 1999 and 2003.

- 3.- The findings for the paving flags after accelerated ageing showed that both wet-dry and freeze-thaw cycles induced a substantial decline in bending strength in dual layer hydraulically pressed concrete pavers.
- 4.- The values observed for both treatments infer that the most sensitive parameter for evaluating possible paving flag degeneration due to wet-dry or freeze-thaw cycles is bending strength with an axially loaded outer side, for it establishes which material is most vulnerable to these aggressive actions. The same behaviour was recorded for blister and terrazzo pigmented pavers when analysed for outer side water absorption. None of these criteria proved to be applicable to high porosity, low quality pavers.
- 5.- The slip resistance coefficient, SRC, values were the same or only slightly lower than the initial measurements after ageing.
- 6.- The flaws observed on the test moduli prior to accelerated ageing (bug holes, fissures, edge scaling and nicked corners) were not worsened by frost or the wet-dry cycles except in the blister pavers, whose outer side relief was worn away altogether in some cases.
- 7.- The colour variations observed after wet-dry cycle ageing were practically insignificant.

After the freeze-thaw procedure, however, colour intensity declined significantly in the red, anti-slip blister pavers. Moreover, all the pavers showed a decline in lightness after this ageing treatment, which induced gradual soiling in the single layer pavers.

- 8.- The ultimate bending strength values found for Type I mortar were double or more the strength found with Type II, and in terrazzo the former nearly quadrupled the latter.
- 9.- According to the pre-ageing bond strength results, the terrazzo pavers with Type I mortar exhibited on the order of 70 % higher bond stress than the other three types of pavers laid in the same mortar.
- 10.- Bond strength declined significantly in all the pavers after ageing, but especially in the single layer materials, which became detached from the base altogether when exposed to freeze-thaw cycles.

The following conclusions can be drawn from the dynamic test findings for the sample walkway.

- 1.- For the same paver type and concrete base thickness, better sub-base compaction reduced the maximum deflection recorded, in the least favourable case, by approximately 44 %. No perceptible differences were observed between paver types in this respect.
- 2.- For the same paver type and degree of compaction, a thicker concrete base reduced the maximum deflection recorded, in the least favourable case, by approximately 48 %. No perceptible differences were observed between paver types in this respect.
- 3.- In light of the aforementioned findings, enhancing sub-base compaction can be said to induce the same effect in pavement deflection as increasing concrete base thickness. In other words, the end result is unaffected by the choice of one or the other improvement.

This conclusion is the more significant given the very high quality, 45.9 MPa, of the 28-day characteristic strength of the base concrete used, for increasing the thickness of such a high strength concrete should yield much better results with that option.

- 2.- Los Estudios Estadísticos que se realizaron en 2000 y 2004 sobre los resultados obtenidos en los 15.374 ensayos realizados sobre las baldosas de cemento utilizadas en las pavimentaciones construidas por el Ayuntamiento de Madrid entre 1996 y 2000, y sobre los resultados de los 12.554 ensayos correspondientes al periodo 2000 – 2004, respectivamente, han puesto de manifiesto la baja calidad de las baldosas hidráulicas empleadas en la pavimentación de las aceras de nuestras ciudades.

Esta conclusión es concordante con las conclusiones del Estudio Estadístico realizado en 2003 sobre los resultados de los ensayos realizados, a través del Control de Calidad, en las baldosas de cemento utilizadas en las obras de pavimentación realizadas por el Ayuntamiento de Madrid, durante el periodo 1999-2003.

- 3.- Los resultados sobre las baldosas tras su exposición a tratamientos de envejecimiento acelerado, permiten establecer que en las baldosas bicapa, tanto los ciclos de humectación-secado como los de hielo-deshielo, suponen una merma considerable en la resistencia a flexión del material hidráulico.
- 4.- De los valores obtenidos en ambos tratamientos se puede deducir que el parámetro más sensible para evaluar la posible degradación de las baldosas ocasionada por ciclos alternos de humedad y secado, o por la acción de las heladas, es la resistencia a flexión con la cara vista en tracción, que pone de manifiesto cual es la tipología del material que presenta una mayor susceptibilidad frente a ambos tipos de agresiones. Este mismo comportamiento se pone de manifiesto en las baldosas con pigmentos, botones y terrazo, cuando se analiza la evolución de la absorción de agua por la cara vista. Ninguno de estos criterios resulta aplicable a baldosas de elevada porosidad y baja calidad.
- 5.- Los valores del coeficiente de resistencia al deslizamiento, CRD, son iguales o muy ligeramente inferiores después de los envejecimientos, respecto a las medidas iniciales.
- 6.- Los defectos observados sobre los módulos de prueba antes de la exposición a los tratamientos de envejecimiento acelerado, coqueas, fisuras, desconchados de aristas o despuntados de esquinas, no aumentan por la acción del hielo o de los ciclos de humedad y secado, salvo en los módulos ejecutados con baldosas de botones, que, en ciertos casos, pierden íntegramente algunos de estos resaltos en el relieve de la cara vista.
- 7.- Con respecto a las variaciones cromáticas producidas por exposición a los distintos tratamientos de envejecimiento, se puede concluir que éstas son, prácticamente, insignificantes durante los ciclos de humedad y secado.

Sin embargo, en los ciclos de hielo-deshielo, se produce una disminución importante de la intensidad de color de las baldosas antideslizantes, con botones y rojas. De igual modo, tras este tratamiento se observa que todas las tipologías de baldosas pierden luminosidad y, además, en las baldosas monocapa, se induce un claro ensuciamiento gradual.

- 8.- Por lo que respecta a la influencia de la calidad del mortero en la adherencia de las baldosas al soporte, los valores de la tensión de rotura obtenidas con el mortero Tipo I, duplican, como mínimo, los valores de adherencia alcanzados con el mortero Tipo II, excepto en el caso de las baldosas de terrazo, en el que, prácticamente, se cuadruplican.
- 9.- Los resultados de adherencia inicial obtenidos antes de la exposición a los tratamientos de envejecimiento son indicativos de que las baldosas de terrazo en las que se ha empleado el mortero Tipo I presentan una tensión de adherencia muy superior, del orden del 70%, a las de las otras tres tipologías de baldosas con idéntico mortero.
- 10.- Respecto a los tratamientos de exposición aplicados, en todos los casos se ponen de manifiesto pérdidas significativas de la tensión de adherencia, que resultan especialmente llamativas en el caso de las baldosas monocapa, dado que se desprenden totalmente del soporte cuando son expuestas a la acción de los ciclos de hielo-deshielo.

Del análisis de los resultados obtenidos en los ensayos dinámicos realizados sobre las secciones tipo de firmes de aceras, se desprenden las siguientes conclusiones:

- 1.- Para el mismo tipo de baldosas e igual espesor de la base de hormigón, la mejor compactación de la subbase supone la disminución del movimiento vertical máximo registrado en, el caso más desfavorable, en un 44%, aproximadamente, no existiendo diferencias apreciables en el porcentaje de reducción al comparar distintos tipos de baldosas.

4.- For a given paver type, where sub-base compaction and concrete base thickness were improved simultaneously, the maximum deflection recorded, in the least favourable case, declined by approximately 60-70 %. No perceptible differences were observed between paver types in this respect.

5.- The conclusion to be drawn from the foregoing is that paving flag type has no impact on walkway pavement deflection.

Moreover, although improving compaction or increasing the concrete base thickness entailed the same benefit in terms of reducing deflection, the greatest improvement in pavement performance was obtained when the highest sub-base compaction was combined with the thickest base.

6.- When under-walkway services are newly installed or upgraded, they should be positioned at a sufficient depth to allow for 100 % S.P. sub-base compaction without harming any of the services involved. Under those conditions, the concrete base may be slimmed or even eliminated altogether, with the concomitant savings in pavement costs.

7.- In the aforementioned assumption, the savings would be extended to future operations involving walkway removal and replacement to enlarge, upgrade or repair existing services.

8.- Where services are housed under walkways, the thickness of the concrete base should not be reduced until 100 % S.P. compaction can be shown not to affect such services. Otherwise, it is not advisable to reduce the thickness of the concrete base which, while scantily effective as a structural element of the pavement, would protect the services underneath.

The recommendations for future research along these lines are set out below.

1.- The statistical study conducted by the City of Madrid's Works Area in 1997 on the results of over 12 000 trials run on cement bound pavers used in municipal works between 1999 and 2003, together with the findings of the present research, revealed the poor quality of the hydraulically pressed concrete paving flags used to surface Spanish walkways.

After 1999, Spanish codes UNE 127001 to 127007, applicable to this material, were replaced by European standards, specifically Spanish and European code UNE-EN 1339: 2004. This text, which constituted a significant improvement in the definition of cement bound paver quality, established the concept of "class" for dimensions, diagonals, ultimate load, bending strength and abrasion and weather resistance. In addition, pavers are identified in the code in terms of number of layers, surface finish, format and colour, and in terrazzo, outer layer thickness.

Since this is a harmonised code, however, AENOR, the Spanish association for standardisation and certification, laid down certain minimum standards in Spanish code UNE 127339: 2007, based on the European code, to regulate requirements, testing methods and cement bound paving flag supply and acceptance conditions in Spain.

In this author's opinion, this new code backslides on the provisions of UNE-EN 1339: 2004, inasmuch as it establishes minima for the following conditions only:

1.- Weather resistance: compliance with the requirement for Class 2, marking Type B only.

2.- Durability: compliance with the requirement for Class 2, marking G only.

3.- Slip resistance: compliance with a USRV of over 45.

Similar remarks could be made in connection with the supply and acceptance conditions.

Future lines of research might, then, be geared to analysing how end product quality is affected by the characteristics not assessed in code UNE 127339: 2007 but addressed in code UNE-EN 1339: 2004.

2.- New lines of research might also include an analysis of the effect of the environmental conditions prevailing in Spanish provinces on the loss of colour in pigmented cement bound pavers over time.

- 2.- Para el mismo tipo de baldosa e igual grado de compactación, el mayor espesor de la base de hormigón, supone la disminución del movimiento vertical máximo registrado, en el caso más desfavorable, en un 48%, aproximadamente, no existiendo diferencias apreciables en el porcentaje de reducción al comparar distintos tipos de baldosas.
- 3.- A la vista de los datos anteriores, puede afirmarse que mejorar la compactación de la subbase o bien aumentar el espesor de la base de hormigón, produce igual mejora en el comportamiento del firme de la acera ante los movimientos verticales, siendo indiferente aplicar una u otra mejora en cuanto al resultado final.

Esta conclusión es, todavía, más significativa si se tiene en cuenta la elevadísima calidad, 45,9 MPa, de resistencia característica a los 28 días, del hormigón empleado como base, ya que el incremento de espesor, con esta elevada resistencia, debería producir unos resultados mucho más ventajosos para esta opción.

- 4.- Para el mismo tipo de baldosa, mejorar la compactación de la subbase unido a aumentar el espesor de la base de hormigón de 4 a 10 cm, supone la disminución del movimiento vertical máximo registrado, en el caso más desfavorable, en torno del 60-70%, aproximadamente, no existiendo diferencias apreciables en el porcentaje de reducción al comparar los distintos tipos de baldosas.
- 5.- De todo lo anterior se puede concluir que, utilizar uno u otro tipo de baldosa, no supone una mejora en el comportamiento del firme de la acera ante los movimientos verticales.

Además, mejorar la compactación o aumentar el espesor de la base de hormigón conlleva igual beneficio en el comportamiento del firme ante los movimientos verticales, siendo indistinto aplicar una u otra medida, obteniéndose, por supuesto, la mayor mejora en el comportamiento del firme al combinar la mejor compactación de la subbase con un aumento del espesor de la base.

- 6.- Siempre que con la construcción del firme de las aceras se proceda a la instalación o a la renovación de los servicios instalados debajo de las mismas, deberán instalarse estos lo suficientemente profundos para que pueda compactarse la subbase al 100% del P.N. sin causar daños a ningún servicio. Seguidamente se reducirá el espesor de la base de hormigón, llegándose incluso a eliminar esta base, con el consiguiente beneficio económico en el coste del firme.
- 7.- En el supuesto anterior, el referido beneficio económico se extiende, también, a las futuras aperturas y renovaciones del firme motivadas por la ampliación, renovación o reparación de los servicios existentes.
- 8.- En aquellos casos en los que se mantengan los servicios instalados bajo las aceras, deberá comprobarse, antes de reducir el espesor de la base de hormigón, si alcanzar el citado grado de compactación del 100% del P.N. puede afectar a los citados servicios. En este caso no sería aconsejable la reducción del espesor de la base de hormigón ya que en este caso actuaría como protectora de estos servicios, aunque su función como elemento estructural del firme fuera escasa.

Una vez concluida la investigación, pueden indicarse las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones:

- 1.- El Estudio Estadístico realizado por el Área de Obras del Ayuntamiento de Madrid en 1997, sobre los resultados de los más de 12.000 ensayos realizados sobre baldosas de cemento, desde 1999 hasta 2003, en las obras realizadas por este Ayuntamiento, así como los resultados obtenidos a lo largo de esta investigación, han puesto de manifiesto la baja calidad de las baldosas hidráulicas empleadas en la pavimentación de las aceras de nuestras ciudades.

A partir de 1999, se fueron sustituyendo las normas UNE 127001 a 127007 aplicables a este material, para acomodarse a la normativa europea, lo que se consiguió con la aprobación de la norma UNE-EN 1339: 2004, que supuso un gran avance en lo relativo a las especificaciones definitivas de la calidad de las baldosas de cemento, al establecer el concepto de "Clase", para las dimensiones, diagonales, carga de rotura, resistencia a flexión, y resistencia al desgaste por abrasión y climática. La identificación se completaba con los datos relativos al número de capas, al acabado superficial, al formato y al color, y en el caso de los terrazos al espesor de la capa de huella.

No obstante, al tratarse de una norma armonizada, AENOR estableció, mediante la norma UNE 127339: 2007, unas prescripciones de mínimos, en el marco de la UNE-EN 1339: 2004, regulando los requisitos, métodos de ensayo y condiciones de suministro y recepción de las baldosas de cemento en España.

3.- The total elimination of concrete in walkways, as in other countries, would simplify maintenance and conservation enormously and reduce costs very substantially.

Analysing pavements for walkways 20 to 30 cm thick consisting of a capping layer, a 100 % compacted soil sub-base, a Type I setting mortar and cement bound paver surfacing might constitute yet another line of research.

ACKNOWLEDGEMENTS

I wish to express my gratitude to Pedro López Sánchez, Testing Materials Manager of INTEMAC'S Central Laboratory, and Jorge Ley Urzáiz, Head of INTEMAC's Central Laboratory, for their assistance with the trials described.

A nuestro juicio, esta nueva norma supone un retroceso sobre lo establecido en la UNE-EN 1339: 2004 al establecer, solamente, las mínimas condiciones siguientes:

- 1.- Resistencia climática: cumplimiento, exclusivamente, del requisito de Clase 2, marcado B.
- 2.- Durabilidad de uso: cumplimiento, exclusivamente, del requisito de Clase 2, marcado G.
- 3.- Resistencia al deslizamiento-resbalamiento: cumplimiento de un índice USRV superior a 45.

Análogas reflexiones podrían indicarse en cuanto a las condiciones de suministro y recepción.

Consideramos, por tanto, que podrían establecerse futuras líneas de investigación para analizar la influencia que sobre la calidad del producto final tienen las características no evaluadas en la UNE 127339: 2007, que sí estaban consideradas en la UNE-EN 1339: 2004.

- 2.- Nuevas líneas de investigación pueden iniciarse analizando la influencia de las condiciones ambientales, en las diferentes provincias españolas, en la pérdida a lo largo del tiempo, de las características cromáticas en las baldosas de cemento coloreadas.
- 3.- La total supresión de la base de hormigón en las aceras, como ocurre en otros países, simplificaría, enormemente, las tareas de mantenimiento y conservación, y reduciría, de forma muy sensible los costes.

Analizar firmes para aceras constituidos por una explanada mejorada, una subbase de suelo adecuado compactado al 100% P.N., de 20 a 30 cm de espesor, un mortero de agarre del Tipo I y, finalmente, un pavimento de baldosa de cemento, podría constituir otra.

Por último, desearía expresar mi agradecimiento a D. Pedro López Sánchez, director del Área de Ensayo de Materiales de Intemac y a D. Jorge Ley Urzáiz, director del Laboratorio Central de Intemac por su colaboración en la realización de los ensayos descritos.

Relación de Personal Titulado de INTEMAC

Arquitectos

Benito Díez, María Pilar
Fernández Sáez, Ana María
Fraile Mora, Serafín
González Balseyro, María José
Luzón Cánovas, José M^a
Nieto Esteban, Eva
Sánchez Arroyo, Jesús M^a
Sicilia Mañá, Beatriz
Vergara Pérez, Carlos

Ingenieros Aeronáuticos

Alonso Gordo, Ana
Hernández Pamplona, Juan Vicente
* París Loreiro, Angel
Moreno Toriz, Juan José

Ingenieros de Caminos

Baena Alonso, Eva
* Barrios Corpa, Jorge
Barrios Corpa, Roberto
* Calavera Ruiz, José
Calderón Bello, Enrique
Castillo Fernández, Luis Javier
Corbacho Vicioso, José Angel
Cortés Bretón, Juan María
De la Cuerda del Olmo, Francisco Javier
De la Fuente Gómez, Ana Isabel
Dávila Sánchez-Toscano, Suyapa
* Díaz Heredia, Elena
Díaz Lorenzo, Lucía
Díaz Lozano, Justo
Díaz Pavón Cuaresma, Eduardo
* Fernández Gómez, Jaime Antonio
Fernández Montes, David Constantino
García Oliva, Miriam
García de Diego Cano, Eva María
Gómez Mariño, Cristina
González González, Juan José
* González Valle, Enrique
* Hostalet Alba, Francisco
* Izquierdo Bernaldo de Quirós, José M^a
Jiménez Ortiz, Gonzalo
León Bello, Raúl
* Ley Urzaiz, Jorge
López Dormal, Mariano
Menéndez Martínez, Laura
Misol Moyano, Carolina
Pérez García, Noemí
* Rodríguez Escribano, Raúl Rubén
* Rodríguez Romero, Jesús M^a
Rueda Contreras, Jorge Ladislao
Ruiz Jiménez-Alfaro, Felipe
Sanz Pérez, Lorenzo
Tapia Menéndez, José
Torre Cobo, María Carmen

Valdés Fernández de Alarcón, Pablo
Villanueva Ramírez, Santiago

Ingeniero en Cartografía y Geodesia

López-Canti Casas, Elisa

Ingenieros Civiles

Almeida da Silva, Pedro Miguel
Teixeira Martins, Hermano Tiago

Ingenieros Geólogos

Catalán Navarro, Antonio

Ingeniero I.C.A.I.

Marín Estévez, Gonzalo

Ingenieros Industriales

* Alvarez Cabal, Ramón Amado
Argüelles Galán, Manuel
Arroyo Arroyo, José Ramón
Bayonne Sopo, Enrique
Borraz López, Alfonso
De la Cruz Morón, Diego
Estrada Gómez, Rafael
Gasca Martínez, Antonio
González Carmona, Manuel
Ibañez Mayayo, Miguel
Liébana Ramos, Miguel Angel
López de Asiaín Gamazo, Leticia Teresa
Mainar Durán, Alejandro
Martos Ojanguren, Víctor
Pou Esquiús, Carles
Ramírez de la Pinta, Rubén
Suárez Fernández, Antonio
* Valenciano Carles, Federico

Ingeniero de Minas

Ramos Sánchez, Adelina

Ingeniero de Montes

Carrillo Bobillo, Oliva

Dra. en Geografía e Historia

Calavera Vayá, Ana María

Licenciada en Administración y Dirección de Empresas

Perales Gómez, Natalia

Licenciado en Ciencias Ambientales

Gil Esteban, Luis Miguel

Licenciado en C. Económicas y Empresariales

González Chavero, Antonio

Licenciado en Ciencias Físicas

Salas Roa, Luis David

Licenciada en Ciencias Políticas y de la Administración

Estébanez Morer, Ana María

Licenciados en Ciencias Químicas

Grandes Velasco, Sylvia María

López Sánchez, Pedro

Morgado Sánchez, José Carlos

Licenciado en Derecho

Jarillo Cerrato, Pedro

Licenciados en Geología

Blanco Zorroza, Alberto

Casado Chinarro, Alejandro

Catalán Navarro, Antonio

Lara Avila, Carlos

López Velilla, Oscar

Martín López, Jesús Heliodoro

Usillos Espín, Pablo

Licenciada en Filología Hispánica

Valentín Sierra, M^a Consuelo

Licenciada en Psicología

Catalá Pellón, Diana

Master of Science in Civil Engineering

Hooendoorn, Peter Paul

Arquitectos Técnicos

Carrato Moñino, Rosa M^a

Díaz Lorenzo, Lucía

Jiménez Salado, Borja

Montejano Jiménez, María del Carmen

Vicente Minguela, Francisco

Ingeniero Técnico Aeronáutico

Mainar Durán, Alejandro

Ingeniero Técnico Forestal

Carrillo Bobillo, Oliva

Ingeniero Técnico en Informática de Gestión

Esteban Pérez, Ramón

Ingenieros Técnicos Industriales

Alcubilla Villanueva, Rubén

Ases Rodríguez, Cristóbal

Jiménez Rodríguez, José Antonio

Madueño López, Javier

Madueño Moraño, Antonio

Quílez Hernáiz, Sonia

Remacha Mangado, Mikel

Rodríguez Luque, Ana María

Ruiz Rivera, Rafael

Villar Riñones, Jesús

Ingeniero Técnico de Minas

Sillero Arroyo, Andrés

Ingenieros Técnicos Obras Públicas

Agudo Cordobés, José Manuel

Carrero Crespo, Rafael

Fernández-Cueto Fernández, Enrique

González Nuño, Luis

Martínez Vicente, Cristina

Mata Soriano, Juan Carlos

Montiel Sánchez, Ernesto

Muriel León, Carlos

Ortiz del Campo, Natalia

Pardo de Agueda, Juan Luis

Rivera Jiménez, Marta

Romero García, Daniel

Rosa Moreno, José Andrés

Rozas Hernando, José Juan

Sánchez Santiago, Sandra

Sánchez Tomé, Elena

Sanz Ruiz, Idoya

Vicente Girón, Susana

Ingenieros Técnicos Topógrafos

Amador Orenge, Germán

Barragán Bermejo, M^a Vicenta

Carreras Ruiz, Francisco

De Francisco Rodríguez, Francisco

López de Castro, Daniel

López Jiménez, Luis

Martínez Ochando, Eduardo

Sánchez Martín, María de la O

Torés Campos, Ana M^a

Técnicos en Administración de Empresas

Cebrián Sobrino, M^a José

Técnico en Publicidad

Blanco Armas, Cristina

*NOTA: Todo el personal de INTEMAC trabaja en dedicación completa y exclusiva, con la excepción de las personas arriba indicadas con * a las que se autoriza la dedicación a la Enseñanza Universitaria en régimen de dedicación parcial.

CUADERNOS INTEMAC

CUADERNOS INTEMAC es una publicación trimestral, bilingüe en español e inglés, en forma de monografías que recogen trabajos realizados por los técnicos del Instituto o presentados en los Cursos y Conferencias organizados por el mismo. Los temas tratados cubren tanto el campo de las Obras Públicas como el de la Edificación y sus Instalaciones.

Precio de la suscripción Año 2010: 35 €



ÚLTIMOS TÍTULOS PUBLICADOS

Cuaderno N° 79

"Estanque de tormentas de Arroyofresno. Control de hormigones y de equipos".
Autores: **Federico Valenciano Carles, Luis González Nuño, Elena de la Paz Cobos y Fernando López Ortum.**

Cuaderno N° 80

"Investigación sobre la resistencia, funcionalidad y durabilidad de las aceras".
Autor: **Fernando Catalá Moreno.**

CUADERNOS DE PRÓXIMA APARICIÓN

Cuaderno N° 81

"Estudio de la interacción entre las obras del Templo de la Sagrada Familia y las del Túnel de Alta Velocidad entre las estaciones de Sants y La Sagrera, en Barcelona".
Autores: **Raúl Rodríguez Escribano y Alberto Blanco.**

Cuaderno N° 82

"Certificación de aeropuertos".
Autor: **Ángel París.**

Consulte lista completa de la Colección

MONOGRAFÍAS INTEMAC

Publicación de INTEMAC con un carácter eminentemente práctico destinada a tratar temas muy concretos que, o bien presentan un nivel de problemas acusado en la práctica, o bien están insuficientemente cubiertos por la Normativa y la documentación técnica correspondientes.

MONOGRAFÍA INTEMAC N° 5

"Mantenimiento y reparación de paramentos de hormigón".
Autores: **R. Barrios Corpa, C. Beteta Cejudo, E. Díaz Heredia, Prof. J. Fernández Gómez, J. M. Rodríguez Romero.**
Precio de la Monografía 38 €

MONOGRAFÍA INTEMAC N° 6

"Patología, técnicas de intervención y limpieza de fábricas de ladrillo".
Autores: **P. López Sánchez, J. M. Luzón Cánovas, I. Martínez Pérez, A. Muñoz Mesto, A. Fernández Sáez.**
Precio de la Monografía 38 €

MONOGRAFÍA INTEMAC N° 7

"Estructuras de madera".
Autores: **J. M. Izquierdo y Bernaldo de Quirós.**
Precio de la Monografía 38 €



NOTAS DE INFORMACIÓN TÉCNICA NIT

Con independencia de la serie de Cuadernos de INTEMAC, de los que se publica un número trimestral, bilingüe en español e inglés, en INTEMAC se producen, con acentuada frecuencia notas de información sobre aspectos concretos que pensamos que no solamente tienen una utilidad interna, sino que pueden resultar interesantes para muchos Técnicos de la Construcción. Las Notas se envían únicamente por correo (pago por transferencia o tarjeta de crédito).

NIT-5 (06)

Influencia de la oxidación y de las manchas de mortero sobre la adherencia de armaduras de hormigón
J. Calavera Ruiz, A. Delibes, J. M. Izquierdo y Bernaldo de Quirós, G. González Isabel.
Edición en español, en color. 12 páginas
Precio 14 €



NIT-6 (07)

El previsible descenso de la seguridad en pilares con la entrada en vigor del Eurocódigo EC-2, y la necesidad de un control estricto de la calidad del hormigón en pilares

J. Calavera Ruiz.

Edición en español, en color. 10 páginas

Precio 12 €

VÍDEOS TÉCNICOS Y DVD'S

Fabricación y ensayo de probetas de hormigón.

N°2001 (1-1)

Contempla de forma completa y detallada el proceso de toma de muestras de hormigón fresco en obra, la medida de la consistencia con el Cono de Abrams, fabricación de probetas, curado en obra, transporte al laboratorio, curado en cámara, refrentado y ensayo a compresión. Esta nueva versión del vídeo 8801 (1), introduce las modificaciones de EHE y un sistema de estudio de la distribución de presiones de la prensa sobre la probeta así como los aspectos particulares del ensayo de hormigones de alta resistencia. 30 minutos - 25 €



Fabricación y control de calidad de barras y mallas para hormigón armado.

N°2002 (1-2)

Muestra el proceso de laminación en fábrica de las barras y alambres, la fabricación de mallas y los ensayos de tracción, doblado, arrancamiento de nudos y determinación de las características geométricas del corrugado y el ensayo de Beam-test para la determinación de las características de adherencia. 30 minutos - 25 €



Compresión centrada en hormigón armado.

N°2002 (1-4)

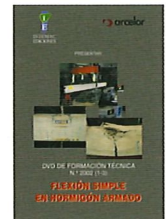
Contempla la rotura de siete pilares a escala real, variando resistencias de hormigón desde 25 Mpa a 70 Mpa, las cuantías de armaduras, la separación de estribos y la velocidad de carga conectando todo ello con las fórmulas de cálculo. 35 minutos - 25 €



Flexión simple en hormigón armado.

N°2002 (1-3)

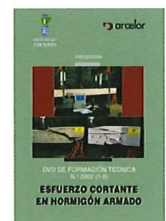
Incluye el ensayo a rotura de cinco vigas a escala real, con diferentes cuantías y diferentes desarrollos de adherencia conectando todo ello con las fórmulas de cálculo. 35 minutos - 25 €



Esfuerzo cortante en hormigón armado.

N°2002 (1-5)

Muestra el ensayo a rotura de cinco vigas a escala real, con diferentes formas de rotura por corte (Tracción diagonal, corte flexión, compresión diagonal, etc.) conectando todo ello con las fórmulas de cálculo. 25 minutos - 25 €

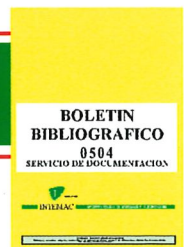


BOLETÍN BIBLIOGRÁFICO

INTEMAC viene realizando desde su fundación un BOLETÍN BIBLIOGRÁFICO para uso interno, que ofrece, en una lectura rápida, un panorama general de todas las publicaciones técnicas disponibles. Desde 1991, esta publicación bimestral, ha sido puesta a disposición del público. EL BOLETÍN BIBLIOGRÁFICO incluye:

Fotocopia del índice y de los resúmenes de los artículos contenidos en las 105 revistas técnicas que se reciben en el Instituto referentes a los campos de la Edificación, Instalaciones, Obras Públicas y Urbanismo. Una sección de Normativa reciente, nacional y extranjera. Secciones de Bibliografía y Cursos. Una sección de Congresos, Reuniones Técnicas y Ferias de próxima celebración en todo el mundo.

Tarifa de suscripción anual (6 números) 200 €



Consulte otras publicaciones

www.intemac.es

PUBLICACIONES



Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado

2ª edición (2 tomos)

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 135 €



Fichas de ejecución de obras de hormigón

3ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 68 €

Nueva publicación



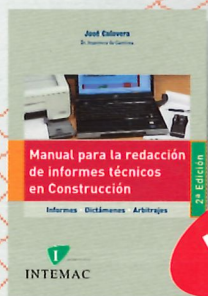
Proyecto y Cálculo de Estructuras de Hormigón

2ª edición (2 tomos)

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 180 €

Nueva edición



Manual para la redacción de informes técnicos en construcción

2ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 90 €

Nueva edición



Manual de Ferralla

3ª edición

J. Calavera, E. González Valle, J. Fernández Gómez, F. Valenciano

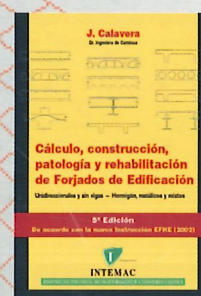
Precio: 45 €



Proyecto de estructuras de hormigón con armaduras industrializadas

J. Calavera, E. González Valle, J. Fernández Gómez, F. Valenciano

Precio: 50 €

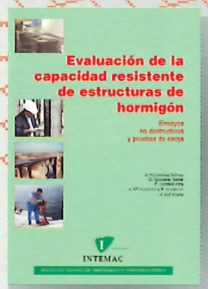


Cálculo, construcción, patología y rehabilitación de forjados de edificación

5ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 113 €



Evaluación de la capacidad resistente de estructuras de hormigón

J. Fernández Gómez, G. González Isabel, F. Hostalet Alba, J. Mª Izquierdo, J. Ley Urzaiz

Precio: 64 €

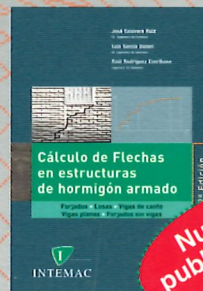


Muros de contención y muros de sótano

3ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 80 €



Cálculo de flechas en estructuras de hormigón armado

2ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos), L. García Dutari (Ingeniero Civil), R. Rodríguez (Ingeniero de Caminos)

Precio: 110 €

Nueva publicación

El libro y el CD-ROM pueden adquirirse conjuntamente o por separado

Software asociado en ficheros de AutoCAD

Manual de detalles constructivos en obras de hormigón armado

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

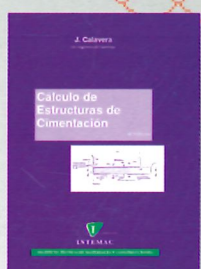
Libro: 123 € CD-ROM: 198 €



Ejecución y control de estructuras de hormigón

J. Calavera, P. Alaejos Gutiérrez, J. Fernández Gómez, E. González Valle, F. Rodríguez García

Precio: 133 €

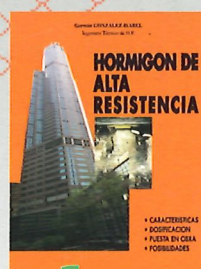


Cálculo de estructuras de cimentación

4ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 80 €



Hormigón de alta resistencia

G. González-Isabel (Ingeniero Técnico de O. P.)

Precio: 47 €



Tecnología y propiedades mecánicas del hormigón

A. Delibes (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 57 €