

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE
CAMINOS, CANALES Y PUERTOS**

**FACTORES QUE AFECTAN A LA RESISTENCIA,
FUNCIONALIDAD Y DURABILIDAD DE LAS ACERAS**

TESIS DOCTORAL

Fernando Catalá Moreno
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Madrid, 2011

Fernando Catalá Moreno

Madrid, Febrero 2011

ISBN-



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA - CONSTRUCCIÓN

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

TESIS DOCTORAL

FACTORES QUE AFECTAN A LA RESISTENCIA,
FUNCIONALIDAD Y DURABILIDAD DE LAS ACERAS

Autor Fernando Catalá Moreno
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Director Prof. José Calavera Ruiz
Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Madrid, 2011



TESIS DOCTORAL

**FACTORES QUE AFECTAN A LA RESISTENCIA,
FUNCIONALIDAD Y DURABILIDAD DE LAS ACERAS**

Tribunal nombrado por el Magnífico y Excelentísimo Señor Rector de la Universidad Politécnica de Madrid, el día de de 2011.

Presidente/a

Vocal

Vocal

Secretario/a

Suplente

Suplente

Realizado el acto de defensa y lectura de la Tesis el día de
de 2011 en la E.T.S.I. de Caminos, Canales y Puertos.

PRESIDENTE/A

VOCALES

SECRETARIO/A

Agradecimientos

Normalmente, éste es el último documento que se redacta en cualquier publicación y, sin embargo, es el primero que se lee. Me parece bien que así sea, porque es el más importante.

Se trata de agradecer. De agradecer a todas aquellas personas que han ayudado a que se pudieran escribir las páginas siguientes.

En primer lugar, quiero agradecer su ayuda y colaboración a todos los ingenieros de INTEMAC que han hecho posible el desarrollo de esta investigación y, muy especialmente, a Germán González Isabel, Pedro López, Jorge Ley y Jaime Fernández.

Mención, especialísima, a dos amigos, Enrique González Valle y José Calavera.

Al primero por todo lo que me ha ayudado para que pudiera pasar momentos muy difíciles para mí y, por todo lo que me ha animado para que terminara este trabajo.

Al segundo, mi director de tesis, por sus consejos y orientaciones y por su tenacidad para que este documento se concluyera. Pepe, la tantas veces repetida frase "... sin cuya intervención no habría sido posible...", parece que se escribió para describir tu aportación a este documento.

Muchas gracias a todos.

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.

Se destaca la escasa documentación que existe sobre las infraestructuras urbanas, en relación con la disponible cuando el ámbito es el interurbano, a pesar de que, en el caso de la red viaria, casi el 20% de la red española, corresponde al viario urbano.

Se destaca, también, la importancia económica del consumo anual de baldosas de cemento en las aceras españolas, que supera los 280 millones de euros.

Lo anterior, unido a que los resultados obtenidos en los ensayos realizados en las baldosas de cemento, tanto en el origen de la fabricación como en los materiales suministrados para la pavimentación de las aceras madrileñas eran, simplemente, discretos, justifica la importancia de mejorar mediante investigaciones y experimentaciones, tanto la fabricación como la puesta en obra de este material.

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

La investigación experimental realizada, ha comprendido cuatro fases claramente diferenciadas.

En la FASE I, se realizaron y compararon los resultados obtenidos en los ensayos de absorción de agua, permeabilidad, heladicidad, desgaste por abrasión, resistencia a flexión y resistencia al choque en baldosas de cemento sueltas, antes y después de ser sometidas a dos tratamientos distintos de envejecimiento artificial acelerado, a partir de una muestra especialmente seleccionada para esta investigación.

En la FASE II, se realizaron, sobre baldosas unidas en módulos de prueba de 60x60 y 30x30, ensayos, antes y después de los referidos tratamientos de envejecimiento acelerado, de variación dimensional, planeidad, resistencia al deslizamiento y pérdida de color.

En la FASE III, con el fin de evaluar las características mecánicas de las aceras pavimentadas con cuatro tipos de baldosas de cemento, dos espesores de la base de hormigón y dos grados de compactación de la subbase, se construyó un tramo de prueba de 19,20 m de longitud por 2,40 m de anchura, dividido en dieciséis subtramos resultantes de la combinación de las variables citadas, y se analizaron, numéricamente, las flechas instantáneas y remanentes alcanzadas en cada uno de los referidos subtramos al paso de una carretilla lastrada, siempre con la misma carga, circulando a una velocidad de 5 Km/h.

En paralelo a las fases anteriores, se desarrolló la FASE 0, consistente en la realización de dos estudios estadísticos sobre los resultados obtenidos en los ensayos efectuados en las baldosas de cemento utilizadas en las obras de pavimentación realizadas por el Ayuntamiento de Madrid entre 1996 y 2000, el primero, y entre 2000 y 2004, el segundo.

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.

Finalmente, a la vista de los trabajos realizados, se concluye con la exposición de una serie de recomendaciones para futuras investigaciones.

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 of sidewalks built in Spain.

There is little documentation about urban infrastructures compared with the available information of the interurban pattern. In the case of the road network, almost 20% of the Spanish network corresponds to the urban roadway.

It should be noticed the economic importance of the annual consumption of cement floor tiles in Spanish sidewalks, that overcomes 280 million Euros.

This fact, also with the results obtained in the cement floor tile tests carried out for the manufacture origin and the on site construction sidewalk assessment, justifies the importance of improving both the manufacturing as the on site work by means of research and experimentation.

The influence of bases, subbases and tiles in sidewalks, related to its behaviour to the traffic loads, constitutes the main objective of this investigation.

The experimental research included four clearly different parts.

In PHASE I, the obtained results in the water absorption test, permeability test, frost resistance test, abrasion resistance test, flexion resistance test and impact resistance in cement floor tiles were analyzed and compared, before and after being exposed to two different methods of accelerated aging. The cement floor tiles were especially selected for this investigation.

In PHASE II, tests of dimensional variation, flatness, sliding resistance and loss of colour were carried out on floor tiles modules of 60x60 and 30x30, before and after the accelerated aging.

In PHASE III, and in order to evaluate the mechanical characteristics of the sidewalks built with four different types of cement floor tiles, two concrete base thicknesses and two subbases compaction degrees, a test sample of 19.20 meters length by 2.40 meters width, was constructed. The instantaneous and permanent deflections were numerically analyzed in each sector after passing the test vehicle, always with the same load, circulating at a speed of 5 Km/h.

In parallel to the previous phases, PHASE 0 was developed. This phase included two statistical studies on the results obtained in the tests conducted in the cement floor tiles used in paving works realised by the City Council of Madrid between 1996 and 2000 and between 2000 and 2004.

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.

Finally, the study suggests some recommendations for future investigations.

Índice

1. ESTADO DEL ARTE	1
1.1 CONSIDERACIONES GENERALES	1
1.2. NORMATIVA SOBRE BALDOSAS DE CEMENTO EXISTENTE EN EL PERÍODO DE REALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.2.1. BALDOSAS DE CEMENTO	7
1.2.2. BALDOSAS DE TERRAZO	11
1.2.3. MÉTODOS DE ENSAYO EMPLEADOS EN LA INVESTIGACIÓN	14
1.3. EVOLUCIÓN DE LA NORMATIVA	20
1.3.1. BALDOSAS DE HORMIGÓN	21
1.3.2. BALDOSAS DE TERRAZO PARA USO EXTERIOR	28
1.3.3. BALDOSAS DE TERRAZO PARA USO INTERIOR	33
1.4. ALGUNOS DATOS ESTADÍSTICOS SOBRE ACERAS	38
1.4.1. DATOS GENERALES	38
1.4.2. RESULTADOS DE ENSAYOS EFECTUADOS EN BALDOSAS DE CEMENTO EN LA CIUDAD DE MADRID	45
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	48
2. PLAN DE ENSAYOS Y METODOLOGÍA.....	51
2.1 INTRODUCCIÓN	51
2.2. TOMA DE MUESTRAS	52
2.3. ENSAYOS DE IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS BALDOSAS	53
2.4. COMPORTAMIENTO FRENTE A CICLOS DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO ..	55
2.5. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL FIRME EN SU CONJUNTO	57
2.6. PROGRAMACIÓN DE LOS ENSAYOS	64
3. ENSAYOS SOBRE BALDOSAS	67
3.1. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN, EN ESTADO DE SUMINISTRO, DE LAS BALDOSAS UTILIZADAS EN LA EXPERIMENTACIÓN	67
3.1.1. RESULTADOS DE ENSAYO	68
3.1.2. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	81
3.2. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE LAS BALDOSAS UTILIZADAS EN LA EXPERIMENTACIÓN, UNA VEZ SOMETIDAS A LOS TRATAMIENTOS DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO	86
3.2.1. RESULTADOS DE ENSAYO	87
3.2.2. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	112
3.3. FABRICACIÓN Y ENSAYOS EFECTUADOS SOBRE MÓDULOS DE PRUEBA. ESTUDIO DE COMPORTAMIENTO FRENTE A CICLOS DE ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL ACELERADO	125
3.3.1. FABRICACIÓN DE LOS MÓDULOS DE PRUEBA	126
3.3.2. ENSAYOS EFECTUADOS SOBRE MÓDULOS DE PRUEBA	130
3.3.3. RESULTADOS DE ENSAYO	132
3.3.3.1. Variación dimensional, según UNE 127001	133
3.3.3.2. Planeidad, según UNE 127001	136
3.3.3.3. Resistencia al deslizamiento, según NLT 175	140
3.3.3.4. Cuantificación de defectos, según UNE 127001	141
3.3.3.5. Análisis cromático	145
3.3.3.6. Ensayos de adherencia, según UNE 83822	148
4. ENSAYOS SOBRE ACERAS	151
4.1. EJECUCIÓN DEL TRAMO EXPERIMENTAL DE ENSAYOS	151
4.1.1. INTRODUCCIÓN	151
4.1.2. UBICACIÓN DEL TRAMO DE PRUEBA	151

4.1.3.	PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL PAVIMENTO	153
4.1.3.1.	Excavación y rellenos de tierras	153
4.1.3.2.	Hormigonado del firme	160
4.1.3.3.	Enlosado del pavimento	166
4.1.4.	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS	174
4.1.4.1.	Suelos	174
4.1.4.2.	Hormigones	175
4.2.	ENSAYOS DE AUSCULTACIÓN DEL TRAMO EXPERIMENTAL	176
5.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	183
5.1.	INVESTIGACIONES SOBRE LAS BALDOSAS	183
5.1.1.	RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES DE PAVIMENTACIÓN EMPLEADOS EN EL ESTUDIO	183
5.1.1.1.	Resultados de los ensayos de identificación y caracterización	183
5.1.1.2.	Resultados de los ensayos efectuados tras la exposición de las baldosas a tratamientos de envejecimiento acelerado	189
5.1.1.3.	Resultados de los ensayos efectuados sobre módulos de prueba tras la exposición a tratamientos de envejecimiento acelerado	195
5.1.1.3.1.	Planeidad	196
5.1.1.3.2.	Resistencia al deslizamiento	196
5.1.1.3.3.	Cuantificación de defectos	197
5.1.1.3.4.	Análisis cromático	198
5.1.1.3.5.	Adherencia	199
5.1.2.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES DE PAVIMENTACIÓN DE ACERAS EMPLEADOS EN EL ESTUDIO	201
5.1.2.1.	Ensayos de identificación y caracterización	201
5.1.2.2.	Comportamiento de las baldosas tras la exposición a tratamientos de envejecimiento acelerado	203
5.1.2.3.	Comportamiento de los módulos de prueba tras la exposición a tratamientos de envejecimiento acelerado	206
5.2.	INVESTIGACIONES SOBRE TRAMOS DE ACERAS	208
5.2.1.	TIPOLOGIA DE BALDOSAS	209
5.2.1.1.	Base de hormigón de 4 cm y compactación 100% P.N.	209
5.2.1.2.	Base de hormigón de 10 cm y compactación 100% P.N.	210
5.2.1.3.	Base de hormigón de 10 cm y compactación 100% P.N.	211
5.2.1.4.	Base de hormigón de 10 cm y compactación 90% P.N.	212
5.2.2.	ESPEORES DE LOSA Y COMPACTACIÓN	213
5.2.2.1.	Baldosa monocapa	213
5.2.2.1.1.	Baldosa monocapa y compactación 100 % P.N.	213
5.2.2.1.2.	Baldosa monocapa y compactación 90 % P.N.	213
5.2.2.1.3.	Baldosa monocapa y espesor 4 cm	213
5.2.2.1.4.	Baldosa monocapa y espesor 10 cm	213
5.2.2.2.	Baldosa bicapa	215
5.2.2.2.1.	Baldosa bicapa y compactación 100 % P.N.	215
5.2.2.2.2.	Baldosa bicapa y compactación 90 % P.N.	215
5.2.2.2.3.	Baldosa bicapa y espesor 4 cm	215
5.2.2.2.4.	Baldosa bicapa y espesor 10 cm	215
5.2.2.3.	Baldosa de botones	217
5.2.2.3.1.	Baldosa de botones y compactación 100 % P.N.	217
5.2.2.3.2.	Baldosa de botones y compactación 90 % P.N.	217
5.2.2.3.3.	Baldosa de botones y espesor 4 cm	217
5.2.2.3.4.	Baldosa de botones y espesor 10 cm	217

5.2.2.4. Baldosa de terrazo.....	219
5.2.2.4.1. Baldosa de terrazo y compactación 100 % P.N.....	219
5.2.2.4.2. Baldosa de terrazo y compactación 90 % P.N.....	219
5.2.2.4.3. Baldosa de terrazo y espesor 4 cm.	219
5.2.2.4.4. Baldosa de terrazo y espesor 10 cm.....	219
5.2.3. ESTUDIOS ESTADÍSTICOS SOBRE RESULTADOS DE ENSAYOS EFECTUADOS EN BALDOSAS DE CEMENTO	221
6. CONCLUSIONES.....	225
6.1. RELATIVAS A LOS MATERIALES DE PAVIMENTACIÓN	225
6.2. RELATIVAS A LOS FIRMES DE ACERAS	227
7. RECOMENDACIONES PARA INVESTIGACIONES FUTURAS	229
BIBLIOGRAFÍA	231
ANEJO: GRÁFICOS OBTENIDOS EN LAS PASADAS REALIZADAS SOBRE LOS TRAMOS EXPERIMENTALES DE ACERAS.	

1. ESTADO DEL ARTE

1.1. CONSIDERACIONES GENERALES

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, destacaba la escasamente publicada cuando era la calle el objeto de nuestro análisis.

Era un hecho llamativo si tenemos en cuenta que, actualmente, de los más de 650.000 Km que miden las vías españolas, cerca del 20% (Apartado 1.4), esto es, más de 128.000 Km, corresponden al viario urbano.

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

El Ayuntamiento de Madrid, pionero en la redacción de normas técnicas municipales, aprobó, a finales de los años 80, tres importantes documentos redactados bajo mi dirección, que, con ligeras actualizaciones, siguen vigentes: la Normalización de Elementos Constructivos ^(*), el Pliego de Condiciones Técnicas ^(**) y el Cuadro de Precios ^(***).

En lo relacionado con los firmes urbanos, la Normalización definía la geometría y los materiales constitutivos de todos aquellos elementos que, por su uso frecuente en las obras de urbanización, eran susceptibles de estar normalizados.

^(*) “Normalización de elementos constructivos para obras de urbanización”. Departamento de Programación y Control. Ayuntamiento de Madrid. 1988.

^(**) “Pliego de Condiciones Técnicas Generales aplicable a la redacción de proyectos y a la ejecución de las obras municipales”. Departamento de Programación y Control. Ayuntamiento de Madrid. 1988.

^(***) “Cuadro de Precios de obra nueva aplicable a la redacción de los proyectos que se redacten en el Ayuntamiento de Madrid”. Departamento de Programación y Control. Ayuntamiento de Madrid. 1988.

A partir del trabajo encargado a la Fundación Agustín de Bethencourt en 1982 (*) y del estudio que realicé en 1985 sobre las secciones estructurales para firmes urbanos (**) se definió el primer catálogo de secciones estructurales para firmes y pavimentos de calzadas y aceras de vías urbanas, aprobado por una administración pública española, catálogo que se incluyó en la referida Normalización de Elementos Constructivos de 1988.

Mediante una clasificación, clara y precisa, del tráfico en tres categorías, pesado, medio y ligero, obtenida en función tanto de datos de tráfico, como la IMD, como de parámetros urbanísticos tales como la existencia o no de autobuses y el ancho del vial, se establecían cinco grupos estructurales para los firmes, mixtos, rígidos, semi rígidos, flexibles y adoquinados. Las aceras, menos comprometidas estructuralmente, se clasificaban en ocho tipos, atendiendo a su pavimento, baldosas hidráulicas y de terrazo, pavimentos asfálticos sobre hormigón y zahorra, piedra natural y artificial sobre hormigón y arena, adoquines y paseos de arena para parques.

Esta Normalización especificaba la geometría y los materiales constituyentes de las diferentes capas de estos firmes, desde la explanada hasta el pavimento, pasando por la subbase y la base, en perfecta concordancia con lo establecido en el Pliego de Condiciones Técnicas Generales que, actualizado en 1998, prescribía la calidad, modo de ejecución, condiciones de aceptación y rechazo y forma de medición y abono, y con el cuadro de precios, que calculaba el precio de estos materiales y unidades de obra.

En 1998 (***) y 2002 (****) se actualizaron, respectivamente, el Pliego y la Normalización, sin que se modificara el referido catálogo de secciones estructurales de firmes que, actualmente, sigue vigente en el Ayuntamiento de Madrid.

(*) “Secciones estructurales de firmes y pavimentos bituminosos antideslizantes”. Fundación Agustín de Bethencourt. Ayuntamiento de Madrid. 1982.

(**) “Vías Públicas en el término municipal de Madrid. Secciones estructurales de firmes”. Departamento de Programación y Control. Ayuntamiento de Madrid. 1985.

(***) “Pliego de Condiciones Técnicas Generales aplicable a la redacción de proyectos y a la ejecución de las obras municipales”. Departamento de Urbanización de Sistemas Generales. Ayuntamiento de Madrid. 1998.

(****) “Normalización de elementos constructivos para obras de urbanización”. Dirección del Área de Obras. Ayuntamiento de Madrid. 2002

Lo anterior hubiera quedado incompleto si no se hubiera establecido, simultáneamente, un servicio de control de calidad que aportara la estructura precisa para comprobar si las prescripciones establecidas en los proyectos de construcción redactados en base a los tres documentos citados, se cumplían suficientemente durante la ejecución de las obras, posibilitando, de este modo la aplicación de los criterios establecidos de aceptación y rechazo. Es de destacar que este servicio, en cuanto a su gestión técnica, económica y administrativa, estaba centralizado, y ha estado dirigido por mí desde 1983 hasta 2003.

Este camino lo siguieron, posteriormente, otros ayuntamientos, destacando el documento que en 2007 (*) aprobó el Ayuntamiento de Valencia para los firmes y pavimentos de sus calzadas, con una metodología similar a la establecida en carreteras, estableciendo cuatro secciones estructurales, semi rígidos, mixtos, rígidos y articulados, a partir de la IMD y del tipo de explanada, obviando cualquier otra consideración urbanística.

Salvo estos antecedentes, de los que me he limitado en señalar el primero y el último que conozco, no se ha avanzado en demasía en la publicación de este tipo de documentos. Las escasas publicaciones sobre firmes y pavimentos urbanos (**) (***) , existentes se centran más en aspectos relacionados con la conservación y con la construcción que con el diseño del firme.

En otro orden de cosas, la superficie pavimentada de las aceras españolas, puede estimarse en más de 286 millones de metros cuadrados (Apartado 1.4), de los que unos 209 millones están pavimentados con losetas hidráulicas y otros 31 millones lo están con terrazos. También puede estimarse (Apartado 1.4) en más de 23 millones de metros cuadrados, el consumo de baldosas de cemento que, anualmente, se utilizan en España, solamente en labores de conservación rutinaria de los pavimentos peatonales, al que habría que añadir el empleado en las obras de nueva planta y grandes rehabilitaciones.

La normativa técnica existente en España durante el período de realización de la investigación (Apartado 1.2), estaba constituida por las normas UNE 127001:1990 a la UNE

(*) “Catálogo de firmes y pavimentos de la ciudad de Valencia”. Ayuntamiento de Valencia. 2007.

(**) “Firmes urbanos”. Fernando Catalá, Joaquín Marín y Francisco Rodríguez. ESPAS. 1990.

(***) “Pavimentos peatonales”. Fernando Catalá y Joaquín Marín. 1990.

127007:1990, ambas inclusive. 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 elaborando el CEN, Comité Europeo de Normalización. Posteriormente, las normas europeas que en 2004 y 2005 han anulado y sustituido a todas estas normas españolas que son, actualmente de obligado cumplimiento, son las siguientes: UNE-EN 1339:2004, UNE-EN 13748-1:2005 y UNE-EN 13748-2:2005.

Esta nueva normativa (Apartado 1.3) supuso un gran avance en lo relativo a las especificaciones definitorias de cada material. Establece el concepto de “Clase” según dimensiones, diagonales, carga de rotura, resistencia a flexión, al desgaste por abrasión 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.

Posteriormente, AENOR especificó, mediante la norma UNE 127339: 2007, junto con la parte armonizada de la referida UNE - EN 1339: 2004, el anejo ZA, los requisitos mínimos para el fabricante en lo relativo a las propiedades, 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.

1.2. NORMATIVA SOBRE BALDOSAS DE CEMENTO EXISTENTE EN EL PERIODO DE REALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Las baldosas de cemento son elementos fabricados con cemento, áridos y aditivos con o sin colorantes, obtenidos por compresión, vibración o ambos sistemas a la vez, empleados en la ejecución de pavimentos y revestimientos.

La normativa técnica existente durante el período de realización de la investigación se indica a continuación.

- UNE 127001:1990. Baldosas de cemento. Definiciones. Clasificación. Características y recepción en obra.
- UNE 127001-1M:1994. Baldosas de cemento. Definiciones. Clasificación. Características y recepción en obra.
- UNE 127002:1990. Baldosas de cemento. Determinación del coeficiente de absorción de agua.
- UNE 127003:1990 EX. Baldosas de cemento. Ensayo de permeabilidad y absorción de agua por la cara vista.
- UNE 127004:1990. Baldosas de cemento. Ensayo de heladicidad.
- UNE 127005-1:1990. Baldosas de cemento. Determinación de la resistencia al desgaste por abrasión. Método de la plataforma giratoria o de vaivén.
- UNE 127005-2:1990 EX. Baldosas de cemento. Determinación de la resistencia al desgaste por abrasión. Método del disco.
- UNE 127006:1990. Baldosas de cemento. Determinación de la resistencia a la flexión.
- UNE 127007:1990. Baldosas de cemento. Determinación de la resistencia al choque.

En los apartados 1.2.1 y 1.2.2 se indican las especificaciones aplicables conforme a la norma UNE 127001. En el apartado 1.2.3 se presenta una descripción resumida de los procedimientos de ensayo descritos en el resto de las normas citadas UNE 127002 a UNE 127007.

Las baldosas según su composición se clasifican en:

- Baldosa hidráulica. Compuesta por dos o tres capas:
 - Capa de huella o cara vista: De mortero de cemento, arena muy fina o marmolina, con o sin colorantes.
 - Capa intermedia o absorbente: De mortero de cemento y arena fina (puede no existir).
 - Capa de base, dorso o revés: Mortero de cemento y arena.
- Baldosa monocapa: Compuesta por una sola capa, mezcla húmeda o semihúmeda de cemento y áridos de mármol o piedras duras, con o sin

colorantes. La cara vista puede ser pulida, sin pulir, lavada, abujardada o arenada, lisa, texturada o con dibujo.

- Baldosa de terrazo. Compuesta por dos capas:
 - Capa de huella o cara vista. Es la capa de desgaste y está formada por mortero de cemento y arena muy fina o marmolina, aditivos, con o sin colorantes, mármol o piedras duras que admitan pulido y presenten dureza suficiente. Puede ser pulida, lavada, abujardada, arenada, lisa, textura o con dibujo.
 - Capa de base, dorso o revés. Es la capa de apoyo y se compone de mortero de cemento y arena de machaqueo o de río.

Atendiendo a su utilización se clasifican en:

- Uso normal: Tráfico peatonal en el interior de viviendas particulares.
- Uso intensivo: Tráfico peatonal en interiores públicos (comercios, locales públicos, centros sanitarios, etc)
- Uso industrial: Tráfico peatonal y de vehículos en instalaciones industriales (fábricas, talleres, áreas comerciales, etc).
- Uso exterior: Utilización en áreas de tráfico exterior, fundamentalmente público (aceras, vías peatonales, plazas, muelles de carga, etc).

La designación de las baldosas de cemento se compondrá de los siguientes términos separados por guiones:

- Referencia al producto mediante el texto "Baldosa de cemento".
- Referencia al tipo al que pertenecen:
 - "Hidráulica".
 - "Monocapa"
 - "Terrazo".
- Referencia a su uso:
 - "Uso Normal".

- “Uso Intensivo”.
- “Uso Industrial”.
- “Uso Exterior”.

Para el desarrollo del estudio de investigación sólo han sido tomadas en consideración baldosas para uso exterior, de tres tipos diferentes (monocapa, hidráulica y de terrazo).

1.2.1. BALDOSAS DE CEMENTO

Las baldosas de cemento (hidráulicas o monocapa) empleadas para pavimentación utilizadas para el desarrollo de esta investigación se han definido conforme a las especificaciones de la norma UNE 127001:1990 y a las descritas en el artículo 22.31 del Pliego de Condiciones Técnicas Generales del Excmo. Ayuntamiento de Madrid (1999). Esta tipología de material es apta para empleo tanto en solados interiores como exteriores.

Las baldosas de cemento (hidráulicas o monocapa) a emplear se corresponden con piezas de la mejor calidad comercial (primera calidad), fabricadas con cemento, áridos y aditivos, con o sin colorantes, obtenidas por compresión, vibración, o ambos sistemas conjuntamente, presentando en cualquier caso una terminación que deje a la vista la pasta de cemento (lisa, texturada o con relieve).

Las baldosas hidráulicas conformes a la citada norma están compuestas por dos capas: la capa de huella o cara vista, que está fabricada con un mortero de cemento con arena muy fina o marmolina, y la capa de base, dorso o revés, que es la capa de apoyo de la baldosa y está formada por mortero de cemento con arena común (de machaqueo o de río). En el caso de baldosas monocapa el dorso o revés no existe, quedando sólo constituidas por la capa vista.

Las piezas así fabricadas han de cumplir los requisitos exigibles a las baldosas hidráulicas o monocapa (según corresponda) para “*USO EXTERIOR*” indicadas en la norma UNE 127001:1990 y en el artículo 22.31 del Pliego anteriormente citado, en lo relativo a tolerancia dimensional y de forma (UNE 127001), aspecto y textura (UNE 127001), absorción de agua (UNE 127002), resistencia a flexión (UNE 127006), permeabilidad y

absorción de agua por la cara vista (UNE 127003), heladicidad (UNE 127004), resistencia al desgaste por abrasión (UNE 127005/1) y resistencia al choque (UNE 127007). Dichas especificaciones se presentan en la Tablas 1.1, 1.2 y 1.3.

Tabla 1.1 Especificaciones baldosa monocapa (UNE 127001)

DETERMINACIONES EFECTUADAS		ESPECIFICACIONES UNE 127001 BALDOSAS MONOCAPA			
		USO NORMAL	USO INTENSIVO	USO INDUSTRIAL	USO EXTERIOR
Desgaste (mm)		≤ 2,0	≤ 1,7	≤ 1,5	≤ 1,2
Flexión (N/mm ²) (cara en tracción)		≥ 4,5	≥ 5,0	≥ 6,0	≥ 6,0
Absorción de agua (%)		≤ 10,0	≤ 9,0	≤ 7,5	≤ 7,5
Choque (mm)		≥ 400	≥ 500	≥ 600	≥ 600
Heladicidad		NO HELADIZA			
Permeabilidad		NO PERMEABLE			
Características geométricas	Longitud (dispersión, %)	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
	Anchura (dispersión, %)	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
	Espesor (dispersión, %)	≤ 2 (Espesor ≤ 40 mm) ≤ 3 (Espesor > 40 mm)			
	Desviación de ángulos (mm)	≤ 0,4			
	Rectitud de aristas (%)	≤ 0,2			
	Planeidad (%)	≤ 0,2 (Textura pulida) ≤ 0,3 (Otras texturas)			

Tabla 1.2 Especificaciones baldosa hidráulica (UNE 127001)

DETERMINACIONES EFECTUADAS		ESPECIFICACIONES UNE 127001 BALDOSAS HIDRÁULICAS			
		USO NORMAL	USO INTENSIVO	USO INDUSTRIAL	USO EXTERIOR
Desgaste (mm)		≤ 3,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 1,5
Flexión (N/mm ²)	Cara	≥ 3,5	≥ 4,5	≥ 5,0	≥ 5,0
	Dorso	≥ 2,5	≥ 4,0	≥ 4,0	≥ 4,0
Absorción de agua (%)		≤ 10,0	≤ 9,0	≤ 7,5	≤ 7,5
Choque (mm)		≥ 400	≥ 500	≥ 600	≥ 600
Heladicidad		NO HELADIZA			
Permeabilidad		NO PERMEABLE			
Características geométricas	Longitud (dispersión, %)	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
	Anchura (dispersión, %)	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
	Espesor (dispersión, %)	≤ 2 (Espesor ≤ 40 mm) ≤ 3 (Espesor > 40 mm)			
	Espesor capa de huella (mm)....	≥ 5,0			
	Desviación de ángulos (mm)	≤ 0,4			
	Rectitud de aristas (%)	≤ 0,2			
	Planeidad (%)	≤ 0,2 (Textura pulida) ≤ 0,3 (Otras texturas)			

Tabla 1.3 Especificaciones baldosas monocapa e hidráulica (PCTG Ayto. Madrid)

DETERMINACIONES		ESPECIFICACIONES PCTG 1999 (Excmo. Ayuntamiento de Madrid)	
		BALDOSA HIDRÁULICA	BALDOSA MONOCAPA
Desgaste (mm).....		≤ 2,0	
Flexión (N/mm ²)	Cara	≥ 5,0	≥ 6,0
	Dorso	≥ 4,0	--
Absorción de agua (%)		≤ 7,5	
Choque (mm).....		≥ 600	
Heladicidad		NO HELADIZA	
Permeabilidad		NO PERMEABLE	
Características geométricas	Longitud (dispersión, %)	≤ 0,3 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)	
	Anchura (dispersión, %)	≤ 0,3 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)	
	Espesor (dispersión, mm)	≤ 2 (Espesor ≤ 40 mm) ≤ 3 (Espesor > 40 mm)	
	Espesor capa de huella (mm)	≥ 8,0	--
	Desviación de ángulos (mm)	≤ 0,4	
	Rectitud de aristas (%)	≤ 0,2	
	Planeidad (%).....	≤ 0,2 (Textura pulida) ≤ 0,3 (Otras texturas)	
	Alabeo (mm)	≤ 0,5	

1.2.2. BALDOSAS DE TERRAZO

Las baldosas de terrazo empleadas para pavimentación utilizadas para el desarrollo de esta investigación se han definido conforme a las especificaciones de la norma UNE 127001:1990 y a las descritas en el artículo 22.31 del Pliego de Condiciones Técnicas Generales del Excmo. Ayuntamiento de Madrid (1999).

Las baldosas a emplear se corresponden con piezas de la mejor calidad comercial (primera calidad), fabricadas con cemento, áridos y aditivos, con o sin colorantes, obtenidas por compresión, vibración, o ambos sistemas conjuntamente, presentando en cualquier caso una terminación que deje a la vista los áridos (pulida, lavada, abujardada, arenada, cepillada, en relieve, etc.).

Las baldosas conformes a la citada norma están compuestas por dos capas: la capa de huella o cara vista, que está fabricada con un mortero de cemento con aporte de mármol o piedra molida de dureza tal que admita pulido, y la capa de base, dorso o revés, que es la capa de apoyo de la baldosa y está formada por mortero de cemento con arena común (de machaqueo o de río).

Las piezas así fabricadas han de cumplir los requisitos exigibles a las baldosas de terrazo para “*USO EXTERIOR*” indicadas en la norma UNE 127001:1990, y en el artículo 22.31 del Pliego anteriormente citado, en lo relativo a tolerancia dimensional y de forma (UNE 127001), aspecto y textura (UNE 127001), absorción de agua (UNE 127002), resistencia a flexión (UNE 127006), permeabilidad y absorción de agua por la cara vista (UNE 127003), heladicidad (UNE 127004), resistencia al desgaste por abrasión (UNE 127005/1) y resistencia al choque (UNE 127007). Dichas especificaciones se presentan en la Tablas 1.4 y 1.5.

Tabla 1.4 Especificaciones baldosa de terrazo (UNE 127001)

DETERMINACIONES EFECTUADAS		ESPECIFICACIONES UNE 127001 BALDOSAS DE TERRAZO			
		USO NORMAL	USO INTENSIVO	USO INDUSTRIAL	USO EXTERIOR
Desgaste (mm)		≤ 2,0	≤ 1,7	≤ 1,5	≤ 1,2
Flexión (N/mm ²)	Cara	≥ 4,5	≥ 5,0	≥ 6,0	≥ 6,0
	Dorso	≥ 3,5	≥ 4,0	≥ 4,5	≥ 4,5
Absorción de agua (%)		≤ 10,0	≤ 9,0	≤ 7,5	≤ 7,5
Choque (mm)		≥ 400	≥ 500	≥ 600	≥ 600
Heladicidad		NO HELADIZA			
Permeabilidad		NO PERMEABLE			
Características geométricas	Longitud (dispersión, %)	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
	Anchura (dispersión, %)	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
	Espesor (dispersión, %)	≤ 2 (Espesor ≤ 40 mm) ≤ 3 (Espesor > 40 mm)			
	Espesor capa de huella (mm)	≥ 7,0			
	Desviación de ángulos (mm)	≤ 0,4			
	Rectitud de aristas (%)	≤ 0,2			
	Planeidad (%)	≤ 0,2 (Textura pulida) ≤ 0,3 (Otras texturas)			

Tabla 1.5 Especificaciones baldosa de terrazo (PCTG Ayto. Madrid)

DETERMINACIONES		ESPECIFICACIONES PCTG 1999 (Excmo. Ayuntamiento de Madrid)
		BALDOSA DE TERRAZO
Desgaste (mm)		≤ 2,0
Flexión (N/mm ²)	Cara	≥ 6,0
	Dorso	≥ 4,5
Absorción de agua (%)		≤ 7,5
Choque (mm)		≥ 600
Heladicidad		NO HELADIZA
Permeabilidad		NO PERMEABLE
Características geométricas	Longitud (dispersión, %).....	≤ 0,3 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)
	Anchura (dispersión, %)	≤ 0,3 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)
	Espesor (dispersión, mm)	≤ 2 (Espesor ≤ 40 mm) ≤ 3 (Espesor > 40 mm)
	Espesor capa de huella (mm)	≥ 8,0
	Desviación de ángulos (mm).....	≤ 0,4
	Rectitud de aristas (%).....	≤ 0,2
	Planeidad (%).....	≤ 0,2 (Textura pulida) ≤ 0,3 (Otras texturas)
	Alabeo (mm).....	≤ 0,5

1.2.3. MÉTODOS DE ENSAYO EMPLEADOS EN LA INVESTIGACIÓN

a) Resistencia a flexión

La resistencia mecánica de las baldosas se determina mediante el ensayo de rotura por flexión, apoyando la probeta sobre rodillos inferiores y colocando el rodillo superior sobre la cara vista de la baldosa (tres probetas) y en el dorso (tres probetas), conforme a la norma UNE 127006:1990. El ensayo no es aplicable a baldosas cuya dimensión mayor sea inferior a 150 mm.

La baldosa durante el ensayo no deberá estar sometida a torsión, por lo que, al menos, uno de los soportes inferiores y la barra de carga deberán ser pivotantes, todos ellos de 40 mm de diámetro. La velocidad de carga aplicada será de 75 a 100 N/s.

La separación entre apoyos (L) se define como la diferencia entre el lado mayor de la baldosa (a) y dos veces el espesor, salvo en los casos en los que este valor resulta inferior a 100 mm, en los que se aplicará $L=100$ mm. La distancia entre los rodillos de apoyo y los extremos del lado mayor de la probeta será igual al espesor de la pieza.

En la Figura 1.1 se muestra el esquema de ensayo.

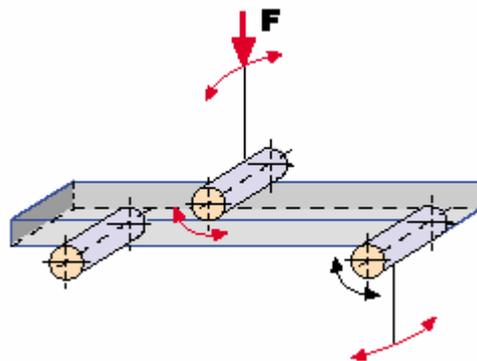
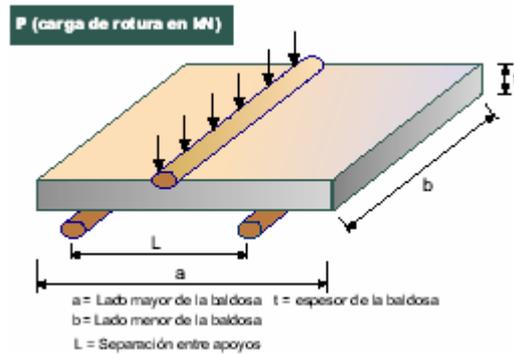


Figura 1.1

Para el cálculo de la resistencia a flexión, el espesor a considerar es el valor mínimo en la superficie de rotura.

Las baldosas a ensayar se mantendrán en ambiente de laboratorio como mínimo las 48 horas previas a la realización del ensayo.

Se deberá medir la carga de rotura de las baldosas (kN) y calcular su resistencia a flexión (MPa).

b) Absorción de agua

La absorción de agua de las baldosas se determina mediante el ensayo de inmersión en agua durante un mínimo de 22 horas, conforme a la norma UNE 127002:1990. Se efectúa sobre tres probetas de 200 x 200 mm. En el caso de piezas de dimensiones inferiores el ensayo se efectúa sobre la baldosa entera.

Inicialmente se desecan las probetas en estufa a 110 ± 5 °C, se pesan cuando alcanzan la temperatura ambiente, y se sumergen gradualmente en posición vertical, de modo que el nivel de agua suba 1/3 de la altura de la probeta cada dos horas.

Transcurridas un mínimo de 22 horas después de estar sumergidas íntegramente las probetas, se sacan del depósito, se escurren, se secan con un paño superficialmente y se pesan.

El coeficiente de absorción de agua se calcula como la diferencia de peso de la probeta entre su estado desecado y su estado saturado en agua, referido al peso seco y multiplicado por 100.

c) Permeabilidad al agua

La permeabilidad de las baldosas se determina mediante el ensayo de estanquidad, conforme a la norma UNE 127003:1990. Se efectúa sobre tres baldosas enteras

Inicialmente se desecan las probetas en estufa a 110 ± 5 °C y se pesan. Se posiciona un marco adosado perimetralmente a los bordes de la superficie de la baldosa y se sella de modo que no se puedan producir fugas de agua, de modo que se configure un depósito cuyo fondo es la cara vista de la baldosa. Las paredes laterales permitirán que el nivel de agua alcance 50 mm por encima de la parte más alta de la cara vista.

Se llena de agua el depósito hasta los 50 mm de altura y se mantiene el nivel constante durante 24 horas.

Tras este periodo se observa si han aparecido exudaciones de agua por el dorso de la baldosa. Seguidamente se retira el agua y el marco, se seca con un paño superficialmente y se pesa.

El coeficiente de absorción de agua por la cara vista se calcula como la diferencia de peso de la probeta entre su estado desecado y su estado tras las 24 horas de la prueba de estanquidad, referido al peso seco y multiplicado por 100.

Si tras el ensayo han aparecido exudaciones de agua en el dorso de la probeta, el material se califica como permeable.

d) Dimensiones y comprobación de forma

La determinación de las dimensiones de las baldosas y la comprobación de forma son efectuadas conforme a la norma UNE 127001, sobre seis baldosas enteras.

Para las determinaciones de las características geométricas de los lados se realizan tres medidas en cada baldosa (una en el centro y las otras dos a 20 mm de cada borde) Para la determinación del espesor se efectúan en cada arista tres mediciones (una en el centro y las otras dos a 50 mm de cada borde).

Para determinar el espesor de la capa de huella, se cortan o rompen por su diagonal, y se mide el espesor mínimo de la capa de huella en cada una de las seis baldosas que componen la muestra.

La variación de los ángulos del perímetro que conforma la cara vista se mide en las seis baldosas sobre un arco de 200 mm de radio.

La flecha máxima de planeidad se determina en la diagonal de la cara vista de las baldosas en seis baldosas enteras, al igual que la desviación máxima de las aristas vivas de la cara vista de las baldosas respecto a la línea recta.

e) Heladicidad

La resistencia de las baldosas a la acción del hielo se determina mediante el ensayo de heladicidad, sobre tres baldosas, conforme a la norma UNE 127004:1990.

Se efectúa sobre tres probetas de 200 x 200 mm. En el caso de piezas de dimensiones inferiores el ensayo se efectúa sobre la baldosa entera.

Inicialmente se sumergen las probetas en agua durante 24 horas. Seguidamente se introducen en una cámara de congelación, regulada a una temperatura de -15 ± 5 °C, y se mantienen en ella un mínimo de 4 horas. Tras ese período se sacan de la cámara y se sumergen por completo en un depósito con agua a una temperatura de $+15 \pm 5$ °C, durante una hora como mínimo. Este proceso se repite 25 veces.

Realizados 25 ciclos se observa la superficie de las probetas, observando si existen fisuras, grietas, resquebrajaduras o pérdidas de material en la capa de huella, en cuyo caso el material se califica como no resistente a la acción de hielo.

f) Desgaste por abrasión

La determinación de la resistencia al desgaste por abrasión se determina mediante el ensayo de la plataforma giratoria, sobre dos baldosas, conforme a la norma UNE 127005-1:1990.

El equipo para ensayo dispone de una pista plana circular, de 1 metro de recorrido, que gira alrededor de su eje central. Sobre el recorrido de la pista, en dos extremos opuestos y perpendicularmente a la superficie giratoria, están situados dos brazos portaprobetas que rotan sobre su propio eje, en los que se posicionan probetas del material de aproximadamente 7 x 7 cm de arista, con el espesor original de la pieza. La presión que cada uno de los brazos giratorios que actúan como portapiezas ejerce sobre probeta que está en contacto directo con la pista es de 0,06 N/mm². El equipo de ensayo de desgaste también dispone de un dispositivo que va incorporando abrasivo (carburo de silicio, 0,25 g por cada cm² de material sometido a desgaste) sobre la pista, y otro que vierte agua (30 gotas por minuto).

Antes de iniciar el ensayo se tallan dos probetas de las dimensiones adecuadas para el portaprobetas giratorio, a partir de baldosas enteras, manteniendo íntegro el espesor

original. Estas probetas se sumergen en agua durante un mínimo de 24 horas, y se determina su espesor medio.

Seguidamente se posicionan ambas probetas en la máquina y se efectúa el ensayo hasta un recorrido total de 250 m lineales.

Tras el ensayo se determina de nuevo el espesor medio de cada probeta y por diferencia con el valor inicial se calcula el desgaste por abrasión del material.

g) Resistencia al choque

La resistencia al choque permite determinar la capacidad de soportar impactos que puedan causar daños a la cara vista de las baldosas, y se determina sobre tres piezas enteras, mediante el procedimiento descrito en la norma UNE 127007:1990.

Las baldosas se colocan con su cara vista hacia arriba sobre una capa de fieltro situado sobre un dispositivo de fijación, de material rígido, con dos guías para posicionar e inmovilizar la baldosa.

Si la baldosa a ensayar tiene dimensiones superiores a las del dispositivo de fijación, la baldosa se situará sobre un lecho de arena de cómo mínimo 100 mm de espesor.

Cada impacto debe producirse a una distancia superior a 50 mm del impacto anterior, y a más de 50 mm del borde de la baldosa.

El ensayo consiste en dejar caer sobre la cara vista de la baldosa una esfera de acero de 1000 ± 10 g de masa, desde 400 mm de altura, e ir aumentando ésta distancia de 100 mm en 100 mm hasta la rotura de la baldosa, o como máximo hasta alcanzar la altura de 1000 mm si antes no se ha producido la rotura.

El resultado del ensayo es la altura mínima que produce fisuración (o rotura, en su caso) en alguna de las tres baldosas ensayadas.

1.3. EVOLUCIÓN DE LA NORMATIVA

La norma UNE 127001 de junio de 1990 establecía las definiciones, clasificación, características y criterios de recepción en obra de las baldosas de cemento, tanto para uso interior como exterior, incluyendo a las baldosas hidráulicas, monocapa y de terrazo, para uso normal, intensivo, industrial y exterior.

Los métodos de ensayo para las características establecidas en la norma UNE 127001 estaban descritos en la propia norma UNE 127001 (características geométricas y de forma), y en las normas UNE 127002 (absorción de agua), UNE 127003 (permeabilidad y absorción de agua por la cara vista), UNE 127004 (heladicidad), UNE 127005 (desgaste por abrasión), UNE 127006 (resistencia a flexión) y UNE 127007 (resistencia al choque), todas ellas de junio de 1990.

La primera modificación a la norma UNE 127001 contemplaba básicamente la eliminación del requisito de resistencia al desgaste por abrasión, estableciendo un carácter meramente informativo al aplicar este ensayo, en lugar de tratarse de una especificación exigible como criterio de aceptación o rechazo.

En 1999 el comité técnico de normalización de AENOR sobre *Prefabricados de cemento y de hormigón* (AEN/CTN-127) procedió a elaborar una serie de documentos con objeto de adecuar la norma UNE 127001 a las características consideradas en el proyecto de norma europea que se estaba elaborando en el Comité Europeo de Normalización (CEN) bajo los Mandatos M/119 y M/122 de la Comisión Europea y por la Asociación Europea de Libre Cambio, para dar cumplimiento a los requisitos esenciales de la Directiva Europea de Productos de Construcción (89/106/CEE).

Estos documentos fueron publicados en 1999 como normas:

- UNE 127020:1999 EX: Baldosas de terrazo. Uso interior;
- UNE 127021:1999 EX: Baldosas de terrazo. Uso exterior;
- UNE 127022:1999 EX: Baldosas de hormigón. Uso exterior;
- UNE 127023:1999 EX: Losetas de hormigón;
- UNE 127024:1999 EX: Baldosas aglomeradas de cemento.

Las normas europeas que en 2004 y 2005 han anulado y sustituido a estas normas españolas que se elaboraron de forma transitoria, son de obligado cumplimiento en lo relativo a su Anexo ZA, que es la parte de la norma armonizada a nivel europeo, y que recoge los requisitos de conformidad de los productos para la obtención del Mercado CE. Estas normas son las siguientes:

- UNE-EN 1339:2004 Baldosas de hormigón. Especificaciones y métodos de ensayo (anula y sustituye a las normas UNE 127022, UNE 127023 y UNE 127024)
- UNE-EN 13748-1:2005 Baldosas de terrazo. Parte 1: Baldosas de terrazo para uso interior (anula y sustituye a la norma UNE 127020)
- UNE-EN 13748-2:2005 Baldosas de terrazo. Parte 2: Baldosas de terrazo para uso exterior (anula y sustituye a la norma UNE 127021)

Seguidamente se indican los requisitos, clasificación y aspectos recogidos en las normas europeas traspuestas a la normativa europea.

1.3.1. BALDOSAS DE HORMIGÓN

Las baldosas prefabricadas de hormigón son elementos utilizados como material de pavimentación que satisfacen las siguientes condiciones:

- Su longitud total no excede de 1 m
- Su longitud total dividida por su espesor es mayor de 4

Las baldosas de hormigón difieren de las baldosas de terrazo en que los requisitos estéticos y mecánicos de éstas últimas son más exigentes. Las baldosas de hormigón están previstas para empleo en áreas pavimentadas sometidas a tráfico y en cubiertas transitables.

A este tipo de material le resulta de aplicación el Documento Básico “DB SU Seguridad de Utilización” del Código Técnico de la Edificación, y la norma UNE-EN 1339:2004 Baldosas de hormigón. Especificaciones y métodos de ensayo.

La clasificación de las baldosas de hormigón se efectúa en función de los datos declarados por el fabricante para la obtención del Marcado CE en relación a los siguientes parámetros:

- Clase según dimensiones: N; P; R.
- Clase según diagonales: J; K; L.
- Clase según carga de rotura: 3; 4; 7; 11; 14; 25; 30
- Clase según resistencia a flexión: S; T; U
- Clase según resistencia al desgaste por abrasión: G; H; I
- Clase según resistencia climática: A; B

En función del número de capas las baldosas se clasifican como Monocapa, o Doble capa. En función del acabado superficial, la cara vista de las baldosas puede ser texturizada, o ser sometida a un tratamiento secundario o tratada químicamente. Estos acabados o tratamientos deben ser declarados por el fabricante.

La designación de las baldosas de hormigón se compondrá de los siguientes términos:

- Referencia al producto mediante el texto “Baldosa de hormigón”
- Referencia a la Norma de aplicación: UNE-EN 1339:2004
- Número de capas
- Acabado superficial
- Clase según dimensiones y diagonales
- Clase según carga de rotura
- Clase según resistencia a flexión
- Clase según resistencia al desgaste por abrasión
- Clase según resistencia climática
- Formato, indicando sus medidas nominales expresadas en cm
- Color

Los requisitos dimensionales se definen seguidamente:

Cuando las baldosas sean fabricadas con doble capa, ésta debe tener un espesor mínimo de 4 mm sobre el área que el fabricante declare como cara vista.

La capa superficial o doble capa se debe considerar como integrante de la baldosa.

Una arista descrita como a escuadra puede estar biselada o redondeada. Sus dimensiones horizontal y vertical no deben exceder de 2 mm.

Las dimensiones nominales deben ser declaradas por el fabricante. La comprobación de dimensiones será efectuada conforme a los métodos de ensayo descritos en la Norma UNE-EN 1339:2004.

Las tolerancias admisibles sobre las dimensiones nominales declaradas por el fabricante serán las indicadas en la Tabla 1.6.

Tabla 1.6 Tolerancias dimensionales en aristas y espesor

Clase	Marcado	Dimensión nominal (mm)	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Espesor (mm)
1	N	Todas	±5	±5	±3
2	P	≤ 600 > 600	±2 ±3	±2 ±3	±3 ±3
3	R	Todas	±2	±2	±2

Las diferencias máximas admisibles entre las medidas de dos diagonales de una baldosa rectangular, cuando la longitud de las diagonales supere los 300 mm, serán las indicadas en la Tabla 1.7.

Tabla 1.7 Tolerancia dimensional en diagonales

Clase	Marcado	Diagonal (mm)	Máxima diferencia (mm)
1	J	≤ 850	5
		> 850	8
2	K	≤ 850	3
		> 850	6
3	L	≤ 850	2
		> 850	4

Las desviaciones máximas de planeidad y curvatura serán las indicadas en la Tabla 1.8, y sólo son de aplicación a las baldosa con cara vista plana cuya dimensión supere los 300 mm.

Tabla 1.8 Desviaciones máximas de planeidad y curvatura

Longitud del segmento de aplicación de la medida (mm)	Convexidad máxima (mm)	Concavidad máxima (mm)
A partir de 300	1,5	1,0
A partir de 400	2,0	1,5
A partir de 500	2,5	1,5
A partir de 800	4,0	2,5

Las características físicas y mecánicas se definen seguidamente.

La carga de rotura se determina de acuerdo con el método de ensayo descrito en el anexo F de la Norma UNE-EN 1339:2004.

El fabricante debe indicar para el material suministrado la clase por carga de rotura declarada respecto a los valores indicados en la Tabla 1.9.

Tabla 1.9 Clases por carga de rotura

Clase	Marcado	Carga de rotura	
		Media (kN)	Mínima (kN)
30	3	≥ 3,0	≥ 2,4
45	4	≥ 4,5	≥ 3,6
70	7	≥ 7,0	≥ 5,6
110	11	≥ 11,0	≥ 8,8
140	14	≥ 14,0	≥ 11,2
250	25	≥ 25,0	≥ 20,0
300	30	≥ 30,0	≥ 24,0

La resistencia a flexión se determina de acuerdo con el método de ensayo descrito en el anexo F de la Norma UNE-EN 1339:2004.

El fabricante debe indicar para el material suministrado la clase por resistencia a flexión declarada respecto a los valores indicados en la Tabla 1.10.

Tabla 1.10 Clases por resistencia a flexión

Clase	Marcado	Resistencia a flexión	
		Media (MPa)	Individual mínima (MPa)
1	S	≥ 3,5	≥ 2,8
2	T	≥ 4,0	≥ 3,2
3	U	≥ 5,0	≥ 4,0

La resistencia al desgaste por abrasión se determina de acuerdo con el método de ensayo descrito en el anexo G de la Norma UNE-EN 1339:2004.

El fabricante debe indicar para el material suministrado la clase por resistencia a la abrasión declarada respecto a los valores indicados en la Tabla 1.11.

Tabla 1.11 Clases por resistencia al desgaste por abrasión

Clase	Marcado	Desgaste (mm)
1	F	No especificado
2	G	≤ 26
3	H	≤ 23
4	I	≤ 20

La resistencia climática se determina mediante el ensayo de absorción de agua descrito en el anexo E de la Norma UNE-EN 1339:2004.

El fabricante debe indicar para el material suministrado la clase de absorción de agua declarada respecto a los valores indicados en la Tabla 1.12.

Tabla 1.12 Clases por absorción de agua

Clase	Marcado	Absorción de agua media (%)
1	A	No especificado
2	B	≤ 6

La resistencia al deslizamiento se determina de acuerdo con el método del péndulo de fricción descrito en el anexo I de la Norma UNE-EN 1339:2004.

El fabricante debe indicar para el material suministrado el valor del coeficiente de resistencia al deslizamiento declarado (índice USRV).

En relación al ensayo de resistencia al deslizamiento, el Código Técnico de la Edificación, en el Documento Básico “DB SU Seguridad de Utilización” con el fin de limitar el riesgo de resbalamiento, clasifica los pavimentos en función de su resistencia al deslizamiento, según los valores indicados en la Tabla 1.13, y define las clases admisibles en función de la localización y características del pavimento, según los valores indicados en la Tabla 1.14.

Tabla 1.13 Clases de pavimento por resistencia al deslizamiento

RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (Rd)	CLASE
$Rd \leq 15$	0
$15 < Rd \leq 35$	1
$35 < Rd \leq 45$	2
$Rd > 45$	3

Tabla 1.14 Clases aplicables para cada tipo de localización

LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL PAVIMENTO	CLASE
Zonas interiores secas - Superficies con pendiente menor que el 6 %. - Superficies con pendiente igual o mayor que el 6 % y escaleras	1 2
Zonas interiores húmedas, tales como las entradas a los edificios desde el espacio exterior ⁽¹⁾ , terrazas cubiertas, vestuarios, duchas, baños, aseos, cocinas, etc. - Superficies con pendiente menor que el 6 %. - Superficies con pendiente igual o mayor que el 6 % y escaleras	2 3
Zonas interiores donde, además de agua, pueda haber agentes (grasas, lubricantes, etc.) que reduzcan la resistencia al deslizamiento, tales como cocinas industriales, mataderos, aparcamientos, zonas de uso industrial, etc.	3
Zonas exteriores. Piscinas ⁽²⁾	3
⁽¹⁾ Excepto cuando se trate de accesos directos a zonas de uso restringido.	
⁽²⁾ En zonas previstas para usuarios descalzos y en el fondo de los vasos, en las zonas en las que la profundidad no exceda de 1,50 m.	

El coeficiente de resistencia al deslizamiento sin pulido (USRV) del material suministrado, realizado el ensayo según el anexo I de la Norma UNE-EN 1339:2004, deberá satisfacer los requisitos indicados para la Clase 3.

Las características de aspecto y textura del material se definen a continuación.

La cara vista de las baldosas no presentará defectos tales como grietas, o exfoliaciones.

En el caso de las baldosas doble capa no existirán discontinuidades entre las capas.

No se consideran defecto las eflorescencias que puedan aparecer ocasionalmente, sí aquellas que produzcan cambio de color apreciable respecto al del resto del material suministrado.

1.3.2 BALDOSAS DE TERRAZO PARA USO EXTERIOR

Las baldosas de terrazo para uso exterior son elementos de forma y espesor uniforme, fabricados a partir de cemento y áridos minerales, adecuadamente compactados, y manufacturados individualmente por compresión y/o vibración, o moldeados como grandes placas y luego cortados.

Las baldosas de terrazo para uso exterior son diferentes de las baldosas de hormigón fundamentalmente en que los requisitos estéticos y mecánicos de las primeras son más exigentes. Las baldosas de terrazo para uso exterior (incluida su aplicación en cubiertas) están previstas para empleo en pavimentación peatonal a la intemperie donde es predominante el aspecto decorativo de la superficie, por ejemplo paseos, centros comerciales, etc.

A este tipo de material le resulta de aplicación el Documento Básico “DB SU Seguridad de Utilización” del Código Técnico de la Edificación, y las normas UNE-EN 13748-2:2005 Baldosas de terrazo. Parte 2: Baldosas de terrazo para uso exterior y UNE 127748-2:2006 Baldosas de terrazo. Parte 2: Baldosas de terrazo para uso exterior. Complemento Nacional a la Norma UNE-EN 13748-2.

La clasificación de las baldosas de terrazo para uso exterior se efectúa en función de los datos declarados por el fabricante para la obtención del Marcado CE en relación a los siguientes parámetros:

- Clase según espesor de la capa huella: Th I; Th II
- Clase según carga de rotura: 3T; 4T; 7T; 11T; 14T; 25T; 30T

- Clase según resistencia a flexión: ST; TT; UT
- Clase según resistencia al desgaste por abrasión: G; H; I
- Clase según resistencia climática: A; B

En función del número de capas las baldosas se clasifican como Monocapa, o Doble capa.

La designación de las baldosas de terrazo para uso exterior se compondrá de los siguientes términos:

- Referencia al producto mediante el texto “Baldosa de terrazo para uso exterior”
- Referencia a la Norma de aplicación: UNE-EN 13748-2:2005
- Número de capas
- Clase según espesor de la capa de huella
- Clase según carga de rotura
- Clase según resistencia a flexión
- Clase según resistencia al desgaste por abrasión
- Clase según resistencia climática
- Formato, indicando sus medidas nominales expresadas en cm
- Color

Los requisitos dimensionales se definen seguidamente:

Las dimensiones nominales deben ser declaradas por el fabricante. La comprobación de dimensiones será efectuada conforme a los métodos de ensayo descritos en la Norma UNE-EN 13748-2:2005

El espesor de la capa de huella debe ser, al menos de 4 mm si el producto no va a ser pulido tras su colocación y debe ser, al menos de 8 mm si el producto va a ser pulido tras su colocación. Este requisito no es aplicable a baldosas monocapa.

Las desviaciones de las dimensiones reales respecto a las dimensiones nominales declaradas deben cumplir lo establecido en la Tabla 1.15

Tabla 1.15 Tolerancias de las dimensiones nominales

Dimensión	Tolerancia
Longitud del lado	$\pm 0,3\%$
Espesor	± 2 mm (para espesor <40 mm) ± 3 mm (para espesor ≥ 40 mm)
La diferencia entre dos medidas cualesquiera del espesor de una baldosa individual debe ser ≤ 3 mm. Las baldosas especificadas como calibradas tendrán una tolerancia sobre el espesor de ± 1 mm.	

La desviación máxima en cualquier punto sobre la superficie de la cara vista no debe ser superior al 0,3% de la longitud de la diagonal considerada.

Las características físicas y mecánicas se definen seguidamente.

La carga de rotura se determina de acuerdo con el método de ensayo descrito en el apartado 5.5 de la Norma UNE-EN 13748-2:2005.

El fabricante debe indicar para el material suministrado la clase por carga de rotura declarada respecto a los valores indicados en la Tabla 1.16. Por consideraciones de diseño, se debería prestar una atención especial a las posibles condiciones de carga en el caso de baldosas de longitud superior a 600 mm.

Tabla 1.16 Clases por carga de rotura

Clase	Marcado	Carga de rotura	
		Media (kN)	Mínima (kN)
30	3T	$\geq 3,0$	$\geq 2,4$
45	4T	$\geq 4,5$	$\geq 3,6$
70	7T	$\geq 7,0$	$\geq 5,6$
110	11T	$\geq 11,0$	$\geq 8,8$
140	14T	$\geq 14,0$	$\geq 11,2$
250	25T	$\geq 25,0$	$\geq 20,0$
300	30T	$\geq 30,0$	$\geq 24,0$

La resistencia a flexión se determina de acuerdo con el método de ensayo descrito en el apartado 5.5 de la Norma UNE-EN 13748-2:2005.

El fabricante debe indicar para el material suministrado la clase por resistencia a flexión declarada respecto a los valores indicados en la Tabla 1.17.

Tabla 1.17 Clases por resistencia a flexión

Clase	Marcado	Resistencia a flexión	
		Media (kN)	Individual mínima (MPa)
30	3T	≥ 3,0	≥ 2,4
45	4T	≥ 4,5	≥ 3,6
70	7T	≥ 7,0	≥ 5,6

La resistencia al desgaste por abrasión se determina de acuerdo con el método de ensayo de disco ancho descrito en el apartado 5.6 de la Norma UNE-EN 13748-2:2005.

El fabricante debe indicar para el material suministrado la clase por resistencia a la abrasión declarada respecto a los valores indicados en la Tabla 1.18.

Tabla 1.18 Clases por resistencia a la abrasión

Clase	Marcado	Desgaste (mm)
1	F	No especificado
2	G	≤ 26
3	H	≤ 23
4	I	≤ 20

La resistencia climática se determina mediante el ensayo de absorción de agua descrito en el apartado 5.8 de la Norma UNE-EN 13748-2:2005.

El fabricante debe indicar para el material suministrado la clase de absorción de agua declarada respecto a los valores indicados en la Tabla 1.19.

Tabla 1.19 Clases por absorción de agua

Clase	Marcado	Absorción de agua media (%)
1	A	No especificado
2	B	≤ 6

La resistencia al deslizamiento se determina de acuerdo con el método del péndulo de fricción descrito en el apartado 5.7 de la Norma UNE-EN 13748-2:2005.

El fabricante debe indicar para el material suministrado el valor del coeficiente de resistencia al deslizamiento declarado (índice USRV).

En relación al ensayo de resistencia al deslizamiento, el Código Técnico de la Edificación, en el Documento Básico “DB SU Seguridad de Utilización” con el fin de limitar el riesgo de resbalamiento, clasifica los pavimentos en función de su resistencia al deslizamiento, según los valores indicados en la Tabla 1.13, y define las clases admisibles en función de la localización y características del pavimento, según los valores indicados en la Tabla 1.14.

El coeficiente de resistencia al deslizamiento sin pulido (USRV) del material suministrado, realizado el ensayo según el apartado 5.7 de la Norma UNE-EN 13748-2:2005, deberá satisfacer los requisitos indicados para la Clase 3.

La resistencia al impacto se determina de acuerdo con el método descrito en el anexo C de la Norma UNE-EN 127748-2:2006.

La altura de caída H para la que aparece la primera fisura tras impacto, de cada una de las tres baldosas de la muestra del material suministrado sobre la que se haya realizado el ensayo descrito en el anexo C de la Norma UNE-EN 127748-2:2006, deberá ser igual o superior a 600 mm.

A efectos de cumplimiento de este requisito, se define fisura como una hendidura localizada en la cara vista con una profundidad igual o superior a 4mm.

Las características de aspecto y textura del material se definen a continuación.

La cara vista de las baldosas no presentará defectos tales como grietas, o exfoliaciones.

En el caso de las baldosas doble capa no existirán discontinuidades entre las capas.

No se consideran defecto las eflorescencias que puedan aparecer ocasionalmente, sí aquellas que produzcan cambio de color apreciable respecto al del resto del material suministrado.

1.3.3. BALDOSAS DE TERRAZO PARA USO INTERIOR

Las baldosas de terrazo para uso interior son elementos de forma y espesor uniforme, fabricados a partir de cemento y áridos minerales, adecuadamente compactados, y manufacturados individualmente por compresión y/o vibración, o moldeados como grandes placas y luego cortados.

Las baldosas de terrazo para uso interior están previstas para empleo en pavimentación peatonal de zonas no expuestas a la intemperie.

A este tipo de material le resulta de aplicación el Documento Básico “DB SU Seguridad de Utilización” del Código Técnico de la Edificación, y las normas UNE-EN 13748-1:2005 Baldosas de terrazo. Parte 1: Baldosas de terrazo para uso interior. y UNE 127748-1:2006 Baldosas de terrazo. Parte 2: Baldosas de terrazo para uso interior. Complemento Nacional a la Norma UNE-EN 13748-1.

La clasificación de las baldosas de terrazo para uso interior se efectúa en función de los datos declarados por el fabricante para la obtención del Marcado CE, y de la clasificación conforme a la Norma UNE 127748-1:2006, en relación a los siguientes parámetros:

- Clase según espesor de la capa huella: Th I; Th II
- Clase según carga de rotura: BLI; BL II; BL III
- Uso previsto: Normal; Intensivo; Industrial (la descripción de zonas expuestas a estos usos es la indicada en el anexo B de la Norma UNE 127748-1:2006).

En función del número de capas las baldosas se clasifican como Monocapa, o Doble capa.

La designación de las baldosas de terrazo para uso interior se compondrá de los siguientes términos:

- Referencia al producto mediante el texto “Baldosa de terrazo para uso interior”
- Referencia a la Norma de aplicación: UNE-EN 13748-1:2005
- Número de capas
- Clase según espesor de la capa de huella
- Clase según carga de rotura
- Uso previsto
- Formato, indicando sus medidas nominales expresadas en cm
- Color

Los requisitos dimensionales se definen seguidamente:

Las dimensiones nominales deben ser declaradas por el fabricante. La comprobación de dimensiones será efectuada conforme a los métodos de ensayo descritos en la Norma UNE-EN 13748-1:2005.

El espesor de la capa de huella debe ser, al menos de 4 mm si el producto no va a ser pulido tras su colocación y debe ser, al menos de 8 mm si el producto va a ser pulido tras su colocación. Este requisito no es aplicable a baldosas monocapa.

Las desviaciones de las dimensiones reales respecto a las dimensiones nominales declaradas deben cumplir lo establecido en la Tabla 1.20.

Tabla 1.20 Tolerancias de las dimensiones nominales

Dimensión	Tolerancia
Longitud del lado	$\pm 0,3\%$
Espesor	± 2 mm (para espesor < 40 mm) ± 3 mm (para espesor ≥ 40 mm)
La diferencia entre dos medidas cualesquiera del espesor de una baldosa individual debe ser ≤ 3 mm. Las baldosas especificadas como calibradas tendrán una tolerancia sobre el espesor de ± 1 mm.	

La desviación máxima en cualquier punto sobre la superficie de la cara vista no debe ser superior al 0,3% de la longitud de la diagonal considerada.

Las características físicas y mecánicas se definen seguidamente.

La carga de rotura se determina de acuerdo con el método de ensayo descrito en el apartado 5.5 de la Norma UNE-EN 13748-1:2005.

La carga de rotura a flexión del material suministrado, realizado el ensayo sobre cuatro baldosas de la muestra, según el apartado 5.5 de la Norma UNE-EN 13748-1:2005, deberá satisfacer los requisitos indicados en la Tabla 1.21, en función del uso previsto para el que el material haya sido garantizado.

Tabla 1.21 Carga de rotura por cada tipo de uso

Uso previsto	Superficie de la baldosa (cm²)	Carga de rotura (valor individual) (kN)
Normal	≤ 1100	$\geq 2,5$
	> 1100	$\geq 3,0$
Intensivo	≤ 1100	$\geq 3,0$
	> 1100	$\geq 3,9$
Industrial	≤ 1100	$\geq 3,6$
	> 1100	$\geq 4,7$

La resistencia a flexión se determina de acuerdo con el método de ensayo descrito en el apartado 5.5 de la Norma UNE-EN 13748-1:2005.

La resistencia a flexión media del material suministrado, realizado el ensayo sobre cuatro baldosas de la muestra, según el apartado 5.5 de la Norma UNE-EN 13748-1:2005, deberá ser igual o superior a 5,00 MPa, y ningún resultado individual debe ser inferior de 4,00 MPa.

La resistencia al desgaste por abrasión se determina de acuerdo con el método de ensayo de disco ancho descrito en el apartado 5.6 de la Norma UNE-EN 13748-1:2005.

La resistencia a la abrasión del material suministrado, realizado el ensayo sobre tres baldosas de la muestra, según el apartado 5.6 de la Norma UNE-EN 13748-1:2005, deberá satisfacer los requisitos indicados en la Tabla 1.22, en función del uso previsto para el que el material haya sido garantizado.

Tabla 1.22 Desgaste por abrasión por cada tipo de uso

Uso previsto	Desgaste por abrasión (valor individual) (mm)
Normal	≤ 25
Intensivo	≤ 23
Industrial	≤ 21

La absorción de agua se determina mediante el ensayo descrito en el apartado 5.8 de la Norma UNE-EN 13748-1:2005.

La absorción de agua del material suministrado, realizado el ensayo sobre tres baldosas de la muestra, según el apartado 5.8 de la Norma UNE-EN 13748-1:2005, deberá ser igual o inferior al 8% en masa, para cada uno de los resultados individuales obtenidos.

La absorción de agua por la cara vista, realizado el ensayo según el apartado 5.8 de la Norma UNE-EN 13748-1:2005, deberá ser inferior o igual a 0,4 g/cm², para cada uno de los resultados individuales obtenidos.

La resistencia al deslizamiento se determina de acuerdo con el método del péndulo de fricción descrito en el apartado 5.7 de la Norma UNE-EN 13748-1:2005.

El fabricante debe indicar para el material suministrado el valor del coeficiente de resistencia al deslizamiento declarado (índice USRV).

En relación al ensayo de resistencia al deslizamiento, el Código Técnico de la Edificación, en el Documento Básico “DB SU Seguridad de Utilización” con el fin de limitar el riesgo de resbalamiento, clasifica los pavimentos en función de su resistencia al deslizamiento, según los valores indicados en la Tabla 1.13, y define las clases admisibles en función de la localización y características del pavimento, según los valores indicados en la Tabla 1.14.

El coeficiente de resistencia al deslizamiento sin pulido (USRV) del material suministrado, realizado el ensayo según el apartado 5.7 de la Norma UNE-EN 13748-1:2005, deberá satisfacer los requisitos indicados para la Clase 3.

La resistencia al impacto se determina de acuerdo con el método descrito en el anexo C de la Norma UNE-EN 127748-1:2006.

La altura de caída (H) para la que aparece la primera fisura tras impacto, realizado el ensayo sobre tres baldosas de la muestra, según el anexo C de la Norma UNE-EN 13748-1:2005, deberá satisfacer los requisitos indicados en la Tabla 1.23, en función del uso previsto para el que el material haya sido garantizado.

Tabla 1.23 Resistencia al impacto por cada tipo de uso

Uso previsto	Altura de caída (H) (mm)
Normal	≥ 400
Intensivo	≥ 500
Industrial	≥ 600

El requisito indicado para cada uso es aplicable para cada uno de los resultados individuales obtenidos.

A efectos de cumplimiento de este requisito, se define fisura como una hendidura localizada en la cara vista con una profundidad igual o superior a 4mm.

Las características de aspecto y textura del material se definen a continuación.

La cara vista de las baldosas no presentará defectos tales como grietas, o exfoliaciones.

En el caso de las baldosas doble capa no existirán discontinuidades entre las capas.

No se consideran defecto las eflorescencias que puedan aparecer ocasionalmente, sí aquellas que produzcan cambio de color apreciable respecto al del resto del material suministrado.

1.4. ALGUNOS DATOS ESTADÍSTICOS SOBRE ACERAS

1.4.1. DATOS GENERALES

Es justo reconocer que, frente a una tecnología propia y muy desarrollada sobre los firmes y pavimentos de las vías interurbanas, no existe, por el contrario, una cultura específica sobre las vías urbanas.

No deja de ser llamativo este hecho si se considera la gran superficie de viario urbano existente en nuestro país.

Según datos de los Anuarios Estadísticos del Ministerio de Fomento de los años 2001 y 2004 el conjunto de carreteras y vías urbanas de España asciende a 653.253 Km.

Tabla 1.24. Longitud en km de la red de vías españolas

Tipo de vía	Red Estatal	Red Autonómica	Red Local		TOTAL
			Diputaciones	Ayuntamientos	
Autopistas de peaje	1.818	386			2.204
Autopistas libres y autovías	5.836	1.702			7.538
Carreteras convencionales	16.449	68.749			85.198
Viario interurbano			68.615	361.519	430.134
Viario urbano				128.179	128.179
TOTAL	24.103	70.837	68.615	489.698	653.253

Fuente : Anuarios Estadísticos Ministerio de Fomento 2001 y 2004

La red estatal, gestionada por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, tiene 24.103 km de longitud.

La red autonómica, gestionada por las Comunidades Autónomas y por las Diputaciones Provinciales, consta de 139.452 Km. El resto de la red, o sea 489.698 Km, está formado por carreteras, calles y caminos, a cargo de distintos organismos, de los que 128.179 Km corresponden al viario urbano, esto es, calles y plazas del entorno urbano cuya gestión está encomendada a los Ayuntamientos.

Vemos, pues, que cerca del 20% de la longitud total del viario corresponde al viario urbano.

Estos resultados son coherentes con lo que ocurre en los países de nuestro entorno, como se puede apreciar en la Tabla 1.25 en la que se compara la longitud, en metros, del viario de dependencia municipal en algunos de ellos.

Tabla 1.25. Red de dependencia municipal

m/ hab		m/ hab	
Irlanda	21,40	Holanda	7,38
Bélgica	12,79	Grecia	7,25
Dinamarca	11,47	Alemania	6,18
España	9,47	Reino Unido	5,43
Francia	8,62	Italia	2,48

Fuente: Anuarios Estadísticos Ministerio de Fomento 2001 y 2004

Otro dato relevante extraído del citado Anuario Estadístico del Ministerio de Fomento de 2004 que contiene una investigación desarrollada durante 1998 sobre el viario de dependencia municipal, es que mientras que solo está pavimentado el 69,5 por ciento del viario interurbano municipal, el viario urbano está pavimentado, prácticamente, en su totalidad, 88,5 por ciento. En base a ello podemos estimar en 114.438 los Km de viario urbano pavimentado.

Tabla 1.26

Ciudad	Habitantes (1)	Km de viario (2)	m ² de viario	
			calzadas	aceras
Madrid	3.128.600	3.869	34.526.237	22.930.524
Barcelona	1.605.602	1.174	10.336.606	5.385.264
Valencia	805.304	1.400	12500000 (3)	7000000 (3)
Sevilla	704.414	1.070	9500000 (3)	4800000 (3)
Zaragoza	649.181	900	8.100.000	5.400.000
Málaga	560.631	890	5.299.796	4.056.459
Murcia	416.996	265	1.855.000	794.000

Fuentes: (1) según población de derecho de 1996
 (2) según anuario estadístico Ministerio de Fomento
 (3) estimados
 Resto de datos facilitados por los respectivos Ayuntamientos

Tabla 1.27

Ciudad	Ratios		
	m ² calzada / m ² acera	m ² calzada / habitantes	m ² acera / habitantes
Madrid	1,51	11,04	7,33
Barcelona	1,92	6,44	3,35
Valencia	1,79	15,52	8,69
Sevilla	1,98	13,49	6,81
Zaragoza	1,50	12,48	8,32
Málaga	1,31	9,45	7,24
Murcia	2,34	4,45	1,90

En otro orden de cosas, si nos fijamos en las siete ciudades españolas con mayor número de habitantes, los datos contenidos en las Tablas 1.26 y 1.27 nos permiten calcular la media de las relaciones m² de aceras / habitantes, ponderada con el número de habitantes, que resulta ser 6,39.

Si aplicamos este ratio al número de habitantes de España, que a 1 de enero de 2006 eran 44.708.964, obtenemos una superficie media estimada de aceras de 285,7 millones de m², que proporciona un ancho medio, por metro lineal de vía, de 2,49 m.

Análogamente, la media de las relaciones m² calzada / habitantes ponderada, también, con el número de habitantes, es de 10,43, lo que conduce a una superficie media estimada para las calzadas de 466,3 millones de m².

En resumen, podemos de este modo estimar que la superficie de viario urbano en nuestro país supera los 752 millones de m².

Entendemos que estos datos justificarían, sobradamente, una tecnología propia y específica sobre los firmes y pavimentos urbanos, que si bien, y parece evidente, presenta puntos comunes con la tecnología de los firmes interurbanos, también presenta significativas singularidades específicas, que nacen desde el momento en que existen importantes rasgos diferenciados entre calles y carreteras, tanto desde el punto de vista

funcional como desde el relativo a las solicitudes externas y otros condicionantes del entorno.

La inexistencia de una tecnología propia del viario urbano en materia de afirmado es lo que ha motivado a las Administraciones Públicas a adoptar, con carácter muy generalizado, los diferentes Pliegos y Normativas referentes a materiales, tipología de firmes, sistemas constructivos, control de calidad, etc. que rigen para las carreteras, situación que debería corregirse.

Centrándonos en los 285,7 millones de metros cuadrados de aceras, vamos a analizar, someramente, la tipología de sus pavimentos.

Para ello vamos a considerar, solamente, los datos relativos a Madrid y Barcelona por ser los más completos a los que hemos tenido acceso y, por otro lado, los más representativos a nivel nacional.

En la Tabla 1.28 se recogen los datos que nos han facilitado los Servicios Técnicos de estos dos ayuntamientos, significando que con el término loseta hidráulica se refieren, indistintamente, a las baldosas monocapa (1.2) y a las baldosas hidráulicas, bicapa o tricapa, propiamente dichas.

Tabla 1.28

TIPO DE PAVIMENTO EN ACERAS	MADRID	BARCELONA
ADOQUÍN GRANÍTICO	118.196	
ADOQUÍN PREFABRICADO	954.826	
AGLOMERADO ASFÁLTICO	127.252	256.450
CEMENTO CONTINUO	161.319	
EMPEDRADO DE GRANITO	32.322	
HORMIGÓN	51.378	
LOSAS DE GRANITO	1.052.187	38.833
LOSAS DE HORMIGÓN		135.056
LOSETA HIDRÁULICA	16.755.597	3.902.253
PAVIMENTO IMPRESO	42.731	
TERRAZO	2.638.499	444.060
TERRIZO	234.062	606.678
ZAHORRA	12.392	
ZONA VERDE	105.980	
NO ESPECIFICADO	643.782	1.934
TOTALES	22.930.523	5.385.264
m² de loseta hidráulica / m² de aceras (%)	73,07	72,46
m² de terrazo / m² de aceras (%)	11,51	8,25
m² de baldosa de cemento/ m² de aceras (%)	84,58	80,71

Como vemos, prácticamente, el 73% de la superficie de aceras tiene por pavimento loseta hidráulica, lo que permite estimar en más de 209 millones de metros cuadrados la superficie de aceras pavimentada con este material.

Procediendo, análogamente, con el 11% de superficie de aceras pavimentada con terrazo en Madrid y Barcelona, podemos inferir que este material se emplea en más de 31 millones de metros cuadrados de las aceras españolas.

Resumiendo, es razonable estimar que de los 285 millones de metros cuadrados de aceras existentes en España, más de 240 millones están pavimentados con baldosas de cemento.

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 comunicación discurren en gran medida bajo nuestras aceras. Estas redes están sometidas a continuas actuaciones bien por su necesaria ampliación por falta de capacidad, por la aparición de nuevos usuarios que requieren nuevas acometidas o, finalmente por las, muchas veces, inevitables averías.

La Tabla 1.29 incluye datos de las licencias concedidas en 2001 y 2002 para la realización de las calas (longitud menor de 25 m) y canalizaciones (longitud mayor de 25 m) solicitadas por las compañías de servicios en el Ayuntamiento de Madrid.

Tabla 1.29 Licencias concedidas en el Ayuntamiento de Madrid

AÑO	CALAS	CANALIZACIONES	AVERÍAS	TOTAL
2001	9.851	1.585	11.665	23.101
2002	9.442	1.648	10.002	21.092

Fuente: Área de Obras del Ayuntamiento de Madrid

Asignando las longitudes habituales en estas obras, 20 m para las calas, 200 m para las canalizaciones y 10 m para las averías, resulta una longitud anual de más de 624 Km que suponen, con un ancho medio de 1,00 m, cerca de 624.500 m² de pavimento repuesto, en su mayor parte, un 80%, de aceras y por tanto de baldosas de cemento.

Extrapolando estas cantidades al resto de nuestras ciudades se obtiene que, solamente por reposiciones, por estos conceptos, empleamos más de 7 millones de metros cuadrados de baldosas de cemento al año.

Estas obras tienen, además, la característica de ser muy numerosas, como muestran los datos incluidos en la Tabla 1.30, y estar muy distribuidas por las ciudades.

Tabla 1.30 Obras en ejecución en el Ayuntamiento de Madrid

FECHA	CALAS	CANALIZACIONES	AVERÍAS	TOTAL
31/01/2003	342	127	456	925
28/02/2003	390	111	373	874
31/03/2003	375	108	322	805
30/04/2003	519	131	296	946
31/05/2003	647	156	220	1.023

Fuente : Área de Obras del Ayuntamiento de Madrid

Por ello afectan de una manera muy importante a la durabilidad de los firmes de las aceras, que raramente superan un plazo de amortización de 15 años.

De todo lo anterior deducimos que solamente la conservación rutinaria de los pavimentos de las aceras de nuestras ciudades requieren un consumo anual de más de 23 millones de m² de baldosas de cemento, al que habrá que añadir el empleado en las obras de mejora y grandes rehabilitaciones.

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 m² el consumo de 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.

1.4.2. RESULTADOS DE ENSAYOS EFECTUADOS EN BALDOSAS DE CEMENTO EN LA CIUDAD DE MADRID

En 2003, se realizó en el Área de Obras del Ayuntamiento de Madrid bajo la dirección del autor de esta tesis, un estudio estadístico sobre la calidad de las baldosas de cemento que se estaban colocando en las aceras madrileñas, entre julio de 2000 y julio de 2003.

Durante este periodo se realizaron, por INTEMAC, adjudicataria del servicio de control de calidad de las obras municipales, 15.374 ensayos sobre baldosas de cemento. La toma de muestras, se realizó en el material suministrado a las obras.

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.

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 en todas las obras, y, de este modo, poder, con criterio, mejorar la calidad, tanto de los materiales y unidades de obra, como de las propias obras en su conjunto.

Durante estos cuatro años se realizaron 15.692 ensayos sobre prefabricados de cemento de los que, más del 80%, eran 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.

Las conclusiones más significativas obtenidas en el estudio, se recogen seguidamente:

Los valores obtenidos en los ensayos y su comparación con las prescripciones establecidas en el Pliego de Condiciones Técnicas Generales (PCTG), de 1988, se indican en la Tabla 1.31.

Tabla 1.31. Estudio estadístico de 2003

Características	PCTG	Parámetros estadísticos			
		Media	Desviación típica	Coefficiente de variación	% de conformidad
Absorción (%)	≤ 7,5	7,29	0,74	10,10	59,00
Desgaste (mm)	≤ 2	1,71	0,44	25,80	67,00
Flexión cara (Kp/cm ²)	≥ 50	64,70	1,29	19,90	80,00
Flexión dorso (Kp/cm ²)	≥ 40	76,10	3,06	40,20	94,00
Choque (mm)	≥ 600	692,00	56,13	8,10	87,00

Fuente : Área de Obras del Ayuntamiento de Madrid

El porcentaje de conformidad, se dedujo a partir de la distribución normal obtenida de la media y de la desviación típica.

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.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

La mayoría de las investigaciones sobre pavimentos urbanos, se han centrado en el estudio de las zonas viales para el tráfico rodado, quedando las aceras conceptuadas como unos elementos constructivos de interés secundario.

Sin embargo, es frecuente que los usuarios muestren una mayor sensibilidad ante el estado de las aceras, tanto en lo que respecta a su confort frente al tráfico peatonal, como a sus condiciones de durabilidad. Por otra parte es importante la incidencia que en lo económico tienen estos elementos constructivos, los cuales a menudo no son de tan frecuente reposición como los pavimentos correspondientes a las zonas de rodadura de vehículos.

Todas las grandes ciudades tienen tipificadas sus aceras, de forma que las soluciones constructivas se especifican y desarrollan siguiendo prescripciones de épocas pasadas.

Evidentemente, el aspecto de una ciudad queda unívocamente unido a la tipología que se adopte como solución para sus aceras, bien con carácter general o por áreas urbanas.

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

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 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 ocasional, constituye el objetivo fundamental de esta investigación.

Los resultados obtenidos permitirán optimizar las soluciones constructivas de estas unidades de obra, tanto desde el punto de vista resistente como económico.

2. PLAN DE ENSAYOS

2.1. INTRODUCCIÓN

En este apartado se expone el planteamiento de la investigación experimental realizada para estudiar diversos factores que afectan a la resistencia, funcionalidad y durabilidad de las aceras. Se contemplan únicamente aceras construidas con baldosas, tal y como más adelante se especifica.

El programa de investigación efectuado comprende diversas fases claramente diferenciadas:

FASE I: Identificación y caracterización en estado de suministro de las baldosas a utilizar en el ensayo.

FASE II: Comportamiento de ocho módulos de prueba, constituidos por diferentes muestras de baldosas recibidas con mortero sobre una base de hormigón previamente dispuesta, frente a ciclos de envejecimiento acelerado.

FASE III: Determinación de las propiedades mecánicas de un firme en su conjunto, mediante la definición y estudio de una serie de tramos de prueba que combinan distintas variables relativas a la explanada, espesor de la base de hormigón y sollicitaciones de uso.

Los tipos de baldosas utilizadas para el desarrollo del presente Plan de Ensayos, son los siguientes:

- Baldosa monocapa 15x15.
- Baldosa hidráulica bicapa 15x15.
- Baldosa de botones 20x20.
- Baldosa de terrazo 30x30.

En los apartados siguientes se definen los ensayos correspondientes a cada una de las fases inicialmente previstas.

2.2. TOMA DE MUESTRAS

La toma de muestras de los materiales ha sido efectuada por personal de INTEMAC en las fábricas de los suministradores de las baldosas consideradas. Aun cuando la elección se ha realizado aleatoriamente, se ha efectuado sobre acopios de material cuya edad en el momento del muestreo resultaba igual o superior a 28 días.

Por cada tipo de baldosas se ha tomado un palet ($V \approx 1 \text{ m}^3$). De este acopio se han utilizado las baldosas según se describe en la tabla siguiente:

Tabla 2.1

Designación de las baldosas	Ensayos de caracterización "C"	Ensayos tras envejecimiento +20/49 °C "S"	Ensayos tras envejecimiento +20/20 °C "H"	Módulos de prueba 60x60 cm "I"	Módulos de prueba 30X30 cm "A"	Pavimento exterior "P"	TOTAL
Monocapa 15x15	10	10	10	48	16	512	606
Hidráulica 15x15	10	10	10	48	16	512	606
Hidráulica botones 20x20	10	10	10	27	12	288	357
Terrazo 30x30	10	10	10	12	4	128	174

Las baldosas designadas "C", "S" y "H", han sido desecadas a 105°C previamente a la realización de los ensayos.

2.3. ENSAYOS DE IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS BALDOSAS

Sobre las muestras de material anteriormente definidas, se han realizado los ensayos que se indican a continuación (Fase I).

- Desgaste por abrasión, según UNE 127005/1
- Resistencia a flexión, según UNE 127006
- Absorción de agua, según UNE 127002
- Resistencia al choque, según UNE 127007
- Heladicidad, según UNE 127004
- Características geométricas, según UNE 127001
- Permeabilidad y absorción de agua por la cara vista, según UNE 127003

En la Tabla 2.2 se indica la normativa a aplicar para su calificación posterior.

Tabla 2.2

VALORES DE ESPECIFICACIÓN								
DETERMINACIONES EFECTUADAS		TIPO DE BALDOSA	ESPECIFICACIONES UNE 127001				ESPECIFICACIONES DEL P.C.T.G. DEL Exmo. AYUNTAMIENTO DE MADRID	
			USO NORMAL	USO INTENSIVO	USO INDUSTRIAL	USO EXTERIOR		
Desgaste (mm) ⁽¹⁾		Monocapa, hidráulica y botones	≤ 3,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 1,5	≤ 3	
		Terrazo	≤ 2,0	≤ 1,7	≤ 1,5	≤ 1,2		
Flexión (N/mm ²)		Cara	Monocapa, hidráulica y botones	≥ 3,5	≥ 4,5	≥ 5,0	≥ 5,0	≥ 5
			Terrazo	≥ 4,5	≥ 5,0	≥ 6,0	≥ 6,0	≥ 6
		Dorso	Monocapa, hidráulica y botones	≥ 2,5	≥ 4,0	≥ 4,0	≥ 4,0	≥ 3
			Terrazo	≥ 3,5	≥ 4,0	≥ 4,5	≥ 4,5	≥ 4
Absorción de agua (%)		Todas	≤ 10,0	≤ 9,0	≤ 7,5	≤ 7,5	≤ 10	
Choque (mm)		Fisuración	Todas	≥ 400	≥ 500	≥ 600	≥ 600	-
		Rotura	Monocapa, hidráulica y botones	-	-	-	-	≥ 600
			Terrazo	-	-	-	-	≥ 700
Permeabilidad y absorción de agua por la cara vista.		Todas	SATISFACTORIA				-	
Heladicidad		Todas	SATISFACTORIA				Satisfactoria	
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS	Longitud (desviación, %)		Todas	≤ 0,5 (Lado ≤ 300 mm) ≤ 0,3 (Lado > 300 mm)			≤ 0,3	
	Anchura (desviación, %)		Todas	≤ 0,5 (Lado ≤ 300 mm) ≤ 0,3 (Lado > 300 mm)			≤ 0,3	
	Espesor	Valor medio (mm)	Todas	± 2 (Espesor ≤ 40 mm)			≥ 30	
		Variación (%)		-			≤ 8	
	Espesor capa de huella (mm)...		Hidráulica y botones	≥ 5,0			≥ 8	
			Terrazo	≥ 7,0				
	Desviación de ángulos (mm)...		Todas	≤ 0,4			≤ 0,1	
	Rectitud de aristas (%)		Todas	≤ 0,2			≤ 0,3	
Planeidad (%)		Todas	≤ 0,2 (Textura pulida) ≤ 0,3 (Otras texturas)			≤ 0,3		

(1) Las especificaciones que con respecto al ensayo de desgaste establece la norma UNE 127001 tienen únicamente carácter informativo, por lo que no son aplicables como criterio de aceptación o rechazo del material.

2.4. COMPORTAMIENTO FRENTE A CICLOS DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO

Los ensayos (Fase II) se han efectuado sobre ocho módulos de prueba fabricados al efecto. Cada módulo tiene unas dimensiones en planta de 60x60 cm² y está constituido 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 tipo de baldosa se han fabricado dos módulos de prueba diferenciados por la calidad de mortero de unión de base a utilizar:

Tabla 2.3

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

Los módulos así fabricados han sido sometidos durante 4 meses a un proceso de envejecimiento artificial en cámara climatizada consistente en la aplicación alternativa de ciclos de temperaturas comprendidas entre +20 °C y +40 °C, completados con secuencias de secado-humectación, siguiendo los ciclos que se detallan a continuación:

- 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 paralelo al proceso anteriormente definido, sobre módulos de prueba análogos a los citados anteriormente, ejecutados únicamente con el mortero tipo I, se han efectuado 25 ciclos de choque térmico (48 horas por ciclo) consistentes en la aplicación de temperaturas

alternativas de -20°C y +20°C. El efecto de los ciclos de envejecimiento artificial y choque térmico 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 efectuadas han sido las siguientes:

Sobre módulos de prueba (60x60 cm)

- Variación dimensional, según UNE 127001
- Planeidad, según UNE 127001
- Medida de resistencia al deslizamiento mediante péndulo TRRL, según NLT 175
- Cuantificación de defectos, según UNE 127001 (apartado 7.1)
- Coordenadas cromáticas (L, a, b)

Sobre baldosas^(*)

- Desgaste por abrasión, según UNE 127005/1
- Resistencia a flexión, según UNE 127006
- Absorción de agua, según UNE 127002
- Resistencia al choque, según UNE 127007
- Heladicidad, según UNE 127004
- Características geométricas, según UNE 127001
- Permeabilidad y absorción de agua por la cara vista, según UNE 127003.

Además de la fabricación de los módulos de prueba de 60x60 cm previamente descritos, se han fabricado módulos de prueba adicionales, con unas dimensiones en planta de 30x30 cm constituidos por fragmentos de las baldosas objeto de estudio talladas a 5x5 cm, a modo de “mosaico”.

^(*) Los valores obtenidos en los ensayos realizados sobre baldosas sin colocar, envejecidas de forma análoga y simultáneamente a los módulos de prueba, serían comparados con los de caracterización definidos en el apartado 2.3.

Estas losetas han sido asentadas sobre una base de hormigón H-250 de 5 cm de espesor y recibidas a la misma mediante una capa de mortero de unión de 3 cm de espesor. Se han fabricado un total de cuatro módulos, dos por cada tipo de mortero (tipo I y tipo II según se definieron con anterioridad), de modo que dos módulos (con diferente tipología de mortero) han sido sometidos a envejecimiento por ciclos de humectación y secado y los otros dos por choque térmico.

Sobre el “mosaico” de los cuatro módulos se han efectuado ensayos de adherencia según UNE 83822 (cinco arrancamientos por módulo), antes y después de la realización de los envejecimientos descritos.

2.5. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL FIRME EN SU CONJUNTO

Se han realizado en las instalaciones del Laboratorio Central de INTEMAC dieciséis tramos de firme de prueba de 2,40 m de longitud, 1,20 m de anchura y $\approx 0,70$ m de profundidad, resultantes de la combinación de las variables siguientes:

- Cuatro tipos de baldosas (definidas en el apartado 2.1)
- Una calidad del mortero de fijación (Tipo II)^(*)
- Dos espesores de la base de hormigón H-250 ($e_1 = 4$ cm y $e_2 = 10$ cm)
- Dos grados de compactación de la explanada:
 - Deficiente: 85 % Próctor Normal
 - Correcto: ≥ 95 % Próctor Normal

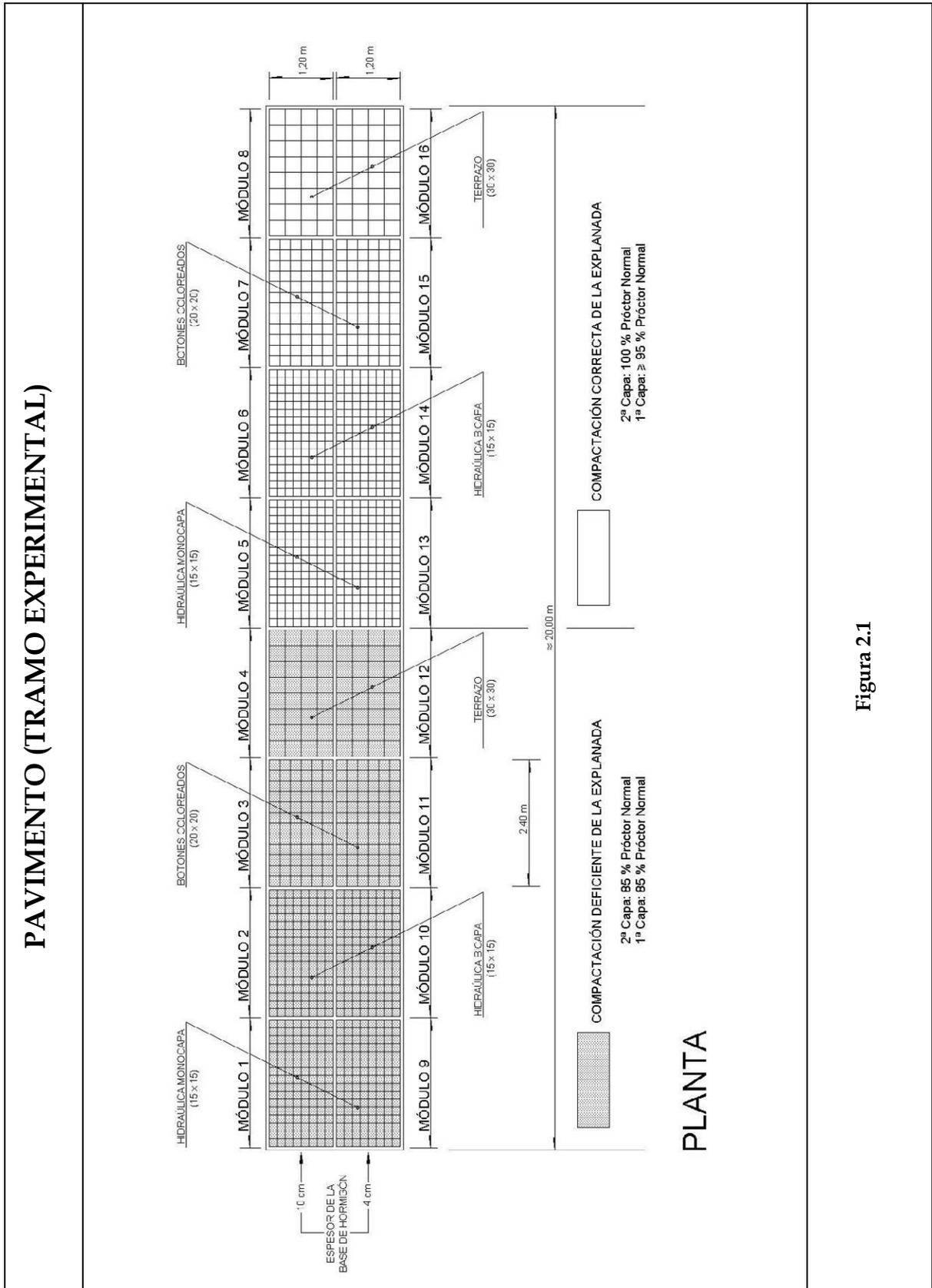
La separación entre los distintos tramos de ensayo fue asegurada mediante planchas de poliestireno de 3 cm de espesor, recubiertas en su plano superior por un producto de sellado (masilla de poliuretano).

^(*) Véase apartado 2.4.

En la Tabla 2.4 se definen las características específicas de cada módulo de ensayo. En las Figuras 2.1 a 2.6 identifican la posición y características de cada tramo.

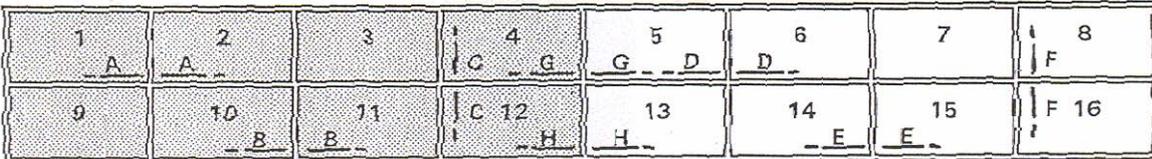
Tabla 2.4 Características de los módulos

MÓDULO N°	TIPO DE BALDOSA DE PAVIMENTACIÓN	ESPESOR DE LA CAPA DE MORTERO DE FIJACIÓN (TIPO II)	ESPESOR DE LA BASE DE HORMIGÓN H-250 (cm)	GRADO DE COMPACTACIÓN DE LA SUBBASE	
				2ª CAPA ESPESOR	1ª CAPA ESPESOR
1	Hidráulica monocapa (15x15)	3	10	85 % P.N. (e = 25 cm)	85 % P.N. (e = 25 cm)
2	Hidráulica bicapa (15x15)				
3	Botones coloreados (20x20)				
4	Baldosa de terrazo (30x30)				
5	Hidráulica monocapa (15x15)	3	10	100 % P.N. (e = 25 cm)	≥ 95 % P.N. (e = 25 cm)
6	Hidráulica bicapa (15x15)				
7	Botones coloreados (20x20)				
8	Baldosa de terrazo (30x30)				
9	Hidráulica monocapa (15x15)	3	4	85 % P.N. (e = 25 cm)	85 % P.N. (e = 30 cm)
10	Hidráulica bicapa (15x15)				
11	Botones coloreados (20x20)				
12	Baldosa de terrazo (30x30)				
13	Hidráulica monocapa (15x15)	3	4	100 % P.N. (e = 25 cm)	≥ 95 % P.N. (e = 25 cm)
14	Hidráulica bicapa (15x15)				
15	Botones coloreados (20x20)				
16	Baldosa de terrazo (30x30)				



PAVIMENTO (TRAMO EXPERIMENTAL)

- REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA -



SECCIÓN A-A

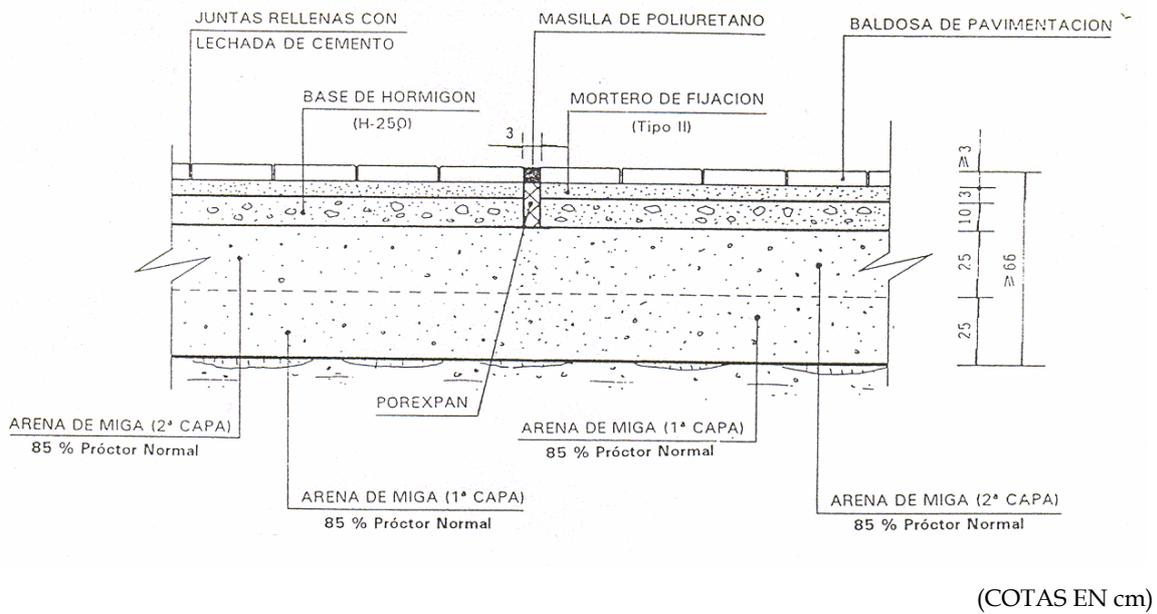
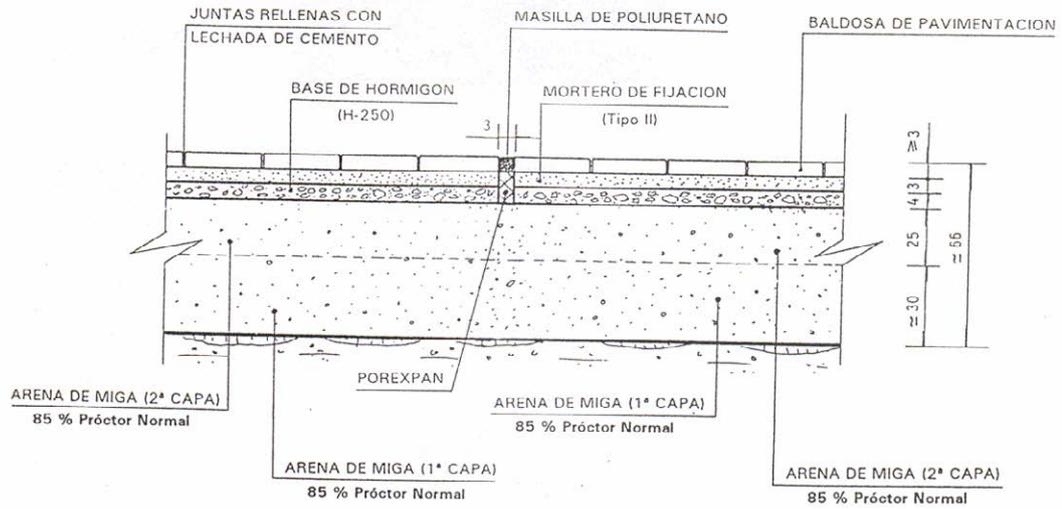
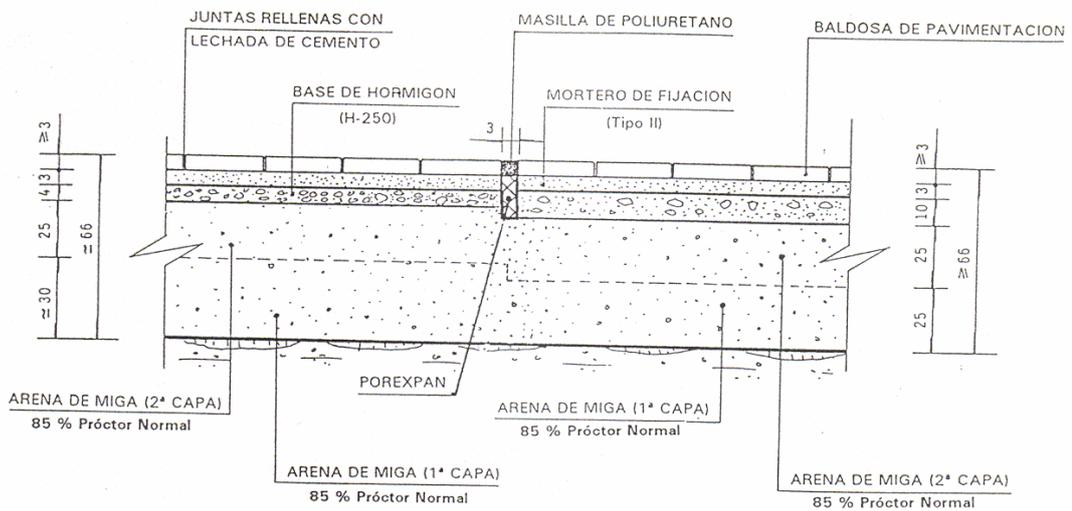


Figura 2.2

SECCIÓN B-B



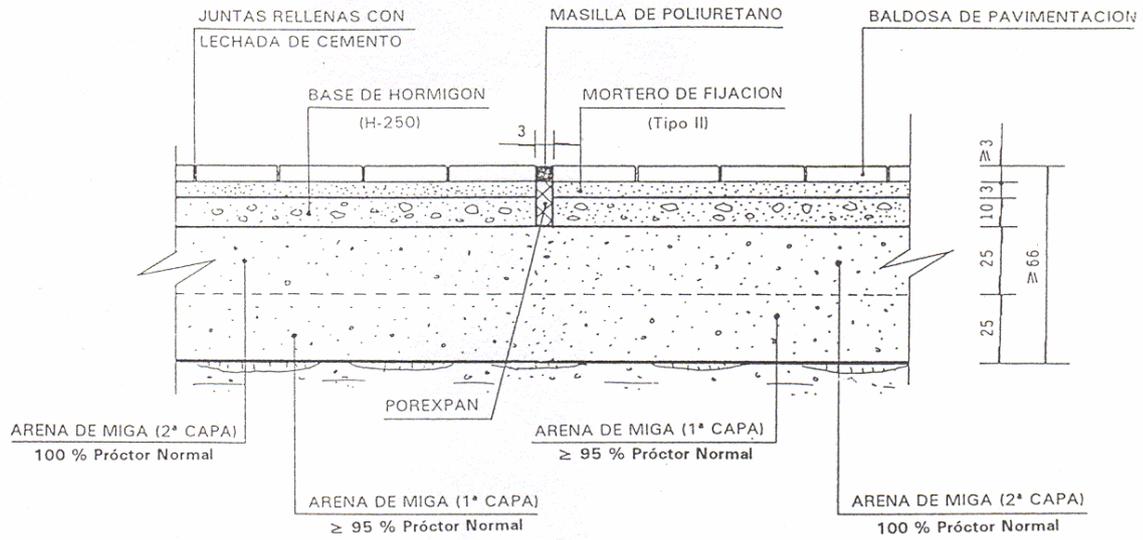
SECCIÓN C-C



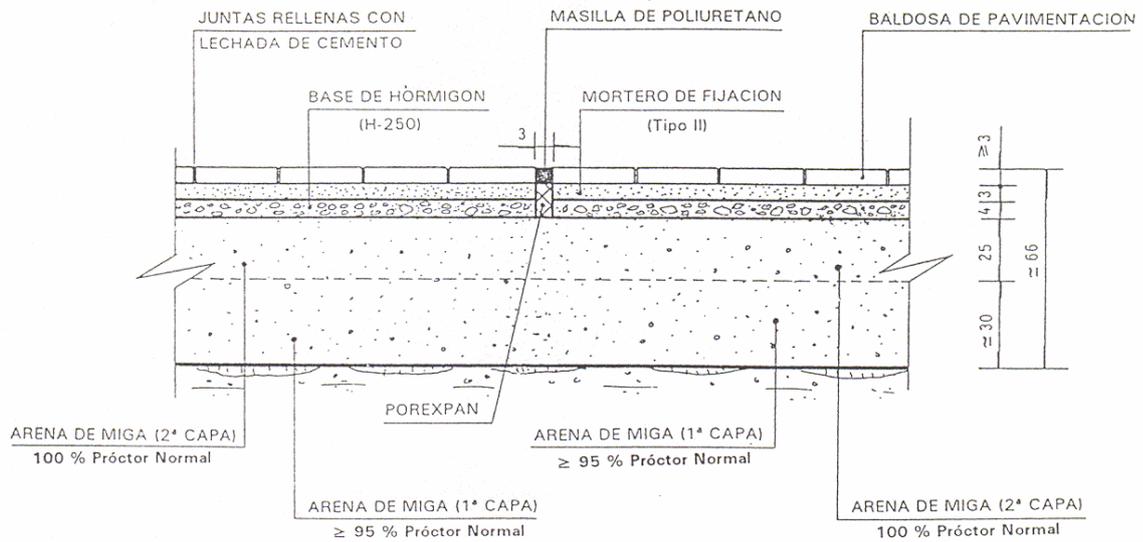
(COTAS EN cm)

Figura 2.3

SECCIÓN D-D

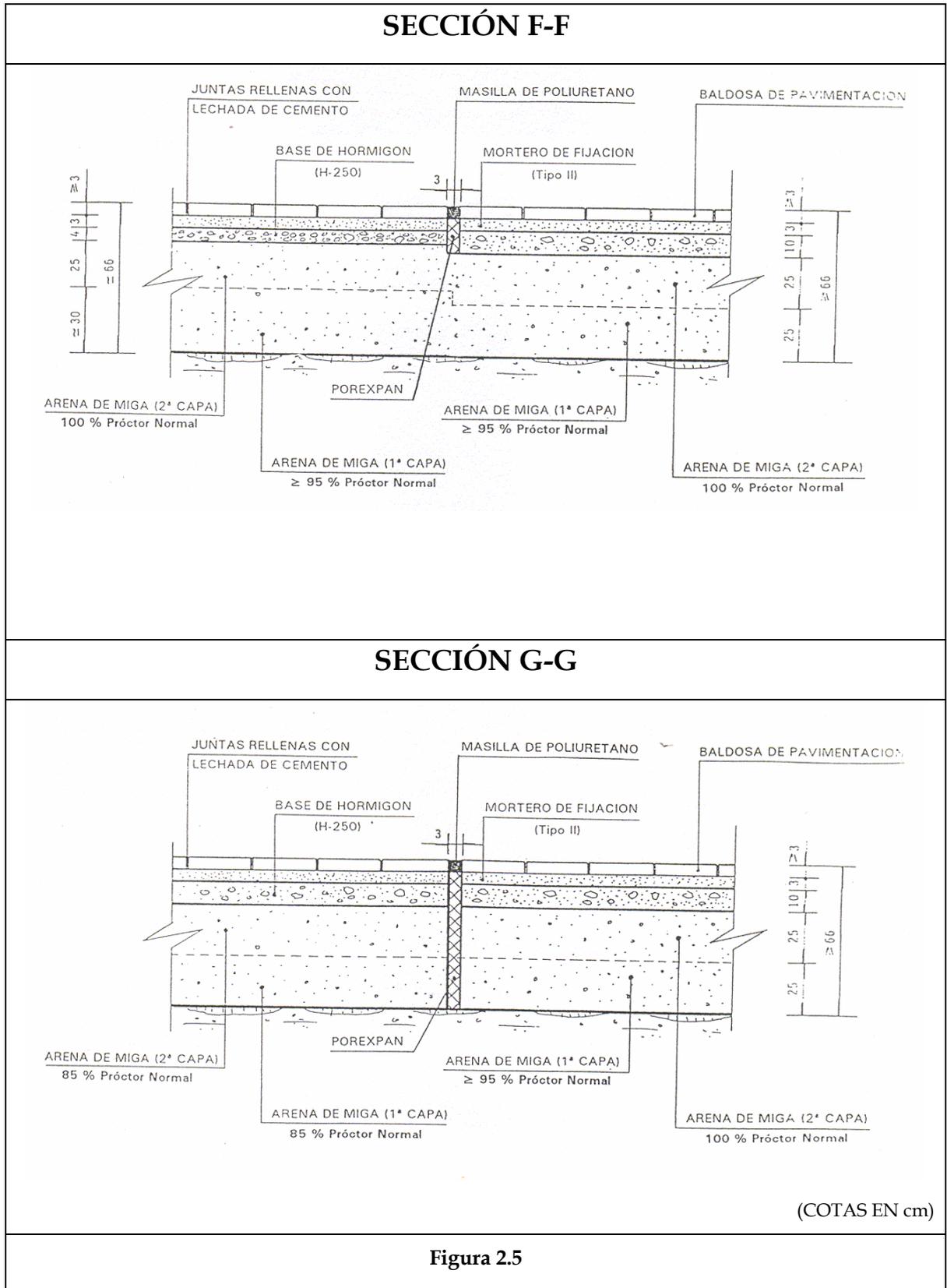


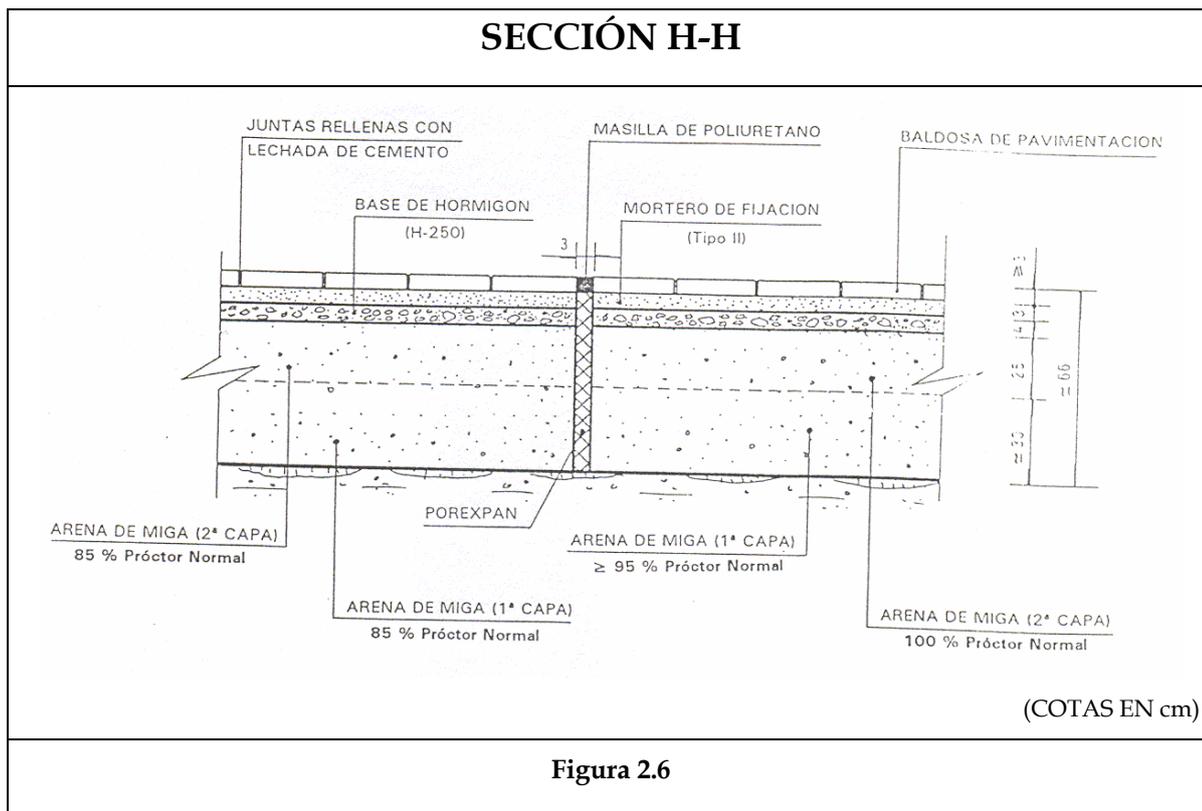
SECCIÓN E-E



(COTAS EN cm)

Figura 2.4





Sobre los tramos experimentales del firme anteriormente definidos, se han efectuado 1.200 pasadas de un vehículo ligero ($P \approx 1.000$ Kg por eje) uniformemente distribuidas a lo largo de un plazo de cuatro meses. Ocasionalmente, el pavimento de prueba ha quedado sometido a la acción del tráfico peatonal durante el período de tiempo previsto para la realización de los ensayos.

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 se refiere la norma ASTM E 1155. Una vez concluido el período inicialmente previsto, ha sido efectuada una nueva determinación de todos los parámetros anteriormente definidos.

2.6. PROGRAMACIÓN DE LOS ENSAYOS

En la Tabla 2.5 se indica el periodo de realización de los ensayos efectuados.

Tabla 2.5 Programación de los ensayos

TAREA	1997												1998												
	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AG	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AG	SEP	OCT	NOV
DEFINICIÓN DEFINITIVA PLAN DE ENSAYOS Y SELECCIÓN DE BALDOSAS	█																								
ADQUISICIÓN EQUIPOS	█																								
FASE I	Construcción probetas																								
	Ensayos iniciales																								
	Envejecimiento artificial																								
	Choque térmico																								
Ensayos finales												█													
FASE II	Construcción pavimento de prueba																								
	Medidas iniciales																								
	Tráfico normal																								
	Medidas y ensayos finales												█												
REDACCIÓN DE INFORME													█												

3. ENSAYOS SOBRE BALDOSAS

3.1. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN, EN ESTADO DE SUMINISTRO, DE LAS BALDOSAS UTILIZADAS EN LA EXPERIMENTACIÓN

En el presente apartado se exponen los resultados obtenidos en el desarrollo de la Fase I descrita en el plan de ensayos previsto, relativo a la identificación y caracterización, en estado de suministro, de las baldosas a emplear en la investigación. Se han ensayado cuatro tipos de baldosas:

- a) Baldosa monocapa 15x15 cm, designada tipo A
- b) Baldosa hidráulica 15x15 cm, designada tipo B
- c) Baldosa hidráulica de botones 20x20 cm, designada tipo C
- d) Baldosa de terrazo 30x30 cm, designada tipo D

Las muestras correspondientes a cada tipo de material fueron tomadas por un equipo del Instituto en las dependencias de las fábricas de los suministradores.

Sobre cada una de las baldosas en estudio se ha procedido en el Laboratorio Central de INTEMAC, de acuerdo con el plan de ensayos previsto, a la realización de las determinaciones siguientes:

- Características geométricas, según UNE 127001
- Absorción de agua, según UNE 127002
- Permeabilidad y absorción de agua por la cara vista, según UNE 127003
- Heladicidad, según UNE 127004
- Desgaste por abrasión, según UNE 127005/1
- Resistencia a flexión, según UNE 127006
- Resistencia al choque, según UNE 127007

3.1.1. RESULTADOS DE ENSAYO

Los resultados obtenidos tras la realización de los ensayos mencionados en el apartado anterior se exponen a continuación. Dichos resultados tienen validez únicamente en relación con las muestras ensayadas.

Muestra ensayada: Baldosa monocapa, 15x15 cm. Tipo A

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS, SEGÚN UNE 127001

Nº de probetas ensayadas	6
DIMENSIONES:	
Longitud (valor medio) (mm)	150,6
Desviación de la medida de longitud (%)	0,1
Anchura (valor medio) (mm)	150,6
Desviación de la medida de anchura (%)	0,1
Espesor (valor medio) (mm)	37,3
Desviación de la medida de espesor (mm)	0,2
DESVIACIÓN DE ÁNGULOS:	
Variación máxima de los ángulos del perímetro de la cara vista sobre un arco de radio = 200 mm (valor medio) (mm)	0,3
RECTITUD DE ARISTAS:	
Variación máxima de las aristas vivas de la cara vista (valor medio) (mm).....	0,2
Rectitud respecto a la longitud de arista (%)	0,1
PLANEIDAD:	
Flecha máxima en la diagonal de la cara vista (valor medio) (mm)	0,8
Flecha máxima respecto a la longitud de diagonal (%)	0,45

ABSORCIÓN DE AGUA, SEGÚN UNE 127002

Nº de probetas ensayadas	3
Dimensiones (mm)	150x150
Absorción de agua (valor medio) (%)	6,4

PERMEABILIDAD Y ABSORCIÓN DE AGUA POR LA CARA VISTA, SEGÚN UNE 127003

Nº de probetas ensayadas	3
Coefficiente de absorción de agua por la cara vista (valor medio) (%)	-
Aparición de exudaciones en el dorso de las probetas	Abundante
Calificación de la muestra	Permeable

HELADICIDAD, SEGÚN UNE 127004

Nº de probetas ensayadas	3
Dimensiones (mm).....	150x150
Condiciones de exposición en cada ciclo:	
- Congelación a $-15 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (horas)	4
- Inmersión en agua a $15 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (horas)	1
Nº de ciclos	25
Defectos después del tratamiento en la capa de huella:	
- Aparición de fisuras o grietas	No se aprecia
- Aparición de resquebrajaduras o desconchados	No se aprecia
Calificación de la muestra	No heladiza

DESGASTE POR ABRASIÓN, SEGÚN UNE 127005 (Parte 1)

Nº de probetas ensayadas	2
Recorrido de desgaste (m)	250
Desgaste en el punto central de la probeta (mm):	
- Probeta 1	1,02
- Probeta 2	1,05
Desgaste por abrasión (valor medio) (mm)	1,0

RESISTENCIA A FLEXIÓN, SEGÚN UNE 127006

Nº de probetas ensayadas :	
- Cara en tracción	3
- Dorso en tracción.....	3
Distancia entre apoyos (mm)	100
Anchura de las probetas (mm)	150
Velocidad de carga (kp/s)	8
Espesor mínimo en la superficie de rotura (valor medio) (mm).....	36,4
Carga de rotura/cara-tracción (valor medio) (N)	7.259
Carga de rotura/dorso-tracción (valor medio) (N)	7.657
Resistencia a flexión/cara-tracción (valor medio) (N/mm²)	5,4
Resistencia a flexión/dorso-tracción (valor medio) (N/mm²)	5,9

RESISTENCIA AL CHOQUE, SEGÚN UNE 127007

Nº de probetas ensayadas	3
Peso de la esfera de acero (g).....	1000
Altura de caída que produce la fisuración (valor medio) (mm).....	500

Muestra ensayada: Baldosa hidráulica, 15x15 cm. Tipo B

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS, SEGÚN UNE 127001

Nº de probetas ensayadas	6
DIMENSIONES:	
Longitud (valor medio) (mm)	150,7
Desviación de la medida de longitud (%)	0,5
Anchura (valor medio) (mm)	150,3
Desviación de la medida de anchura (%)	0,5
Espesor (valor medio) (mm)	35,8
Desviación de la medida de espesor (mm)	0,2
Espesor de la capa de huella (valor medio) (mm)	6,6
DESVIACIÓN DE ÁNGULOS:	
Variación máxima de los ángulos del perímetro de la cara vista sobre un arco de radio = 200 mm (valor medio) (mm)	0,2
RECTITUD DE ARISTAS:	
Variación máxima de las aristas vivas de la cara vista (valor medio) (mm)	0,2
Rectitud respecto a la longitud de arista (%)	0,1
PLANEIDAD:	
Flecha máxima en la diagonal de la cara vista (valor medio) (mm)	0,1
Flecha máxima respecto a la longitud de diagonal (%)	0,05

ABSORCIÓN DE AGUA, SEGÚN UNE 127002

Nº de probetas ensayadas	3
Dimensiones (mm)	150x150
Absorción de agua (valor medio) (%)	6,9

PERMEABILIDAD Y ABSORCIÓN DE AGUA POR LA CARA VISTA, SEGÚN UNE 127003

Nº de probetas ensayadas	3
Coefficiente de absorción de agua por la cara vista (valor medio) (%)	4,2
Aparición de exudaciones en el dorso de las probetas	No se observa
Calificación de la muestra	No permeable

HELADICIDAD, SEGÚN UNE 127004

Nº de probetas ensayadas	3
Dimensiones (mm)	150x150
Condiciones de exposición en cada ciclo:	
- Congelación a $-15 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (horas)	4
- Inmersión en agua a $15 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (horas)	1
Nº de ciclos	25
Defectos después del tratamiento en la capa de huella:	
- Aparición de fisuras o grietas	No se aprecia
- Aparición de resquebrajaduras o desconchados	No se aprecia
Calificación de la muestra	No heladiza

DESGASTE POR ABRASIÓN, SEGÚN UNE 127005 (Parte 1)

Nº de probetas ensayadas	2
Recorrido de desgaste (m)	250
Desgaste en el punto central de la probeta (mm):	
- Probeta 1	1,04
- Probeta 2	1,09
Desgaste por abrasión (valor medio) (mm)	1,1

RESISTENCIA A FLEXIÓN, SEGÚN UNE 127006

Nº de probetas ensayadas :	
- Cara en tracción	3
- Dorso en tracción	3
Distancia entre apoyos (mm)	100
Anchura de las probetas (mm)	150
Velocidad de carga (kp/s)	8
Espesor mínimo en la superficie de rotura (valor medio) (mm)	34,2
Carga de rotura/cara-tracción (valor medio) (N)	11.185
Carga de rotura/dorso-tracción (valor medio) (N)	8.395
Resistencia a flexión/cara-tracción (valor medio) (N/mm²)	9,5
Resistencia a flexión/dorso-tracción (valor medio) (N/mm²)	7,2

RESISTENCIA AL CHOQUE, SEGÚN UNE 127007

Nº de probetas ensayadas	3
Peso de la esfera de acero (g).....	1000
Altura de caída que produce la fisuración (valor medio) (mm).....	400

Muestra ensayada: Baldosa hidráulica de botones, 20x20 cm. Tipo C

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS, SEGÚN UNE 127001

Nº de probetas ensayadas	6
 DIMENSIONES:	
Longitud (valor medio) (mm)	200,2
Desviación de la medida de longitud (%)	0,1
 Anchura (valor medio) (mm)	 200,2
Desviación de la medida de anchura (%)	0,1
 Espesor (valor medio) (mm)	 32,0
Desviación de la medida de espesor (mm)	0,7
 Espesor de la capa de huella (valor medio) (mm)	 9,5
 DESVIACIÓN DE ÁNGULOS:	
Variación máxima de los ángulos del perímetro de la cara vista sobre un arco de radio = 200 mm (valor medio) (mm)	0,4
 RECTITUD DE ARISTAS:	
Variación máxima de las aristas vivas de la cara vista (valor medio) (mm).....	0,1
Rectitud respecto a la longitud de arista (%)	0,1
 PLANEIDAD:	
Flecha máxima en la diagonal de la cara vista (valor medio) (mm)	0,2
Flecha máxima respecto a la longitud de diagonal (%)	0,09

ABSORCIÓN DE AGUA, SEGÚN UNE 127002

Nº de probetas ensayadas	3
Dimensiones (mm)	200x200
Absorción de agua (valor medio) (%)	6,5

PERMEABILIDAD Y ABSORCIÓN DE AGUA POR LA CARA VISTA, SEGÚN UNE 127003

Nº de probetas ensayadas	3
Coefficiente de absorción de agua por la cara vista (valor medio) (%)	2,0
Aparición de exudaciones en el dorso de las probetas	No se observa
Calificación de la muestra	No permeable

HELADICIDAD, SEGÚN UNE 127004

Nº de probetas ensayadas	3
Dimensiones (mm).....	200x200
Condiciones de exposición en cada ciclo:	
- Congelación a $-15 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (horas)	4
- Inmersión en agua a $15 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (horas)	1
Nº de ciclos	25
Defectos después del tratamiento en la capa de huella:	
- Aparición de fisuras o grietas	No se aprecia
- Aparición de resquebrajaduras o desconchados	No se aprecia
Calificación de la muestra	No heladiza

DESGASTE POR ABRASIÓN, SEGÚN UNE 127005 (Parte 1)

Nº de probetas ensayadas	2
Recorrido de desgaste (m)	250
Desgaste en el punto central de la probeta (mm):	
- Probeta 1	2,06
- Probeta 2	2,44
Desgaste por abrasión (valor medio) (mm)	2,2

RESISTENCIA A FLEXIÓN, SEGÚN UNE 127006

Nº de probetas ensayadas :	
- Cara en tracción	3
- Dorso en tracción.....	3
Distancia entre apoyos (mm)	142
Anchura de las probetas (mm)	200
Velocidad de carga (kp/s)	8
Espesor mínimo en la superficie de rotura (valor medio) (mm).....	29,0
Carga de rotura/cara-tracción (valor medio) (N)	6.742
Carga de rotura/dorso-tracción (valor medio) (N)	7.713
Resistencia a flexión/cara-tracción (valor medio) (N/mm²)	8,9
Resistencia a flexión/dorso-tracción (valor medio) (N/mm²)	9,4

RESISTENCIA AL CHOQUE, SEGÚN UNE 127007

Nº de probetas ensayadas	3
Peso de la esfera de acero (g).....	1000
Altura de caída que produce la fisuración (valor medio) (mm).....	500

Muestra ensayada: Baldosa de terrazo, 30x30 cm. Tipo D

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS, SEGÚN UNE 127001

Nº de probetas ensayadas	6
DIMENSIONES:	
Longitud (valor medio) (mm)	300,3
Desviación de la medida de longitud (%)	0,1
Anchura (valor medio) (mm)	300,4
Desviación de la medida de anchura (%)	0,1
Espesor (valor medio) (mm)	33,0
Desviación de la medida de espesor (mm)	0,5
Espesor de la capa de huella (valor medio) (mm)	9,0
DESVIACIÓN DE ÁNGULOS:	
Variación máxima de los ángulos del perímetro de la cara vista sobre un arco de radio = 200 mm (valor medio) (mm)	0,1
RECTITUD DE ARISTAS:	
Variación máxima de las aristas vivas de la cara vista (valor medio) (mm)	0,2
Rectitud respecto a la longitud de arista (%)	0,1
PLANEIDAD:	
Flecha máxima en la diagonal de la cara vista (valor medio) (mm)	0,1
Flecha máxima respecto a la longitud de diagonal (%)	0,02

ABSORCIÓN DE AGUA, SEGÚN UNE 127002

Nº de probetas ensayadas	3
Dimensiones (mm)	200x200
Absorción de agua (valor medio) (%)	5,2

PERMEABILIDAD Y ABSORCIÓN DE AGUA POR LA CARA VISTA, SEGÚN UNE 127003

Nº de probetas ensayadas	3
Coefficiente de absorción de agua por la cara vista (valor medio) (%)	0,9
Aparición de exudaciones en el dorso de las probetas	No se observa
Calificación de la muestra	No permeable

HELADICIDAD, SEGÚN UNE 127004

Nº de probetas ensayadas	3
Dimensiones (mm)	200x200
Condiciones de exposición en cada ciclo:	
- Congelación a $-15 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (horas)	4
- Inmersión en agua a $15 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (horas)	1
Nº de ciclos	25
Defectos después del tratamiento en la capa de huella:	
- Aparición de fisuras o grietas	No se aprecia
- Aparición de resquebrajaduras o desconchados	No se aprecia
Calificación de la muestra	No heladiza

DESGASTE POR ABRASIÓN, SEGÚN UNE 127005 (Parte 1)

Nº de probetas ensayadas	2
Recorrido de desgaste (m)	250
Desgaste en el punto central de la probeta (mm):	
- Probeta 1	0,99
- Probeta 2	0,62
Desgaste por abrasión (valor medio) (mm)	0,8

RESISTENCIA A FLEXIÓN, SEGÚN UNE 127006

Nº de probetas ensayadas :	
- Cara en tracción	3
- Dorso en tracción	3
Distancia entre apoyos (mm)	243
Anchura de las probetas (mm)	300
Velocidad de carga (kp/s)	8
Espesor mínimo en la superficie de rotura (valor medio) (mm)	28,5
Carga de rotura/cara-tracción (valor medio) (N)	8.738
Carga de rotura/dorso-tracción (valor medio) (N)	8.464
Resistencia a flexión/cara-tracción (valor medio) (N/mm²)	12,9
Resistencia a flexión/dorso-tracción (valor medio) (N/mm²)	12,8

RESISTENCIA AL CHOQUE, SEGÚN UNE 127007

Nº de probetas ensayadas	3
Peso de la esfera de acero (g).....	1000
Altura de caída que produce la fisuración (valor medio) (mm).....	600

3.1.2. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos se interpretan de acuerdo con la norma UNE 127001, aplicable a las baldosas de cemento empleadas en la ejecución de pavimentos y revestimientos.

En las Tablas 3.1 a 3.4 se presenta la interpretación de los resultados obtenidos sobre las muestras ensayadas en el orden que se indica:

- Baldosa monocapa, 15x15 cm. Tipo A
- Baldosa hidráulica, 15x15 cm. Tipo B
- Baldosa hidráulica de botones, 20x20 cm. Tipo C
- Baldosa de terrazo, 30x30 cm. Tipo D

Tabla 3.1 Baldosa monocapa 15x15 cm. Tipo A

DETERMINACIONES EFECTUADAS		VALORES OBTENIDOS	ESPECIFICACIONES UNE 127001			
			USO NORMAL	USO INTENSIVO	USO INDUSTRIAL	USO EXTERIOR
Desgaste (mm)		1,0	≤ 2,0	≤ 1,7	≤ 1,5	≤ 1,2
Flexión (N/mm ²) (cara en tracción)		5,4	≥ 4,5	≥ 5,0	≥ 6,0	≥ 6,0
Absorción de agua (%)		6,4	≤ 10,0	≤ 9,0	≤ 7,5	≤ 7,5
Choque (mm)		500	≥ 400	≥ 500	≥ 600	≥ 600
Heladicidad		No heladiza	NO HELADIZA			
Permeabilidad		Permeable	NO PERMEABLE			
Características geométricas	Longitud (dispersión, %)	0,1	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
	Anchura (dispersión, %)	0,1	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
	Espesor (dispersión, %)	0,2	≤ 2 (Espesor ≤ 40 mm) ≤ 2 (Espesor > 40 mm)			
	Desviación de ángulos (mm)	0,3	≤ 0,4			
	Rectitud de aristas (%)	0,1	≤ 0,2			
	Planeidad (%)	0,45	≤ 0,2 (Textura pulida) ≤ 0,3 (Otras texturas)			

Del análisis de los resultados se deduce que la muestra ensayada no satisface las especificaciones establecidas por la norma UNE 127001 para ningún uso, debido a que en lo relativo al ensayo de permeabilidad no alcanza la calificación mínima exigida, y a que en la determinación de la planeidad los resultados obtenidos superan las especificaciones máximas establecidas en la citada norma.

Tabla 3.2 Baldosa hidráulica, 15x15 cm. Tipo B

DETERMINACIONES EFECTUADAS		VALORES OBTENIDOS	ESPECIFICACIONES UNE 127001			
			USO NORMAL	USO INTENSIVO	USO INDUSTRIAL	USO EXTERIOR
Desgaste (mm)		1,1	≤ 3,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 1,5
Flexión (N/mm ²)	Cara	9,5	≥ 3,5	≥ 4,5	≥ 5,0	≥ 5,0
	Dorso	7,2	≥ 2,5	≥ 4,0	≥ 4,0	≥ 4,0
Absorción de agua (%)		6,9	≤ 10,0	≤ 9,0	≤ 7,5	≤ 7,5
Choque (mm)		400	≥ 400	≥ 500	≥ 600	≥ 600
Heladicidad		No heladiza	NO HELADIZA			
Permeabilidad		No permeable	NO PERMEABLE			
Características geométricas	Longitud (dispersión, %)	0,5	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
	Anchura (dispersión, %)	0,5	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
	Espesor (dispersión, %)	0,2	≤ 2 (Espesor ≤ 40 mm) ≤ 3 (Espesor > 40 mm)			
	Espesor capa de huella (mm)	6,6	≥ 5,0			
	Desviación de ángulos (mm)	0,2	≥ 0,4			
	Rectitud de aristas (%)	0,1	≤ 0,2			
	Planeidad (%)	0,05	≤ 0,2 (Textura pulida) ≤ 0,3 (Otras texturas)			

Del análisis de los resultados se deduce que la muestra ensayada satisface únicamente las especificaciones establecidas por la norma UNE 127001 para uso "normal".

Tabla 3.3 Baldosa hidráulica de botones, 20x20 cm. Tipo C

DETERMINACIONES EFECTUADAS		VALORES OBTENIDOS	ESPECIFICACIONES UNE 127001			
			USO NORMAL	USO INTENSIVO	USO INDUSTRIAL	USO EXTERIOR
Desgaste (mm)		2,2	≤ 3,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 1,5
Flexión (N/mm ²)	Cara	8,9	≥ 3,5	≥ 4,5	≥ 5,0	≥ 5,0
	Dorso	9,4	≥ 2,5	≥ 4,0	≥ 4,0	≥ 4,0
Absorción de agua (%)		6,5	≤ 10,0	≤ 9,0	≤ 7,5	≤ 7,5
Choque (mm)		500	≥ 400	≥ 500	≥ 600	≥ 600
Heladicidad		No heladiza	NO HELADIZA			
Permeabilidad		No permeable	NO PERMEABLE			
Características geométricas	Longitud (dispersión, %)	0,1	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
	Anchura (dispersión, %)	0,1	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
	Espesor (dispersión, %)	0,7	≤ 2 (Espesor ≤ 40 mm) ≤ 3 (Espesor > 40 mm)			
	Espesor capa de huella (mm)	9,5	≥ 5,0			
	Desviación de ángulos (mm).....	0,4	≥ 0,4			
	Rectitud de aristas (%)	0,1	≤ 0,2			
	Planeidad (%)	0,09	≤ 0,2 (Textura pulida) ≤ 0,3 (Otras texturas)			

Del análisis de los resultados se deduce que la muestra ensayada satisface únicamente las especificaciones establecidas por la norma UNE 127001 para uso "normal".

Tabla 3.4 Baldosa de terrazo, 30x30 cm. Tipo D

DETERMINACIONES EFECTUADAS		VALORES OBTENIDOS	ESPECIFICACIONES UNE 127001			
			USO NORMAL	USO INTENSIVO	USO INDUSTRIAL	USO EXTERIOR
Desgaste (mm)		0,8	≤ 2,0	≤ 1,7	≤ 1,5	≤ 1,2
Flexión (N/mm ²)	Cara	12,9	≥ 4,5	≥ 5,0	≥ 6,0	≥ 6,0
	Dorso	12,8	≥ 3,5	≥ 4,0	≥ 4,5	≥ 4,5
Absorción de agua (%)		5,2	≤ 10,0	≤ 9,0	≤ 7,5	≤ 7,5
Choque (mm)		600	≥ 400	≥ 500	≥ 600	≥ 600
Heladicidad		No heladiza	NO HELADIZA			
Permeabilidad		No permeable	NO PERMEABLE			
Características geométricas	Longitud (dispersión, %)	0,1	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
	Anchura (dispersión, %)	0,1	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
	Espesor (dispersión, %)	0,5	≤ 2 (Espesor ≤ 40 mm) ≤ 3 (Espesor > 40 mm)			
	Espesor capa de huella (mm)	9,0	≥ 7,0			
	Desviación de ángulos (mm)	0,1	≥ 0,4			
	Rectitud de aristas (%)	0,1	≤ 0,2			
	Planeidad (%)	0,02	≤ 0,2 (Textura pulida) ≤ 0,3 (Otras texturas)			

Del análisis de los resultados se deduce que la muestra ensayada satisface las especificaciones establecidas por la norma UNE 127001 para uso "normal", "intensivo", "Industrial" y "exterior".

3.2. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE LAS BALDOSAS UTILIZADAS EN LA EXPERIMENTACIÓN, UNA VEZ SOMETIDAS A LOS TRATAMIENTOS DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO

En el presente apartado se exponen los resultados obtenidos en el desarrollo de la Fase II descrita en el plan de ensayos previsto, relativo a la caracterización de las baldosas utilizadas en la experimentación, tras ser sometidas a ciclos de envejecimiento artificial acelerado. Se han ensayado cuatro tipos de baldosas:

- a) Baldosa monocapa 15x15 cm, designada tipo A
- b) Baldosa hidráulica 15x15 cm, designada tipo B
- c) Baldosa hidráulica de botones 20x20 cm, designada tipo C
- d) Baldosa de terrazo 30x30 cm, designada tipo D

Las muestras correspondientes a cada tipo de material fueron tomadas por un equipo del Instituto en las dependencias de las fábricas de los suministradores.

Las baldosas objeto de estudio fueron sometidas en el Laboratorio Central de INTEMAC, de acuerdo con el plan de ensayos previsto (TI/LC-97005-A), a los tratamientos de envejecimiento artificial acelerado que se detallan a continuación:

- Tratamiento 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 detallan a continuación:
 - 24 horas a 40° C (regando hasta saturación al inicio del calentamiento).
 - 48 horas a 20° C.
 - 24 horas a 40° C (regando hasta saturación al inicio del calentamiento).
 - 72 horas a 20° C.

- Tratamiento de hielo-deshielo, por aplicación de ciclos de inmersión en agua a 20° C y posterior congelación a -20° C, con una duración total de 4 meses, siguiendo los ciclos que se detallan a continuación:
 - 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.

Una vez finalizados los tratamientos de envejecimiento citados, se procedió a la caracterización del estado final de las baldosas, mediante la realización de las determinaciones siguientes:

- Características geométricas, según UNE 127001
- Absorción de agua, según UNE 127002
- Permeabilidad y absorción de agua por la cara vista, según UNE 127003
- Heladicidad, según UNE 127004
- Desgaste por abrasión, según UNE 127005/1
- Resistencia a flexión, según UNE 127006
- Resistencia al choque, según UNE 127007

3.2.1. RESULTADOS DE ENSAYO

Los resultados obtenidos tras la realización de los ensayos mencionados en el apartado anterior se exponen a continuación. Dichos resultados tienen validez únicamente en relación con las muestras ensayadas.

Muestra ensayada: Baldosa monocapa, 15x15 cm, tipo A, sometida a tratamiento de humectación/secado

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS, SEGÚN UNE 127001

Nº de probetas ensayadas	6
DIMENSIONES:	
Longitud (valor medio) (mm)	150,5
Desviación de la medida de longitud (%)	0,2
Anchura (valor medio) (mm)	150,5
Desviación de la medida de anchura (%)	0,2
Espesor (valor medio) (mm)	37,1
Desviación de la medida de espesor (mm).....	0,5
DESVIACIÓN DE ÁNGULOS:	
Variación máxima de los ángulos del perímetro de la cara vista sobre un arco de radio = 200 mm (valor medio) (mm)	0,2
RECTITUD DE ARISTAS:	
Variación máxima de las aristas vivas de la cara vista (valor medio) (mm)	0,1
Rectitud respecto a la longitud de arista (%)	0,1
PLANEIDAD:	
Flecha máxima en la diagonal de la cara vista (valor medio) (mm)	0,8
Flecha máxima respecto a la longitud de diagonal (%)	0,43

ABSORCIÓN DE AGUA, SEGÚN UNE 127002

Nº de probetas ensayadas	3
Dimensiones (mm)	150x150
Absorción de agua (valor medio) (%)	5,9

PERMEABILIDAD Y ABSORCIÓN DE AGUA POR LA CARA VISTA, SEGÚN UNE 127003

Nº de probetas ensayadas	3
Coefficiente de absorción de agua por la cara vista (valor medio) (%)	-
Aparición de exudaciones en el dorso de las probetas	Abundante
Calificación de la muestra	Permeable

HELADICIDAD, SEGÚN UNE 127004

Nº de probetas ensayadas	3
Dimensiones (mm)	150x150
Condiciones de exposición en cada ciclo:	
- Congelación a $-15 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (horas)	4
- Inmersión en agua a $15 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (horas)	1
Nº de ciclos	25
Defectos después del tratamiento en la capa de huella:	
- Aparición de fisuras o grietas	No se aprecia
- Aparición de resquebrajaduras o desconchados	No se aprecia
Calificación de la muestra	No heladiza

DESGASTE POR ABRASIÓN, SEGÚN UNE 127005 (Parte 1)

Nº de probetas ensayadas	2
Recorrido de desgaste (m)	250
Desgaste en el punto central de la probeta (mm):	
- Probeta 1	1,02
- Probeta 2	0,80
Desgaste por abrasión (valor medio) (mm)	0,9

RESISTENCIA A FLEXIÓN, SEGÚN UNE 127006

Nº de probetas ensayadas :	
- Cara en tracción	3
- Dorso en tracción	3
Distancia entre apoyos (mm)	100
Anchura de las probetas (mm)	150
Velocidad de carga (kp/s)	8
Espesor mínimo en la superficie de rotura (valor medio) (mm)	36,8
Carga de rotura/cara-tracción (valor medio) (N)	7.229
Carga de rotura/dorso-tracción (valor medio) (N)	7.206
Resistencia a flexión/cara-tracción (valor medio) (N/mm²)	5,5
Resistencia a flexión/dorso-tracción (valor medio) (N/mm²)	5,1

RESISTENCIA AL CHOQUE, SEGÚN UNE 127007

Nº de probetas ensayadas	3
Peso de la esfera de acero (g).....	1000
Altura de caída que produce la fisuración (valor medio) (mm).....	500

Muestra ensayada: Baldosa hidráulica, 15x15 cm, tipo B, sometida a tratamiento de humectación/secado

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS, SEGÚN UNE 127001

Nº de probetas ensayadas	6
DIMENSIONES:	
Longitud (valor medio) (mm)	150,2
Desviación de la medida de longitud (%)	0,1
Anchura (valor medio) (mm)	150,2
Desviación de la medida de anchura (%)	0,2
Espesor (valor medio) (mm)	35,6
Desviación de la medida de espesor (mm)	0,5
Espesor de la capa de huella (valor medio) (mm)	6,9
DESVIACIÓN DE ÁNGULOS:	
Variación máxima de los ángulos del perímetro de la cara vista sobre un arco de radio = 200 mm (valor medio) (mm)	0,2
RECTITUD DE ARISTAS:	
Variación máxima de las aristas vivas de la cara vista (valor medio) (mm).....	0,2
Rectitud respecto a la longitud de arista (%)	0,1
PLANEIDAD:	
Flecha máxima en la diagonal de la cara vista (valor medio) (mm)	0,1
Flecha máxima respecto a la longitud de diagonal (%)	0,06

ABSORCIÓN DE AGUA, SEGÚN UNE 127002

Nº de probetas ensayadas	3
Dimensiones (mm)	150x150
Absorción de agua (valor medio) (%)	7,1

PERMEABILIDAD Y ABSORCIÓN DE AGUA POR LA CARA VISTA, SEGÚN UNE 127003

Nº de probetas ensayadas	3
Coefficiente de absorción de agua por la cara vista (valor medio) (%)	4,1
Aparición de exudaciones en el dorso de las probetas	No se observa
Calificación de la muestra	No permeable

HELADICIDAD, SEGÚN UNE 127004

Nº de probetas ensayadas	3
Dimensiones (mm).....	150x150
Condiciones de exposición en cada ciclo:	
- Congelación a $-15 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (horas)	4
- Inmersión en agua a $15 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (horas)	1
Nº de ciclos	25
Defectos después del tratamiento en la capa de huella:	
- Aparición de fisuras o grietas	No se aprecia
- Aparición de resquebrajaduras o desconchados	No se aprecia
Calificación de la muestra	No heladiza

DESGASTE POR ABRASIÓN, SEGÚN UNE 127005 (Parte 1)

Nº de probetas ensayadas	2
Recorrido de desgaste (m)	250
Desgaste en el punto central de la probeta (mm):	
- Probeta 1	1,06
- Probeta 2	0,85
Desgaste por abrasión (valor medio) (mm)	1,0

RESISTENCIA A FLEXIÓN, SEGÚN UNE 127006

Nº de probetas ensayadas :	
- Cara en tracción	3
- Dorso en tracción.....	3
Distancia entre apoyos (mm)	100
Anchura de las probetas (mm)	150
Velocidad de carga (kp/s)	8
Espesor mínimo en la superficie de rotura (valor medio) (mm).....	35,6
Carga de rotura/cara-tracción (valor medio) (N)	9.268
Carga de rotura/dorso-tracción (valor medio) (N)	7.817
Resistencia a flexión/cara-tracción (valor medio) (N/mm²)	7,3
Resistencia a flexión/dorso-tracción (valor medio) (N/mm²)	6,2

RESISTENCIA AL CHOQUE, SEGÚN UNE 127007

Nº de probetas ensayadas	3
Peso de la esfera de acero (g).....	1000
Altura de caída que produce la fisuración (valor medio) (mm).....	300

Muestra ensayada: Baldosa hidráulica de botones, 20x20 cm, tipo C, sometida a tratamiento de humectación/secado

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS, SEGÚN UNE 127001

Nº de probetas ensayadas	6
DIMENSIONES:	
Longitud (valor medio) (mm)	200,0
Desviación de la medida de longitud (%)	0,1
Anchura (valor medio) (mm)	200,1
Desviación de la medida de anchura (%)	0,2
Espesor (valor medio) (mm)	32,5
Desviación de la medida de espesor (mm)	0,3
Espesor de la capa de huella (valor medio) (mm)	11,2
DESVIACIÓN DE ÁNGULOS:	
Variación máxima de los ángulos del perímetro de la cara vista sobre un arco de radio = 200 mm (valor medio) (mm)	0,2
RECTITUD DE ARISTAS:	
Variación máxima de las aristas vivas de la cara vista (valor medio) (mm)	0,2
Rectitud respecto a la longitud de arista (%)	0,1
PLANEIDAD:	
Flecha máxima en la diagonal de la cara vista (valor medio) (mm)	0,2
Flecha máxima respecto a la longitud de diagonal (%)	0,05

ABSORCIÓN DE AGUA, SEGÚN UNE 127002

Nº de probetas ensayadas	3
Dimensiones (mm)	200x200
Absorción de agua (valor medio) (%)	6,5

PERMEABILIDAD Y ABSORCIÓN DE AGUA POR LA CARA VISTA, SEGÚN UNE 127003

Nº de probetas ensayadas	3
Coefficiente de absorción de agua por la cara vista (valor medio) (%)	3,7
Aparición de exudaciones en el dorso de las probetas	No se observa
Calificación de la muestra	No permeable

HELADICIDAD, SEGÚN UNE 127004

Nº de probetas ensayadas	3
Dimensiones (mm)	200x200
Condiciones de exposición en cada ciclo:	
- Congelación a $-15 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (horas)	4
- Inmersión en agua a $15 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (horas)	1
Nº de ciclos	25
Defectos después del tratamiento en la capa de huella:	
- Aparición de fisuras o grietas	No se aprecia
- Aparición de resquebrajaduras o desconchados	No se aprecia
Calificación de la muestra	No heladiza

DESGASTE POR ABRASIÓN, SEGÚN UNE 127005 (Parte 1)

Nº de probetas ensayadas	2
Recorrido de desgaste (m)	250
Desgaste en el punto central de la probeta (mm):	
- Probeta 1	2,59
- Probeta 2	2,12
Desgaste por abrasión (valor medio) (mm)	2,4

RESISTENCIA A FLEXIÓN, SEGÚN UNE 127006

Nº de probetas ensayadas :	
- Cara en tracción	3
- Dorso en tracción	3
Distancia entre apoyos (mm)	142
Anchura de las probetas (mm)	200
Velocidad de carga (kp/s)	8
Espesor mínimo en la superficie de rotura (valor medio) (mm)	28,7
Carga de rotura/cara-tracción (valor medio) (N)	6.265
Carga de rotura/dorso-tracción (valor medio) (N)	6.837
Resistencia a flexión/cara-tracción (valor medio) (N/mm²)	8,3
Resistencia a flexión/dorso-tracción (valor medio) (N/mm²)	8,8

RESISTENCIA AL CHOQUE, SEGÚN UNE 127007

Nº de probetas ensayadas	3
Peso de la esfera de acero (g).....	1000
Altura de caída que produce la fisuración (valor medio) (mm).....	500

Muestra ensayada: Baldosa de terrazo, 30x30 cm, tipo D, sometida a tratamiento de humectación/secado

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS, SEGÚN UNE 127001

Nº de probetas ensayadas	6
DIMENSIONES:	
Longitud (valor medio) (mm)	300,2
Desviación de la medida de longitud (%)	0,0
Anchura (valor medio) (mm)	300,1
Desviación de la medida de anchura (%)	0,0
Espesor (valor medio) (mm)	32,4
Desviación de la medida de espesor (mm)	0,1
Espesor de la capa de huella (valor medio) (mm)	9,9
DESVIACIÓN DE ÁNGULOS:	
Variación máxima de los ángulos del perímetro de la cara vista sobre un arco de radio = 200 mm (valor medio) (mm)	0,2
RECTITUD DE ARISTAS:	
Variación máxima de las aristas vivas de la cara vista (valor medio) (mm).....	0,2
Rectitud respecto a la longitud de arista (%)	0,1
PLANEIDAD:	
Flecha máxima en la diagonal de la cara vista (valor medio) (mm)	0,1
Flecha máxima respecto a la longitud de diagonal (%)	0,03

ABSORCIÓN DE AGUA, SEGÚN UNE 127002

Nº de probetas ensayadas	3
Dimensiones (mm)	200x200
Absorción de agua (valor medio) (%)	5,9

PERMEABILIDAD Y ABSORCIÓN DE AGUA POR LA CARA VISTA, SEGÚN UNE 127003

Nº de probetas ensayadas	3
Coefficiente de absorción de agua por la cara vista (valor medio) (%)	1,4
Aparición de exudaciones en el dorso de las probetas	No se observa
Calificación de la muestra	No permeable

HELADICIDAD, SEGÚN UNE 127004

Nº de probetas ensayadas	3
Dimensiones (mm).....	200x200
Condiciones de exposición en cada ciclo:	
- Congelación a $-15 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (horas)	4
- Inmersión en agua a $15 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (horas)	1
Nº de ciclos	25
Defectos después del tratamiento en la capa de huella:	
- Aparición de fisuras o grietas	No se aprecia
- Aparición de resquebrajaduras o desconchados	No se aprecia
Calificación de la muestra	No heladiza

DESGASTE POR ABRASIÓN, SEGÚN UNE 127005 (Parte 1)

Nº de probetas ensayadas	2
Recorrido de desgaste (m)	250
Desgaste en el punto central de la probeta (mm):	
- Probeta 1	0,61
- Probeta 2	0,72
Desgaste por abrasión (valor medio) (mm)	0,7

RESISTENCIA A FLEXIÓN, SEGÚN UNE 127006

Nº de probetas ensayadas :	
- Cara en tracción	3
- Dorso en tracción.....	3
Distancia entre apoyos (mm)	243
Anchura de las probetas (mm)	300
Velocidad de carga (kp/s)	8
Espesor mínimo en la superficie de rotura (valor medio) (mm).....	28,5
Carga de rotura/cara-tracción (valor medio) (N)	7.866
Carga de rotura/dorso-tracción (valor medio) (N)	7.928
Resistencia a flexión/cara-tracción (valor medio) (N/mm²)	11,5
Resistencia a flexión/dorso-tracción (valor medio) (N/mm²)	11,9

RESISTENCIA AL CHOQUE, SEGÚN UNE 127007

Nº de probetas ensayadas	3
Peso de la esfera de acero (g).....	1000
Altura de caída que produce la fisuración (valor medio) (mm).....	600

Muestra ensayada: Baldosa monocapa, 15x15 cm, tipo A, sometida a tratamiento de hielo-deshielo

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS, SEGÚN UNE 127001

Nº de probetas ensayadas	6
DIMENSIONES:	
Longitud (valor medio) (mm)	150,4
Desviación de la medida de longitud (%)	0,1
Anchura (valor medio) (mm)	150,4
Desviación de la medida de anchura (%)	0,1
Espesor (valor medio) (mm)	37,3
Desviación de la medida de espesor (mm)	0,7
DESVIACIÓN DE ÁNGULOS:	
Variación máxima de los ángulos del perímetro de la cara vista sobre un arco de radio = 200 mm (valor medio) (mm)	0,3
RECTITUD DE ARISTAS:	
Variación máxima de las aristas vivas de la cara vista (valor medio) (mm)	0,2
Rectitud respecto a la longitud de arista (%)	0,1
PLANEIDAD:	
Flecha máxima en la diagonal de la cara vista (valor medio) (mm)	0,8
Flecha máxima respecto a la longitud de diagonal (%)	0,44

ABSORCIÓN DE AGUA, SEGÚN UNE 127002

Nº de probetas ensayadas	3
Dimensiones (mm)	150x150
Absorción de agua (valor medio) (%)	4,4

PERMEABILIDAD Y ABSORCIÓN DE AGUA POR LA CARA VISTA, SEGÚN UNE 127003

Nº de probetas ensayadas	3
Coefficiente de absorción de agua por la cara vista (valor medio) (%)	-
Aparición de exudaciones en el dorso de las probetas	Abundante
Calificación de la muestra	Permeable

HELADICIDAD, SEGÚN UNE 127004

Nº de probetas ensayadas	3
Dimensiones (mm)	150x150
Condiciones de exposición en cada ciclo:	
- Congelación a $-15 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (horas)	4
- Inmersión en agua a $15 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (horas)	1
Nº de ciclos	25
Defectos después del tratamiento en la capa de huella:	
- Aparición de fisuras o grietas	No se aprecia
- Aparición de resquebrajaduras o desconchados	No se aprecia
Calificación de la muestra	No heladiza

DESGASTE POR ABRASIÓN, SEGÚN UNE 127005 (Parte 1)

Nº de probetas ensayadas	2
Recorrido de desgaste (m)	250
Desgaste en el punto central de la probeta (mm):	
- Probeta 1	0,89
- Probeta 2	1,04
Desgaste por abrasión (valor medio) (mm)	1,0

RESISTENCIA A FLEXIÓN, SEGÚN UNE 127006

Nº de probetas ensayadas :	
- Cara en tracción	3
- Dorso en tracción	3
Distancia entre apoyos (mm)	100
Anchura de las probetas (mm)	150
Velocidad de carga (kp/s)	8
Espesor mínimo en la superficie de rotura (valor medio) (mm)	36,4
Carga de rotura/cara-tracción (valor medio) (N)	8.314
Carga de rotura/dorso-tracción (valor medio) (N)	8.131
Resistencia a flexión/cara-tracción (valor medio) (N/mm²)	6,4
Resistencia a flexión/dorso-tracción (valor medio) (N/mm²)	6,0

RESISTENCIA AL CHOQUE, SEGÚN UNE 127007

Nº de probetas ensayadas	3
Peso de la esfera de acero (g).....	1000
Altura de caída que produce la fisuración (valor medio) (mm).....	500

Muestra ensayada: Baldosa hidráulica, 15x15 cm, tipo B, sometida a tratamiento de hielo/deshielo

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS, SEGÚN UNE 127001

Nº de probetas ensayadas	6
DIMENSIONES:	
Longitud (valor medio) (mm)	150,3
Desviación de la medida de longitud (%)	0,1
Anchura (valor medio) (mm)	150,4
Desviación de la medida de anchura (%)	0,1
Espesor (valor medio) (mm)	35,4
Desviación de la medida de espesor (mm)	0,4
Espesor de la capa de huella (valor medio) (mm)	7,0
DESVIACIÓN DE ÁNGULOS:	
Variación máxima de los ángulos del perímetro de la cara vista sobre un arco de radio = 200 mm (valor medio) (mm)	0,2
RECTITUD DE ARISTAS:	
Variación máxima de las aristas vivas de la cara vista (valor medio) (mm).....	0,2
Rectitud respecto a la longitud de arista (%)	0,1
PLANEIDAD:	
Flecha máxima en la diagonal de la cara vista (valor medio) (mm)	0,1
Flecha máxima respecto a la longitud de diagonal (%)	0,05

ABSORCIÓN DE AGUA, SEGÚN UNE 127002

Nº de probetas ensayadas	3
Dimensiones (mm)	150x150
Absorción de agua (valor medio) (%)	6,7

PERMEABILIDAD Y ABSORCIÓN DE AGUA POR LA CARA VISTA, SEGÚN UNE 127003

Nº de probetas ensayadas	3
Coefficiente de absorción de agua por la cara vista (valor medio) (%)	3,6
Aparición de exudaciones en el dorso de las probetas	No se observa
Calificación de la muestra	No permeable

HELADICIDAD, SEGÚN UNE 127004

Nº de probetas ensayadas	3
Dimensiones (mm).....	150x150
Condiciones de exposición en cada ciclo:	
- Congelación a $-15 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (horas)	4
- Inmersión en agua a $15 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (horas)	1
Nº de ciclos	25
Defectos después del tratamiento en la capa de huella:	
- Aparición de fisuras o grietas	No se aprecia
- Aparición de resquebrajaduras o desconchados	No se aprecia
Calificación de la muestra	No heladiza

DESGASTE POR ABRASIÓN, SEGÚN UNE 127005 (Parte 1)

Nº de probetas ensayadas	2
Recorrido de desgaste (m)	250
Desgaste en el punto central de la probeta (mm):	
- Probeta 1	0,87
- Probeta 2	0,96
Desgaste por abrasión (valor medio) (mm)	0,9

RESISTENCIA A FLEXIÓN, SEGÚN UNE 127006

Nº de probetas ensayadas :	
- Cara en tracción	3
- Dorso en tracción.....	3
Distancia entre apoyos (mm)	100
Anchura de las probetas (mm)	150
Velocidad de carga (kp/s)	8
Espesor mínimo en la superficie de rotura (valor medio) (mm).....	34,2
Carga de rotura/cara-tracción (valor medio) (N)	8.317
Carga de rotura/dorso-tracción (valor medio) (N)	8.092
Resistencia a flexión/cara-tracción (valor medio) (N/mm²)	6,5
Resistencia a flexión/dorso-tracción (valor medio) (N/mm²)	6,5

RESISTENCIA AL CHOQUE, SEGÚN UNE 127007

Nº de probetas ensayadas	3
Peso de la esfera de acero (g).....	1000
Altura de caída que produce la fisuración (valor medio) (mm).....	400

Muestra ensayada: Baldosa hidráulica de botones, 20x20 cm, tipo C, sometida a tratamiento de hielo-deshielo

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS, SEGÚN UNE 127001

Nº de probetas ensayadas	6
DIMENSIONES:	
Longitud (valor medio) (mm)	200,0
Desviación de la medida de longitud (%)	0,1
Anchura (valor medio) (mm)	200,0
Desviación de la medida de anchura (%)	0,1
Espesor (valor medio) (mm)	32,2
Desviación de la medida de espesor (mm)	0,3
Espesor de la capa de huella (valor medio) (mm)	11,2
DESVIACIÓN DE ÁNGULOS:	
Variación máxima de los ángulos del perímetro de la cara vista sobre un arco de radio = 200 mm (valor medio) (mm)	0,3
RECTITUD DE ARISTAS:	
Variación máxima de las aristas vivas de la cara vista (valor medio) (mm)	0,2
Rectitud respecto a la longitud de arista (%)	0,1
PLANEIDAD:	
Flecha máxima en la diagonal de la cara vista (valor medio) (mm)	0,2
Flecha máxima respecto a la longitud de diagonal (%)	0,07

ABSORCIÓN DE AGUA, SEGÚN UNE 127002

Nº de probetas ensayadas	3
Dimensiones (mm)	200x200
Absorción de agua (valor medio) (%)	6,3

PERMEABILIDAD Y ABSORCIÓN DE AGUA POR LA CARA VISTA, SEGÚN UNE 127003

Nº de probetas ensayadas	3
Coefficiente de absorción de agua por la cara vista (valor medio) (%)	4,6
Aparición de exudaciones en el dorso de las probetas	No se observa
Calificación de la muestra	No permeable

HELADICIDAD, SEGÚN UNE 127004

Nº de probetas ensayadas	3
Dimensiones (mm)	200x200
Condiciones de exposición en cada ciclo:	
- Congelación a $-15 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (horas)	4
- Inmersión en agua a $15 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (horas)	1
Nº de ciclos	25
Defectos después del tratamiento en la capa de huella:	
- Aparición de fisuras o grietas	No se aprecia
- Aparición de resquebrajaduras o desconchados	No se aprecia
Calificación de la muestra	No heladiza

DESGASTE POR ABRASIÓN, SEGÚN UNE 127005 (Parte 1)

Nº de probetas ensayadas	2
Recorrido de desgaste (m)	250
Desgaste en el punto central de la probeta (mm):	
- Probeta 1	1,74
- Probeta 2	1,98
Desgaste por abrasión (valor medio) (mm)	1,9

RESISTENCIA A FLEXIÓN, SEGÚN UNE 127006

Nº de probetas ensayadas :	
- Cara en tracción	3
- Dorso en tracción	3
Distancia entre apoyos (mm)	142
Anchura de las probetas (mm)	200
Velocidad de carga (kp/s)	8
Espesor mínimo en la superficie de rotura (valor medio) (mm)	29,0
Carga de rotura/cara-tracción (valor medio) (N)	5.900
Carga de rotura/dorso-tracción (valor medio) (N)	6.700
Resistencia a flexión/cara-tracción (valor medio) (N/mm²)	7,5
Resistencia a flexión/dorso-tracción (valor medio) (N/mm²)	8,4

RESISTENCIA AL CHOQUE, SEGÚN UNE 127007

Nº de probetas ensayadas	3
Peso de la esfera de acero (g).....	1000
Altura de caída que produce la fisuración (valor medio) (mm).....	500

Muestra ensayada: Baldosa de terrazo, 30x30 cm, tipo D, sometida a tratamiento de hielo-deshielo

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS, SEGÚN UNE 127001

Nº de probetas ensayadas	6
DIMENSIONES:	
Longitud (valor medio) (mm)	300,1
Desviación de la medida de longitud (%)	0,0
Anchura (valor medio) (mm)	300,1
Desviación de la medida de anchura (%)	0,0
Espesor (valor medio) (mm)	32,4
Desviación de la medida de espesor (mm)	0,2
Espesor de la capa de huella (valor medio) (mm)	9,4
DESVIACIÓN DE ÁNGULOS:	
Variación máxima de los ángulos del perímetro de la cara vista sobre un arco de radio = 200 mm (valor medio) (mm)	0,2
RECTITUD DE ARISTAS:	
Variación máxima de las aristas vivas de la cara vista (valor medio) (mm).....	0,1
Rectitud respecto a la longitud de arista (%)	0,1
PLANEIDAD:	
Flecha máxima en la diagonal de la cara vista (valor medio) (mm)	0,2
Flecha máxima respecto a la longitud de diagonal (%)	0,04

ABSORCIÓN DE AGUA, SEGÚN UNE 127002

Nº de probetas ensayadas	3
Dimensiones (mm)	200x200
Absorción de agua (valor medio) (%)	5,0

PERMEABILIDAD Y ABSORCIÓN DE AGUA POR LA CARA VISTA, SEGÚN UNE 127003

Nº de probetas ensayadas	3
Coefficiente de absorción de agua por la cara vista (valor medio) (%)	3,4
Aparición de exudaciones en el dorso de las probetas	No se observa
Calificación de la muestra	No permeable

HELADICIDAD, SEGÚN UNE 127004

Nº de probetas ensayadas	3
Dimensiones (mm).....	200x200
Condiciones de exposición en cada ciclo:	
- Congelación a $-15 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (horas)	4
- Inmersión en agua a $15 \pm 5^{\circ}\text{C}$ (horas)	1
Nº de ciclos	25
Defectos después del tratamiento en la capa de huella:	
- Aparición de fisuras o grietas	No se aprecia
- Aparición de resquebrajaduras o desconchados	No se aprecia
Calificación de la muestra	No heladiza

DESGASTE POR ABRASIÓN, SEGÚN UNE 127005 (Parte 1)

Nº de probetas ensayadas	2
Recorrido de desgaste (m)	250
Desgaste en el punto central de la probeta (mm):	
- Probeta 1	1,03
- Probeta 2	0,95
Desgaste por abrasión (valor medio) (mm)	1,0

RESISTENCIA A FLEXIÓN, SEGÚN UNE 127006

Nº de probetas ensayadas :	
- Cara en tracción	3
- Dorso en tracción.....	3
Distancia entre apoyos (mm)	243
Anchura de las probetas (mm)	300
Velocidad de carga (kp/s)	8
Espesor mínimo en la superficie de rotura (valor medio) (mm).....	28,7
Carga de rotura/cara-tracción (valor medio) (N)	6.945
Carga de rotura/dorso-tracción (valor medio) (N)	7.141
Resistencia a flexión/cara-tracción (valor medio) (N/mm²)	10,2
Resistencia a flexión/dorso-tracción (valor medio) (N/mm²)	10,6

RESISTENCIA AL CHOQUE, SEGÚN UNE 127007

Nº de probetas ensayadas	3
Peso de la esfera de acero (g).....	1000
Altura de caída que produce la fisuración (valor medio) (mm).....	600

3.2.2. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos se interpretan de acuerdo con la norma UNE 127001, aplicable a las baldosas de cemento empleadas en la ejecución de pavimentos y revestimientos.

El los cuadros siguientes se presenta la interpretación de los resultados obtenidos sobre las muestras ensayadas en el orden que se indica:

- Baldosas sometidas a tratamiento de humectación/secado
 - Baldosa monocapa, 15x15 cm. Tipo A
 - Baldosa hidráulica, 15x15 cm. Tipo B
 - Baldosa hidráulica de botones, 20x20 cm. Tipo C
 - Baldosa de terrazo, 30x30 cm. Tipo D

- Baldosas sometidas a tratamiento de hielo-deshielo
 - Baldosa monocapa, 15x15 cm. Tipo A
 - Baldosa hidráulica, 15x15 cm. Tipo B
 - Baldosa hidráulica de botones, 20x20 cm. Tipo C
 - Baldosa de terrazo, 30x30 cm. Tipo D

Tabla 3.5 Baldosa monocapa, 15x15 cm. Tipo A. Tratamiento: Humectación/ secado

DETERMINACIONES EFECTUADAS		VALORES OBTENIDOS	ESPECIFICACIONES UNE 127001			
			USO NORMAL	USO INTENSIVO	USO INDUSTRIAL	USO EXTERIOR
Desgaste (mm)		0,9	≤ 2,0	≤ 1,7	≤ 1,5	≤ 1,2
Flexión (N/mm ²) (cara en tracción)		5,5	≥ 4,5	≥ 5,0	≥ 6,0	≥ 6,0
Absorción de agua (%)		5,9	≤ 10,0	≤ 9,0	≤ 7,5	≤ 7,5
Choque (mm)		500	≥ 400	≥ 500	≥ 600	≥ 600
Heladicidad		No heladiza	NO HELADIZA			
Permeabilidad		Permeable	NO PERMEABLE			
Características geométricas	Longitud (dispersión, %)	0,2	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
	Anchura (dispersión, %)	0,2	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
	Espesor (dispersión, %)	0,5	≤ 2 (Espesor ≤ 40 mm) ≤ 2 (Espesor > 40 mm)			
	Desviación de ángulos (mm)	0,2	≤ 0,4			
	Rectitud de aristas (%)	0,1	≤ 0,2			
	Planeidad (%)	0,43	≤ 0,2 (Textura pulida) ≤ 0,3 (Otras texturas)			

Del análisis de los resultados se deduce que la muestra ensayada no satisface las especificaciones establecidas por la norma UNE 127001 para ningún uso, debido a que en lo relativo al ensayo de permeabilidad no alcanza la calificación mínima exigida, y a que en la determinación de la planeidad los resultados obtenidos superan las especificaciones máximas establecidas en la citada norma.

Tabla 3.6 Baldosa hidráulica, 15x15 cm. Tipo B. Tratamiento: Humectación / secado

DETERMINACIONES EFECTUADAS		VALORES OBTENIDOS	ESPECIFICACIONES UNE 127001			
			USO NORMAL	USO INTENSIVO	USO INDUSTRIAL	USO EXTERIOR
Desgaste (mm)		1,0	≤ 3,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 1,5
Flexión (N/mm ²)	Cara	7,3	≥ 3,5	≥ 4,5	≥ 5,0	≥ 5,0
	Dorso	6,2	≥ 2,5	≥ 4,0	≥ 4,0	≥ 4,0
Absorción de agua (%)		7,1	≤ 10,0	≤ 9,0	≤ 7,5	≤ 7,5
Choque (mm)		300	≥ 400	≥ 500	≥ 600	≥ 600
Heladicidad		No heladiza	NO HELADIZA			
Permeabilidad		No permeable	NO PERMEABLE			
Características geométricas	Longitud (dispersión, %)	0,1	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
	Anchura (dispersión, %)	0,2	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
	Espesor (dispersión, %)	0,5	≤ 2 (Espesor ≤ 40 mm) ≤ 3 (Espesor > 40 mm)			
	Espesor capa de huella (mm)	6,9	≥ 5,0			
	Desviación de ángulos (mm).....	0,2	≥ 0,4			
	Rectitud de aristas (%)	0,1	≤ 0,2			
	Planeidad (%)	0,06	≤ 0,2 (Textura pulida) ≤ 0,3 (Otras texturas)			

Del análisis de los resultados se deduce que la muestra ensayada no satisface las especificaciones establecidas por la norma UNE 127001 para ningún uso, debido a que el resultado obtenido en el ensayo de resistencia al choque, no alcanza el valor mínimo exigido.

Tabla 3.7 Baldosa de botones, 20x20 cm. Tipo C. Tratamiento: Humectación / secado

DETERMINACIONES EFECTUADAS		VALORES OBTENIDOS	ESPECIFICACIONES UNE 127001			
			USO NORMAL	USO INTENSIVO	USO INDUSTRIAL	USO EXTERIOR
Desgaste (mm)		2,4	≤ 3,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 1,5
Flexión (N/mm ²)	Cara	8,3	≥ 3,5	≥ 4,5	≥ 5,0	≥ 5,0
	Dorso	8,8	≥ 2,5	≥ 4,0	≥ 4,0	≥ 4,0
Absorción de agua (%)		6,5	≤ 10,0	≤ 9,0	≤ 7,5	≤ 7,5
Choque (mm)		500	≥ 400	≥ 500	≥ 600	≥ 600
Heladicidad		No heladiza	NO HELADIZA			
Permeabilidad		No permeable	NO PERMEABLE			
Características geométricas	Longitud (dispersión, %)	0,1	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
	Anchura (dispersión, %)	0,2	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
	Espesor (dispersión, %)	0,3	≤ 2 (Espesor ≤ 40 mm) ≤ 3 (Espesor > 40 mm)			
	Espesor capa de huella (mm)	11,2	≥ 5,0			
	Desviación de ángulos (mm)	0,2	≥ 0,4			
	Rectitud de aristas (%)	0,1	≤ 0,2			
	Planeidad (%)	0,05	≤ 0,2 (Textura pulida) ≤ 0,3 (Otras texturas)			

Del análisis de los resultados se deduce que la muestra ensayada satisface únicamente las especificaciones establecidas por la norma UNE 127001 para uso "normal".

Tabla 3.8 Baldosa de terrazo, 30x30 cm. Tipo D. Tratamiento: Humectación/ secado

DETERMINACIONES EFECTUADAS		VALORES OBTENIDOS	ESPECIFICACIONES UNE 127001			
			USO NORMAL	USO INTENSIVO	USO INDUSTRIAL	USO EXTERIOR
Desgaste (mm)		0,7	≤ 2,0	≤ 1,7	≤ 1,5	≤ 1,2
Flexión (N/mm ²)	Cara	11,5	≥ 4,5	≥ 5,0	≥ 6,0	≥ 6,0
	Dorso	11,9	≥ 3,5	≥ 4,0	≥ 4,5	≥ 4,5
Absorción de agua (%)		5,9	≤ 10,0	≤ 9,0	≤ 7,5	≤ 7,5
Choque (mm)		600	≥ 400	≥ 500	≥ 600	≥ 600
Heladicidad		No heladiza	NO HELADIZA			
Permeabilidad		No permeable	NO PERMEABLE			
Características geométricas	Longitud (dispersión, %)	0,0	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
	Anchura (dispersión, %)	0,0	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
	Espesor (dispersión, %)	0,1	≤ 2 (Espesor ≤ 40 mm) ≤ 3 (Espesor > 40 mm)			
	Espesor capa de huella (mm)	9,9	≥ 7,0			
	Desviación de ángulos (mm).....	0,2	≥ 0,4			
	Rectitud de aristas (%)	0,1	≤ 0,2			
	Planeidad (%)	0,03	≤ 0,2 (Textura pulida) ≤ 0,3 (Otras texturas)			

Del análisis de los resultados se deduce que la muestra ensayada satisface las especificaciones establecidas por la norma UNE 127001 para usos "normal", "intensivo", "industrial" y "exterior".

Tabla 3.9 Baldosa monocapa, 15x15 cm. Tipo A. Tratamiento: Hielo / deshielo

DETERMINACIONES EFECTUADAS		VALORES OBTENIDOS	ESPECIFICACIONES UNE 127001			
			USO NORMAL	USO INTENSIVO	USO INDUSTRIAL	USO EXTERIOR
Desgaste (mm)		1,0	≤ 2,0	≤ 1,7	≤ 1,5	≤ 1,2
Flexión (N/mm ²) (cara en tracción)		6,4	≥ 4,5	≥ 5,0	≥ 6,0	≥ 6,0
Absorción de agua (%)		4,4	≤ 10,0	≤ 9,0	≤ 7,5	≤ 7,5
Choque (mm)		500	≥ 400	≥ 500	≥ 600	≥ 600
Heladicidad		No heladiza	NO HELADIZA			
Permeabilidad		Permeable	NO PERMEABLE			
Características geométricas	Longitud (dispersión, %)	0,1	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
	Anchura (dispersión, %)	0,1	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
	Espesor (dispersión, %)	0,7	≤ 2 (Espesor ≤ 40 mm) ≤ 2 (Espesor > 40 mm)			
	Desviación de ángulos (mm)	0,3	≤ 0,4			
	Rectitud de aristas (%)	0,1	≤ 0,2			
	Planeidad (%)	0,44	≤ 0,2 (Textura pulida) ≤ 0,3 (Otras texturas)			

Del análisis de los resultados se deduce que la muestra ensayada no satisface las especificaciones establecidas por la norma UNE 127001 para ningún uso, debido a que en lo relativo al ensayo de permeabilidad no alcanza la calificación mínima exigida, y a que en la determinación de la planeidad los resultados obtenidos superan las especificaciones máximas establecida en la citada norma.

Tabla 3.10 Baldosa hidráulica, 15x15 cm. Tipo B. Tratamiento: Hielo / deshielo

DETERMINACIONES EFECTUADAS		VALORES OBTENIDOS	ESPECIFICACIONES UNE 127001			
			USO NORMAL	USO INTENSIVO	USO INDUSTRIAL	USO EXTERIOR
Desgaste (mm)		0,9	≤ 3,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 1,5
Flexión (N/mm ²)	Cara	6,5	≥ 3,5	≥ 4,5	≥ 5,0	≥ 5,0
	Dorso	6,5	≥ 2,5	≥ 4,0	≥ 4,0	≥ 4,0
Absorción de agua (%)		6,7	≤ 10,0	≤ 9,0	≤ 7,5	≤ 7,5
Choque (mm)		400	≥ 400	≥ 500	≥ 600	≥ 600
Heladicidad		No heladiza	NO HELADIZA			
Permeabilidad		No permeable	NO PERMEABLE			
Características geométricas	Longitud (dispersión, %)	0,1	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
	Anchura (dispersión, %)	0,1	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
	Espesor (dispersión, %)	0,4	≤ 2 (Espesor ≤ 40 mm) ≤ 3 (Espesor > 40 mm)			
	Espesor capa de huella (mm)	7,0	≥ 5,0			
	Desviación de ángulos (mm).....	0,2	≥ 0,4			
	Rectitud de aristas (%)	0,1	≤ 0,2			
	Planeidad (%)	0,05	≤ 0,2 (Textura pulida) ≤ 0,3 (Otras texturas)			

Del análisis de los resultados se deduce que la muestra ensayada satisface únicamente las especificaciones establecidas por la norma UNE 127001 para uso “normal”.

Tabla 3.11 Baldosa de botones, 20x20 cm. Tipo C. Tratamiento: Hielo / deshielo

DETERMINACIONES EFECTUADAS		VALORES OBTENIDOS	ESPECIFICACIONES UNE 127001			
			USO NORMAL	USO INTENSIVO	USO INDUSTRIAL	USO EXTERIOR
Desgaste (mm)		1,9	≤ 3,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 1,5
Flexión (N/mm ²)	Cara	7,5	≥ 3,5	≥ 4,5	≥ 5,0	≥ 5,0
	Dorso	8,4	≥ 2,5	≥ 4,0	≥ 4,0	≥ 4,0
Absorción de agua (%)		6,3	≤ 10,0	≤ 9,0	≤ 7,5	≤ 7,5
Choque (mm)		500	≥ 400	≥ 500	≥ 600	≥ 600
Heladicidad		No heladiza	NO HELADIZA			
Permeabilidad		No permeable	NO PERMEABLE			
Características geométricas	Longitud (dispersión, %)	0,1	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
	Anchura (dispersión, %)	0,1	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
	Espesor (dispersión, %)	0,3	≤ 2 (Espesor ≤ 40 mm) ≤ 3 (Espesor > 40 mm)			
	Espesor capa de huella (mm) ...	11,2	≥ 5,0			
	Desviación de ángulos (mm) ...	0,3	≥ 0,4			
	Rectitud de aristas (%)	0,1	≤ 0,2			
	Planeidad (%)	0,07	≤ 0,2 (Textura pulida) ≤ 0,3 (Otras texturas)			

Del análisis de los resultados se deduce que la muestra ensayada satisface las especificaciones establecidas por la norma UNE 127001 para usos "normal" e "intensivo".

Tabla 3.12. Baldosa de terrazo, 30x30 cm. Tipo D. Tratamiento: Hielo / deshielo

DETERMINACIONES EFECTUADAS		VALORES OBTENIDOS	ESPECIFICACIONES UNE 127001			
			USO NORMAL	USO INTENSIVO	USO INDUSTRIAL	USO EXTERIOR
Desgaste (mm)		1,0	≤ 2,0	≤ 1,7	≤ 1,5	≤ 1,2
Flexión (N/mm ²)	Cara	10,2	≥ 4,5	≥ 5,0	≥ 6,0	≥ 6,0
	Dorso	10,6	≥ 3,5	≥ 4,0	≥ 4,5	≥ 4,5
Absorción de agua (%)		5,0	≤ 10,0	≤ 9,0	≤ 7,5	≤ 7,5
Choque (mm)		600	≥ 400	≥ 500	≥ 600	≥ 600
Heladicidad		No heladiza	NO HELADIZA			
Permeabilidad		No permeable	NO PERMEABLE			
Características geométricas	Longitud (dispersión, %)	0,0	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
	Anchura (dispersión, %)	0,0	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
	Espesor (dispersión, %)	0,2	≤ 2 (Espesor ≤ 40 mm) ≤ 3 (Espesor > 40 mm)			
	Espesor capa de huella (mm)	9,4	≥ 7,0			
	Desviación de ángulos (mm).....	0,2	≥ 0,4			
	Rectitud de aristas (%)	0,1	≤ 0,2			
	Planeidad (%)	0,04	≤ 0,2 (Textura pulida) ≤ 0,3 (Otras texturas)			

Del análisis de los resultados se deduce que la muestra ensayada satisface las especificaciones establecidas por la norma UNE 127001 para usos "normal", "intensivo", "industrial" y "exterior".

En las Tablas 3.13 a 3.16 se indican comparativamente los resultados obtenidos para cada baldosa en los distintos tratamientos de exposición respecto a los valores iniciales.

Tabla 3.13 Baldosa monocapa, 15x15 cm. Tipo A

DETERMINACIONES EFECTUADAS	VALORES OBTENIDOS		
	Inicial	Humectación/ secado	Hielo-deshielo
Desgaste (mm)	1,0	0,9	1,0
Flexión (N/mm ²)	5,4	5,5	6,4
Absorción de agua (%)	6,4	5,9	4,4
Choque (mm)	500	500	500
Heladicidad	No heladiza	No heladiza	No heladiza
Permeabilidad	Permeable	Permeable	Permeable
Absorción de agua cara vista (%)	-	-	-
Características geométricas:			
- Longitud (dispersión, %)	0,1	0,2	0,1
- Anchura (dispersión, %)	0,1	0,2	0,1
- Espesor (dispersión, %)	0,2	0,5	0,7
- Espesor capa de huella (mm)	-	-	-
- Desviación de ángulos (mm)	0,3	0,2	0,3
- Rectitud de aristas (%)	0,1	0,1	0,1
- Planeidad (%)	0,45	0,43	0,44
Interpretación de resultados, según UNE 127001 (cumple usos)	Ninguno	Ninguno	Ninguno

Tabla 3.14 Baldosa hidráulica, 15x15 cm. Tipo B

DETERMINACIONES EFECTUADAS		VALORES OBTENIDOS		
		Inicial	Humectación/ secado	Hielo-deshielo
Desgaste (mm)		1,1	1,0	0,9
Flexión (N/mm ²)	Cara	9,5	7,3	6,5
	Dorso	7,2	6,2	6,5
Absorción de agua (%)		6,9	7,1	6,7
Choque (mm)		400	300	400
Heladicidad		No heladiza	No heladiza	No heladiza
Permeabilidad		No permeable	No permeable	No permeable
Absorción de agua cara vista (%)		4,2	4,1	3,6
Características geométricas:				
- Longitud (dispersión, %)		0,5	0,1	0,1
- Anchura (dispersión, %)		0,5	0,2	0,1
- Espesor (dispersión, %)		0,2	0,5	0,4
- Espesor capa de huella (mm)		6,6	6,9	7,0
- Desviación de ángulos (mm)		0,2	0,2	0,2
- Rectitud de aristas (%)		0,1	0,1	0,1
- Planeidad (%)		0,05	0,06	0,05
Interpretación de resultados, según UNE 127001 (cumple usos)		Normal	Ninguno	Normal

Tabla T-3.15 Baldosa hidráulica de botones, 20x20 cm. Tipo C

DETERMINACIONES EFECTUADAS		VALORES OBTENIDOS		
		Inicial	Humectación/ secado	Hielo-deshielo
Desgaste (mm)		2,2	2,4	1,9
Flexión (N/mm ²)	Cara	8,9	8,3	7,5
	Dorso	9,4	8,8	8,4
Absorción de agua (%)		6,5	6,5	6,3
Choque (mm)		500	500	500
Heladicidad		No heladiza	No heladiza	No heladiza
Permeabilidad		No permeable	No permeable	No permeable
Absorción de agua cara vista (%)		2,0	3,7	4,6
Características geométricas:				
- Longitud (dispersión, %)		0,1	0,1	0,1
- Anchura (dispersión, %)		0,1	0,2	0,1
- Espesor (dispersión, %)		0,7	0,3	0,3
- Espesor capa de huella (mm)		9,5	11,2	11,2
- Desviación de ángulos (mm)		0,4	0,2	0,3
- Rectitud de aristas (%)		0,1	0,1	0,1
- Planeidad (%)		0,09	0,05	0,07
Interpretación de resultados, según UNE 127001 (cumple usos)		Normal	Normal	Normal Intensivo

Tabla 3.16 Baldosa de terrazo, 30x30 cm. Tipo D

DETERMINACIONES EFECTUADAS		VALORES OBTENIDOS		
		Inicial	Humectación/ secado	Hielo-deshielo
Desgaste (mm)		0,8	0,7	1,0
Flexión (N/mm ²)	Cara	12,9	11,5	10,2
	Dorso	12,8	11,9	10,6
Absorción de agua (%)		5,2	5,9	5,0
Choque (mm)		600	600	600
Heladicidad		No heladiza	No heladiza	No heladiza
Permeabilidad		No permeable	No permeable	No permeable
Absorción de agua cara vista (%)		0,9	1,4	3,4
Características geométricas:				
- Longitud (dispersión, %)		0,1	0,0	0,0
- Anchura (dispersión, %)		0,1	0,0	0,0
- Espesor (dispersión, %)		0,5	0,1	0,2
- Espesor capa de huella (mm)		9,0	9,9	9,4
- Desviación de ángulos (mm)		0,1	0,2	0,2
- Rectitud de aristas (%)		0,1	0,1	0,1
- Planeidad (%)		0,02	0,03	0,04
Interpretación de resultados, según UNE 127001 (cumple usos)		Normal Intensivo Industrial Exterior	Normal Intensivo Industrial Exterior	Normal Intensivo Industrial Exterior

3.3. FABRICACIÓN Y ENSAYOS EFECTUADOS SOBRE MÓDULOS DE PRUEBA. ESTUDIO DE COMPORTAMIENTO FRENTE A CICLOS DE ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL ACELERADO

En el presente apartado se exponen los resultados obtenidos en el desarrollo de la Fase II descrita en el plan de ensayos previsto, relativo al estudio del comportamiento de módulos de prueba, constituidos por diferentes muestras de baldosa recibidas con mortero sobre una base de hormigón previamente dispuesta (módulos de prueba), frente a ciclos de envejecimiento acelerado de dos modalidades:

- Ciclos térmicos de temperaturas comprendidas entre +20 °C y +40 °C, completadas con secuencias de secado-humectación en cámara de radiación infrarroja (envejecimiento tipo S).
- Choque térmico por aplicación de ciclos de inmersión en agua a 20 °C y posterior congelación a -20 °C (envejecimiento tipo H).

Cada una de las cuatro clases de baldosa objeto de estudio han sido sometidas a envejecimiento en tres tipologías de probeta, según se indica en la Tabla 3.17:

TABLA T-3.17

Envejecimiento	Tipología de probeta		
Envejecimiento térmico +20°C/+40°C	2 Módulos 60x60 cm • Mortero tipo I • Mortero tipo II	2 Módulos 30x30 cm • Mortero tipo I • Mortero tipo II	Baldosas no adheridas 12 uds.
Choque térmico +20°C/-20°C	1 Módulo 60x60 cm • Mortero tipo I	2 Módulos 30x30 cm • Mortero tipo I • Mortero tipo II	Baldosas no adheridas 12 uds.

3.3.1. FABRICACIÓN DE LOS MÓDULOS DE PRUEBA

Para la fabricación de los módulos de prueba se efectuaron doce encofrados de 62 cm x 60 cm x 10 cm y dieciséis encofrados de 31 cm x 30 cm x 5 cm. La dosificación del hormigón se presenta a continuación.

Dosificación por m³

Cemento CEM I 42,5 Asland	230 kg
Arena 0/5.....	650 kg
Grava 5/20.....	1.280 kg
Agua	112 l

En cada uno de los módulos de 62 cm x 60 cm fueron embebidas armaduras en forma de V centradas en una cara lateral del encofrado, unidas en el vértice a una base roscada para hacer factible su transporte una vez ejecutadas (véanse Figuras 3.1 y 3.2).



Figura 3.1 Encofrados de los módulos 62x60 cm y 31x30 cm

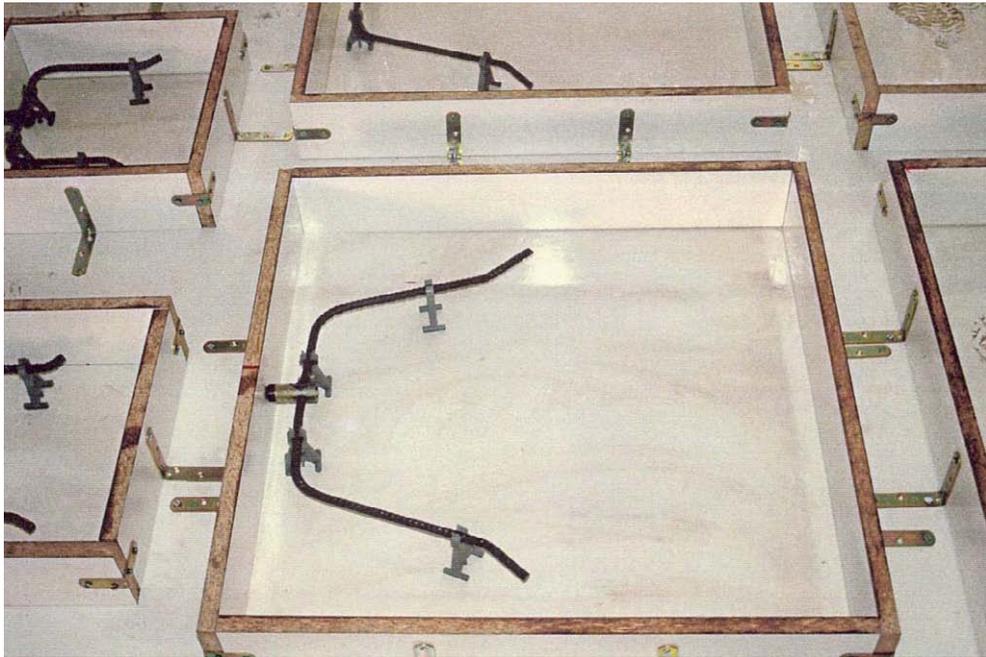


Figura 3.2 Esquema de armado de los módulos para hacer factible su transporte.

El vertido fue efectuado en fecha 1998-02-26, en una sola tongada para cada bloque y la compactación fue realizada mediante picado con barra (véase Figura 3.3). Posteriormente la superficie superior fue fratasada y, en fresco, cepillada para conseguir una textura idónea que favoreciese la adherencia del mortero (véase Figura 3.4).



Figura 3.3 Vertido y compactación del hormigón en los módulos.



Figura 3.4 Textura superficial del hormigón de los módulos.

Los módulos fueron desmoldados a las 48 horas, y se mantuvieron durante 10 días a $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ de temperatura y $50\pm 10\%$ de humedad relativa.

Transcurrido ese plazo, se procedió, en fecha 1998.03.11, a la colocación de las dos tipologías de mortero en los módulos correspondientes, mediante rastreles de 3 cm de altura, habiendo extendido una fina capa de cemento en polvo sobre la superficie del módulo previamente humedecida.

Una vez producido el enrase, se colocaron las baldosas mediante retacado, habiendo espolvoreado igualmente cemento anhidro en la cara de acabado del mortero. A continuación se procedió al vertido de la lechada en las juntas y al tableado y lavado de los módulos (véanse Figuras 3.5, 3.6 y 3.7).



Figura 3.5 Solado de los módulos de prueba.



Figura 3.6 Solado de los módulos de prueba.



Figura 3.7 Acabado de los módulos de prueba de 62x60 cm tras enlechado y tableado.

Los módulos de 31 cm x 30 cm x 5 cm fueron ejecutados de igual modo, excepto en lo relativo al enlechado y tableado, que no fue realizado para mantener las baldosas sin unión entre ellas y así poder efectuar los ensayos de adherencia únicamente en la interfase baldosa/mortero.

Los módulos así fabricados han sido regados diariamente con agua durante dos semanas, con objeto de no iniciar los ciclos de envejecimiento hasta que el mortero hubiese conseguido un grado de hidratación suficiente.

3.3.2 ENSAYOS EFECTUADOS SOBRE MÓDULOS DE PRUEBA

Se han ensayado cuatro tipos de baldosas:

- a) Baldosa monocapa 15x15 cm, designada tipo A
- b) Baldosa hidráulica 15x15 cm, designada tipo B
- c) Baldosa hidráulica de botones 20x20 cm, designada tipo C
- d) Baldosa de terrazo 30x30 cm, designada tipo D

Por cada uno de los tipos de baldosa mencionados se procedió a la fabricación, en el Laboratorio Central de Intemac, de los módulos de prueba de 60x60 cm² y 30x30 cm² descritos en el apartado anterior, constituidos por una base de hormigón H-250 de 10 cm y 5 cm de espesor, respectivamente, y una capa de mortero de 3 cm de espesor sobre la que se recibieron las baldosas. Dichos módulos fueron sometidos a los tratamientos de envejecimiento artificial acelerado que se detallan a continuación:

- Tratamiento de humectación/secado, con temperaturas comprendidas entre + 20° C y + 40° C, con secuencias de humedad-sequedad en cámara de radiación infrarroja, y con una duración total de 4 meses, siguiendo los ciclos que se detallan a continuación:
 - 24 horas a 40° C (regando hasta saturación al inicio del calentamiento).
 - 48 horas a 20° C.
 - 24 horas a 40° C (regando hasta saturación al inicio del calentamiento).
 - 72 horas a 20° C.

- Tratamiento de hielo/deshielo, con aplicación de ciclos de inmersión en agua a 20° C y posterior congelación a -20° C, con una duración total de 4 meses, siguiendo los ciclos que se detallan a continuación:
 - 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.

Los mencionados módulos de prueba se fabricaron con las dos tipologías de mortero de unión que se describen a continuación, excepto los de 60x60 cm² para tratamiento de hielo/deshielo, que sólo se prepararon, de acuerdo con el plan de ensayos previsto, con mortero tipo I:

Tabla 3.18

MORTERO TIPO	DOSIFICACIÓN cemento:arena	CEMENTO (kg/m ³)	ARENA (kg/m ³)	AGUA (l/m ³)
I	1:4	350	1.030	260
II	1:10	160	1.150	250

El efecto de los ciclos de envejecimiento artificial acelerado aplicados se cuantificó por comparación de los parámetros resultantes de las determinaciones que se detallan a continuación, realizadas sobre los módulos de prueba antes del comienzo de los tratamientos, y una vez finalizados éstos:

- Módulos 60x60 cm:
 - Variación dimensional, según UNE 127001
 - Planeidad, según UNE 127001
 - Resistencia al deslizamiento, según NLT 175
 - Cuantificación de defectos, según UNE 127001 (apartado 7.2.)
 - Coordenadas cromáticas (L, a, b)

- Módulos 30x30 cm:
 - Adherencia, según UNE 83822

3.3.3. RESULTADOS DE ENSAYO

A continuación se presentan los resultados obtenidos tras la realización de los ensayos indicados anteriormente. Dichos resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas.

3.3.3.1. Variación dimensional, según UNE 127001

Sobre las caras vistas de los módulos de prueba se fijaron con resina epoxi, próximos a los vértices, cuatro puntales metálicos que servirían como referencia para realizar las medidas de las variaciones de longitud de las diagonales de cada módulo, frente a las distintas condiciones de tratamiento a que iban a ser expuestas. Sin embargo, una vez realizadas las medidas iniciales y comenzados los ciclos de envejecimiento, se produjo el desprendimiento de varios puntales, especialmente en las piezas sometidas a ciclos de hielo-deshielo, por lo cual, ante la imposibilidad de continuar el estudio sobre los módulos de prueba, se procedió a realizar las medidas de variación dimensional sobre probetas prismáticas (15x2 cm²), obtenidas por tallado con sierra de disco de diamante a partir de las baldosas en estado de suministro. El estudio fue efectuado sometiendo a la totalidad de las probetas (cuatro por cada tipología de baldosa) al tratamiento de saturación, congelación y calentamiento, indicado en el esquema siguiente, que reproduce las variaciones higrotérmicas que han sido aplicadas sobre los módulos de prueba.

- 1) Estabilización a 20° C
- 2) Saturación a 20° C
- 3) Congelación a -20° C
- 4) Saturación a 20° C
- 5) Calentamiento a 40° C
- 6) Deseccación a 100° C
- 7) Enfriamiento a 40° C

Entre una etapa y la siguiente las probetas se mantenían en las condiciones citadas hasta que se obtenía una medida de longitud repetitiva en dos días consecutivos.

En ambos extremos de las probetas prismáticas fueron adheridos unos puntales para poder efectuar, mediante un comparador con 1 µm de apreciación, las medidas de variación dimensional.

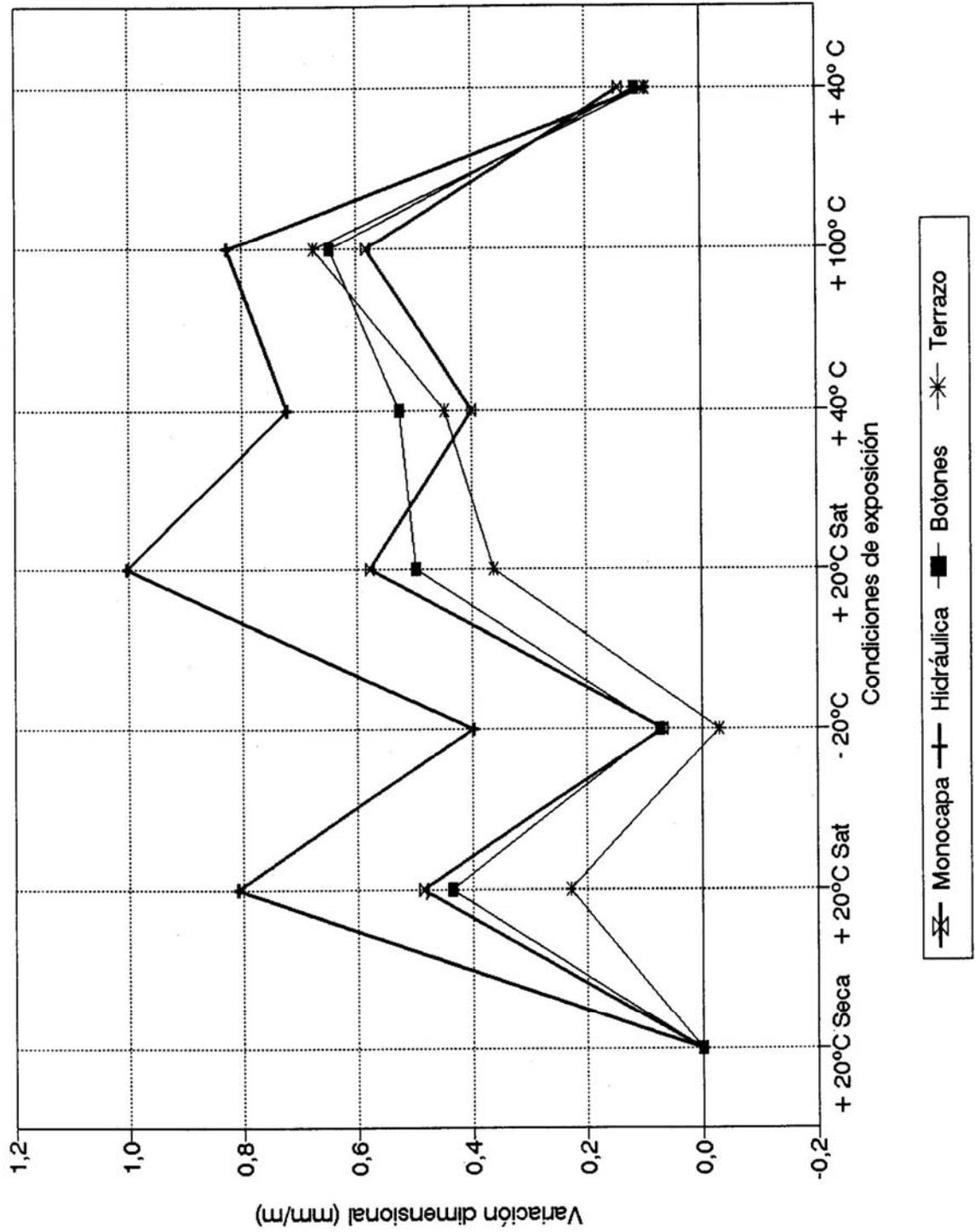
Los resultados obtenidos se detallan a continuación, expresados como incremento de longitud, referido a la medida inicial a 20° C de temperatura:

Tabla 3.19

VARIACION DIMENSIONAL

Baldosa Tipo	Longitud Inicial	LECTURA DEL COMPARADOR (mm)								VARIACION DIMENSIONAL (mm/m)								
		a 20 ° C		a - 20 ° C		a 40 ° C		a 100 ° C		20 ° C		- 20 ° C		40 ° C		100 ° C		
		Desecada	Saturada	Desecada	Saturada	Desecada	Saturada	Desecada	Saturada	Saturada	Desecada	Saturada	Desecada	Saturada	Desecada	Saturada	Desecada	Saturada
Monocapa Tipo A	150	2,688	2,770	2,702	2,785	2,746	2,774	2,710	0,093	0,647	0,387	0,573	0,147	0,633	0,153	0,107	0,547	0,107
	150	2,853	2,932	2,863	2,945	2,914	2,948	2,876	0,067	0,613	0,407	0,633	0,153	0,633	0,153	0,107	0,547	0,107
	150	3,025	3,088	3,033	3,106	3,080	3,107	3,041	0,053	0,540	0,367	0,547	0,107	0,547	0,107	0,107	0,547	0,107
	150	3,163	3,230	3,172	3,240	3,229	3,250	3,186	0,060	0,513	0,440	0,580	0,153	0,580	0,153	0,153	0,580	0,153
Valor medio									0,068	0,578	0,400	0,583	0,140	0,583	0,140	0,140	0,583	0,140
Hidráulica Tipo B	150	2,892	3,015	2,957	3,043	3,000	2,966	2,906	0,433	1,007	0,720	0,793	0,093	0,793	0,093	0,093	0,793	0,093
	150	2,818	2,938	2,877	2,974	2,910	2,892	2,831	0,393	1,040	0,613	0,793	0,087	0,793	0,087	0,087	0,793	0,087
	150	2,688	2,814	2,751	2,841	2,792	2,766	2,703	0,420	1,020	0,693	0,820	0,100	0,820	0,100	0,100	0,820	0,100
	150	2,865	2,982	2,916	3,007	2,995	2,955	2,880	0,340	0,947	0,867	0,900	0,100	0,900	0,100	0,100	0,900	0,100
Valor medio									0,397	1,003	0,723	0,827	0,095	0,827	0,095	0,095	0,827	0,095
Botones Tipo C	150	2,735	2,803	2,725	2,800	2,802	2,832	2,750	-0,067	0,433	0,447	0,647	0,100	0,647	0,100	0,100	0,647	0,100
	150	2,934	2,996	2,975	3,009	3,015	3,040	2,955	0,273	0,500	0,540	0,707	0,140	0,540	0,140	0,140	0,707	0,140
	150	3,359	3,432	3,371	3,440	3,445	3,455	3,376	0,080	0,540	0,573	0,640	0,113	0,540	0,113	0,113	0,640	0,113
	150	3,200	3,257	3,201	3,277	3,280	3,289	3,215	0,007	0,513	0,533	0,593	0,100	0,533	0,100	0,100	0,533	0,100
Valor medio									0,073	0,497	0,523	0,647	0,113	0,523	0,113	0,113	0,647	0,113
Terrazo Tipo D	150	2,742	2,776	2,733	2,795	2,802	2,840	2,750	-0,060	0,353	0,400	0,653	0,053	0,400	0,053	0,053	0,653	0,053
	150	0,508	0,542	0,507	0,564	0,581	0,604	0,523	-0,007	0,373	0,487	0,640	0,100	0,373	0,100	0,100	0,640	0,100
	150	0,632	0,665	0,629	0,683	0,695	0,731	0,650	-0,020	0,340	0,420	0,660	0,120	0,340	0,120	0,120	0,660	0,120
	150	1,699	1,735	1,694	1,756	1,771	1,812	1,715	-0,033	0,380	0,480	0,753	0,107	0,380	0,107	0,107	0,753	0,107
Valor medio									-0,030	0,362	0,447	0,677	0,095	0,362	0,095	0,095	0,677	0,095

Figura 3.8



3.3.3.2. Planeidad, según UNE 127001

Las medidas de planeidad se efectuaron con un comparador analógico en las dos diagonales de cada uno de los módulos, sobre una base de medida de 500 mm. Las determinaciones se efectuaron previamente al inicio de los tratamientos de envejecimiento artificial acelerado, y una vez concluidos éstos, se realizaron medidas a las distintas temperaturas a que habían estado sometidos los módulos.

A continuación se resumen los resultados obtenidos:

Tabla 3.20

PLANEIDAD, SEGUN UNE 127.001

Módulo:	MEDIDAS INICIALES						TRAS TRATAMIENTO HUMECTACION-SECADO													
	Flecha máx (mm)		Planimetria (%)		Medidas realizadas a 20 °C		Medidas realizadas a 40 °C				Final (20°C) - Inicial				Final (40°C) - Inicial					
	Diagonal	Diagonal II	Diagonal	Diagonal II	Diagonal	Diagonal II	Diagonal	Diagonal II	Diagonal	Diagonal II	Diagonal	Diagonal II	Diagonal	Diagonal II	Diagonal	Diagonal II	Diagonal	Diagonal II		
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II		
Baldosa Mortero	-1,48	-1,20	-0,30	-0,24	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	
	-0,72	-0,05	-0,14	-0,01	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	
	-1,90	-0,10	-0,38	-0,02	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	
	-1,20	-2,00	-0,24	-0,40	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	
Monocapa M-I Tipo A	0,00	-0,85	0,00	-0,17	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	
	0,15	-0,90	0,03	-0,18	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	
	1,90	2,00	0,38	0,40	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	
	-0,78	-0,52	-0,16	-0,10	-0,81	-0,10	-0,16	-0,11	-0,84	-0,50	-0,17	-0,10	-0,81	-0,10	-0,16	-0,11	-0,84	-0,50	-0,17	-0,10
Hidráulica M-I Tipo B	-1,65	-1,28	-0,33	-0,26	-1,60	-1,30	-0,32	-0,26	-1,80	-1,30	-0,36	-0,26	-1,80	-1,30	-0,36	-0,26	-1,80	-1,30	-0,36	-0,26
	-2,05	-1,00	-0,41	-0,20	-2,10	-1,01	-0,42	-0,20	-2,00	-0,96	-0,40	-0,19	-2,00	-0,96	-0,40	-0,19	-2,00	-0,96	-0,40	-0,19
	-1,45	-1,12	-0,29	-0,22	-1,46	-1,10	-0,29	-0,22	-1,50	-1,10	-0,30	-0,22	-1,50	-1,10	-0,30	-0,22	-1,50	-1,10	-0,30	-0,22
	-1,40	-1,07	-0,28	-0,21	-1,41	-1,10	-0,28	-0,22	-1,44	-1,10	-0,29	-0,22	-1,44	-1,10	-0,29	-0,22	-1,44	-1,10	-0,29	-0,22
Valor máximo (Abs)	-1,35	-1,07	-0,27	-0,21	-1,39	-1,10	-0,28	-0,22	-1,26	-1,13	-0,25	-0,23	-1,26	-1,13	-0,25	-0,23	-1,26	-1,13	-0,25	-0,23
	2,05	1,28	0,41	0,26	2,05	1,28	0,41	0,26	2,05	1,28	0,41	0,26	2,05	1,28	0,41	0,26	2,05	1,28	0,41	0,26
	-0,40	-0,15	-0,08	-0,03	-0,44	-0,16	-0,09	-0,03	-0,36	-0,10	-0,07	-0,02	-0,36	-0,10	-0,07	-0,02	-0,36	-0,10	-0,07	-0,02
	-0,68	-0,30	-0,14	-0,06	-0,73	-0,30	-0,15	-0,06	-0,71	-0,31	-0,14	-0,06	-0,71	-0,31	-0,14	-0,06	-0,71	-0,31	-0,14	-0,06
Bolones M-I Tipo C	-0,19	-0,12	-0,04	-0,02	-0,21	-0,16	-0,04	-0,03	-0,22	-0,10	-0,04	-0,02	-0,22	-0,10	-0,04	-0,02	-0,22	-0,10	-0,04	-0,02
	-0,50	-0,43	-0,10	-0,09	-0,48	-0,40	-0,10	-0,08	-0,51	-0,50	-0,10	-0,10	-0,51	-0,50	-0,10	-0,10	-0,51	-0,50	-0,10	-0,10
	-1,00	-1,06	-0,20	-0,21	-0,99	-1,10	-0,20	-0,22	-1,00	-1,10	-0,20	-0,22	-1,00	-1,10	-0,20	-0,22	-1,00	-1,10	-0,20	-0,22
	-0,65	-0,82	-0,13	-0,16	-0,71	-0,90	-0,14	-0,18	-0,66	-0,90	-0,13	-0,18	-0,66	-0,90	-0,13	-0,18	-0,66	-0,90	-0,13	-0,18
Valor máximo (Abs)	0,30	-0,35	0,06	-0,07	0,29	-0,40	0,06	-0,08	0,25	-0,41	0,05	-0,08	0,25	-0,41	0,05	-0,08	0,25	-0,41	0,05	-0,08
	0,24	0,10	0,05	0,02	0,25	0,11	0,05	0,02	0,26	0,11	0,05	0,02	0,26	0,11	0,05	0,02	0,26	0,11	0,05	0,02
	1,00	1,06	0,20	0,21	1,00	1,06	0,20	0,21	1,00	1,06	0,20	0,21	1,00	1,06	0,20	0,21	1,00	1,06	0,20	0,21
	-0,15	-0,31	-0,03	-0,06	-0,11	-0,30	-0,02	-0,06	-0,20	-0,30	-0,04	-0,06	-0,20	-0,30	-0,04	-0,06	-0,20	-0,30	-0,04	-0,06
Terrazo M-I Tipo D	-0,03	-0,50	-0,01	-0,10	-0,06	-0,51	-0,01	-0,10	-0,04	-0,55	-0,01	-0,11	-0,04	-0,55	-0,01	-0,11	-0,04	-0,55	-0,01	-0,11
	0,05	-0,58	0,01	-0,12	-0,06	-0,60	-0,01	-0,12	-0,10	-0,63	-0,02	-0,13	-0,10	-0,63	-0,02	-0,13	-0,10	-0,63	-0,02	-0,13
	0,26	-0,09	0,05	-0,02	0,29	-0,10	0,06	-0,02	0,30	-0,06	0,06	-0,01	0,30	-0,06	0,06	-0,01	0,30	-0,06	0,06	-0,01
	-1,00	-0,75	-0,20	-0,15	-1,05	-0,81	-0,21	-0,16	-1,00	-0,71	-0,20	-0,14	-1,00	-0,71	-0,20	-0,14	-1,00	-0,71	-0,20	-0,14
Valor máximo (Abs)	-0,49	-0,48	-0,10	-0,10	-0,50	-0,54	-0,10	-0,11	-0,50	-0,44	-0,10	-0,09	-0,50	-0,44	-0,10	-0,09	-0,50	-0,44	-0,10	-0,09
	1,00	0,75	0,20	0,15	1,00	0,75	0,20	0,15	1,00	0,75	0,20	0,15	1,00	0,75	0,20	0,15	1,00	0,75	0,20	0,15
	-0,40	-0,15	-0,08	-0,03	-0,44	-0,16	-0,09	-0,03	-0,36	-0,10	-0,07	-0,02	-0,36	-0,10	-0,07	-0,02	-0,36	-0,10	-0,07	-0,02
	-0,68	-0,30	-0,14	-0,06	-0,73	-0,30	-0,15	-0,06	-0,71	-0,31	-0,14	-0,06	-0,71	-0,31	-0,14	-0,06	-0,71	-0,31	-0,14	-0,06

(1) En el módulo de prueba fabricado con baldosa monocapa y mortero tipo I, se despreció, en el transcurso del tratamiento, la capa de mortero de la base de hormigón, por lo que no fue posible realizar las determinaciones finales

3.3.3.3. Resistencia al deslizamiento, según NLT 175

La determinación del coeficiente de resistencia al deslizamiento (C.R.D.) se ha realizado con el péndulo del TRRL (Transport and Road Research Laboratory), de acuerdo con la norma NLT 175.

Se han realizado medidas en tres puntos de ensayo por módulo de prueba de forma que las direcciones de los rectángulos barridos por la zapata del péndulo formaran ángulos de 45° o superiores. En cada uno de los puntos seleccionados se ha realizado el ensayo en los dos sentidos de circulación de la dirección elegida. Sobre los módulos constituidos por baldosas hidráulicas de botones, debido a la geometría de la cara vista de las piezas, no se han podido realizar las determinaciones citadas.

Las medidas de C.R.D. se han efectuado sobre cada módulo de prueba, antes y después de los ciclos de envejecimiento artificial acelerado. A continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos:

Tabla T-3.23

TRATAMIENTO	MÓDULO DE PRUEBA TIPO		COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (C.R.D.)	
	Baldosa	Mortero	Iniciales	Final
Humectación/ Secado	Monocapa. Tipo A	I	0,69	- (*)
	Hidráulica. Tipo B		0,68	0,65
	Terrazo. Tipo D		0,64	0,60
Humectación/ Secado	Monocapa. Tipo A	II	0,68	0,68
	Hidráulica. Tipo B		0,72	0,71
	Terrazo. Tipo D		0,51	0,52
Hielo/Deshielo	Monocapa. Tipo A	I	0,70	0,72
	Hidráulica. Tipo B		0,71	0,70
	Terrazo. Tipo D		0,64	0,62

(*) En el módulo de prueba fabricado con baldosa monocapa y mortero tipo I, se desprendió, en el transcurso del tratamiento de humectación-secado, la capa de mortero de la base de hormigón, por lo que no fue posible realizar las determinaciones finales.

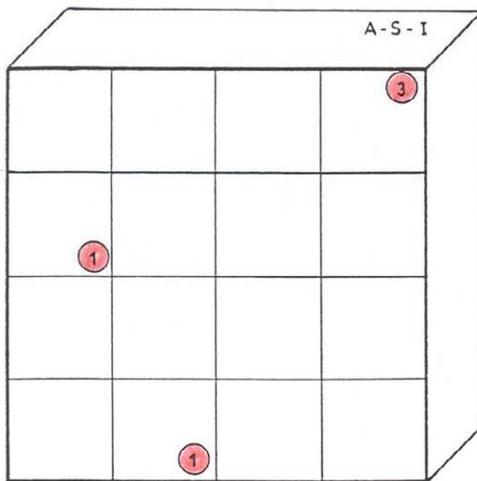
3.3.3.4. Cuantificación de defectos, según UNE 127001

Previamente al inicio de los ciclos de envejecimiento artificial, se procedió a la inspección visual detallada de los módulos de prueba (60x60 cm), al objeto de realizar un levantamiento de los defectos de los mismos, según UNE 127001, para comprobar su estado final una vez concluidos los tratamientos previstos.

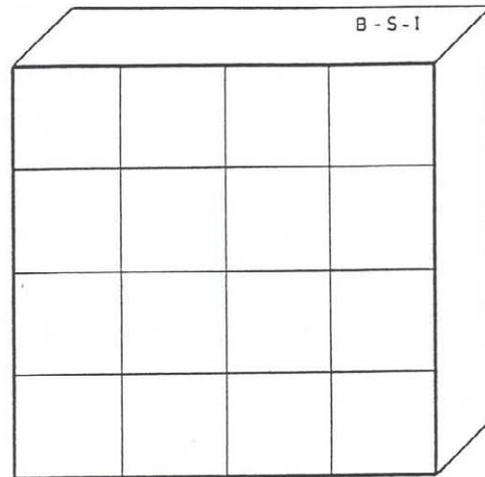
A continuación se presenta, en forma de croquis, un esquema detallado del resultado de la inspección visual de los módulos de prueba antes y después de los tratamientos de envejecimiento artificial acelerado.

CUANTIFICACION DE DEFECTOS, SEGUN UNE 127001 (7-2)

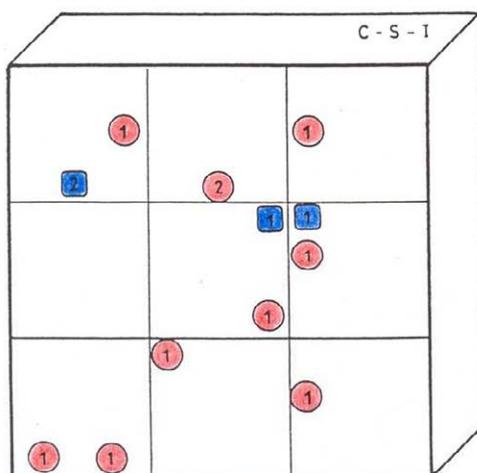
Módulos de prueba sometidos a tratamiento de humectación-secado. Mortero tipo I.



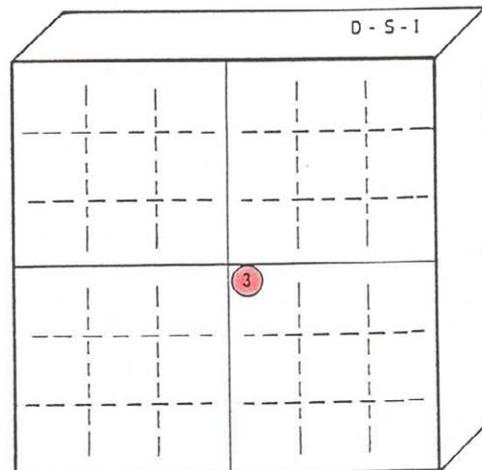
BALDOSA MONOCAPA. TIPO A



BALDOSA HIDRAULICA. TIPO B



BALDOSA HIDRAULICA-BOTONES. TIPO C



BALDOSA DE TERRAZO. TIPO D

-  Defectos antes del tratamiento
-  Defectos después del tratamiento

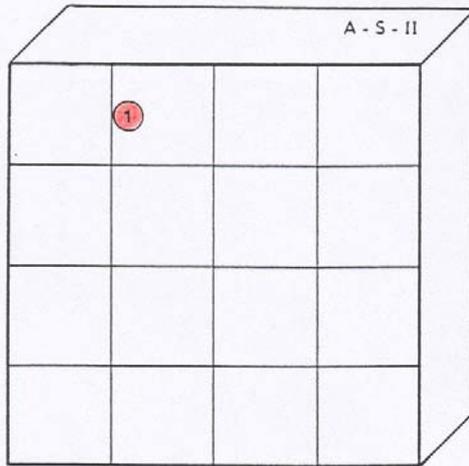
CODIGO DE DEFECTOS:

- 1.- Coqueras, fisuras, grietas
- 2.- Desconchado de aristas
- 3.- Despuntado de esquinas

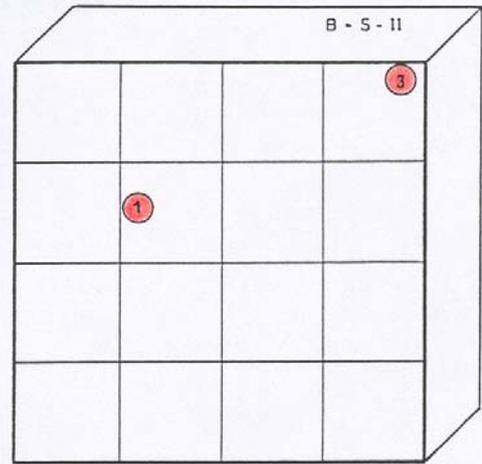
Figura 3.9

CUANTIFICACION DE DEFECTOS, SEGUN UNE 127001 (7-2)

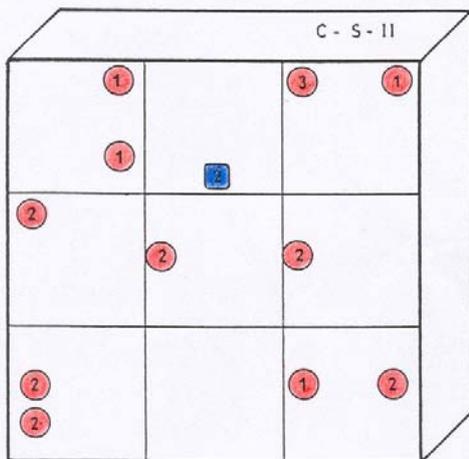
Módulos de prueba sometidos a tratamiento de humectación-secado. Mortero tipo II.



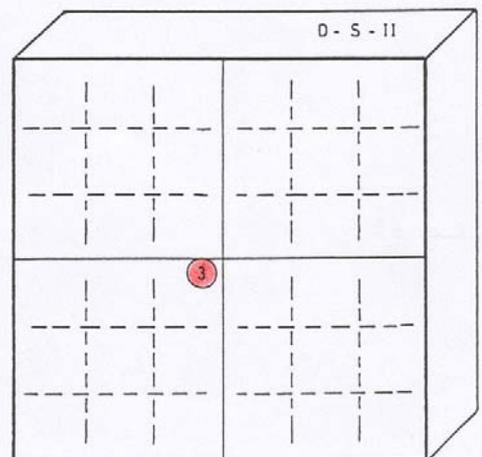
BALDOSA MONOCAPA. TIPO A



BALDOSA HIDRAULICA. TIPO B



BALDOSA HIDRAULICA-BOTONES. TIPO C



BALDOSA DE TERRAZO. TIPO D

-  Defectos antes del tratamiento
-  Defectos después del tratamiento

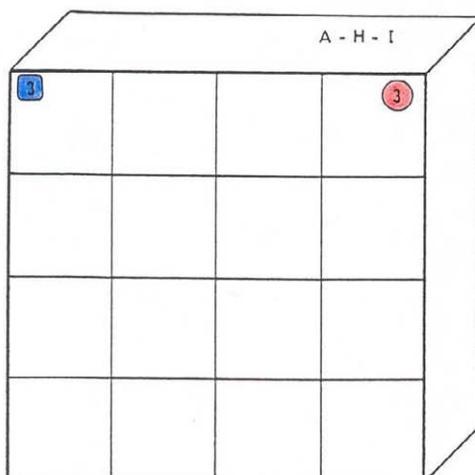
CODIGO DE DEFECTOS:

- 1.- Coqueras, fisuras, grietas
- 2.- Desconchado de aristas
- 3.- Despuntado de esquinas

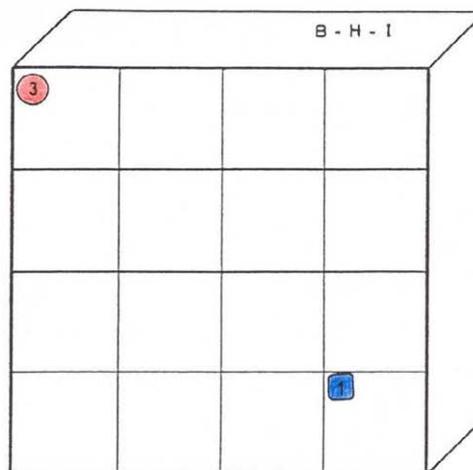
Figura 3.10

CUANTIFICACION DE DEFECTOS, SEGUN UNE 127001 (7-2)

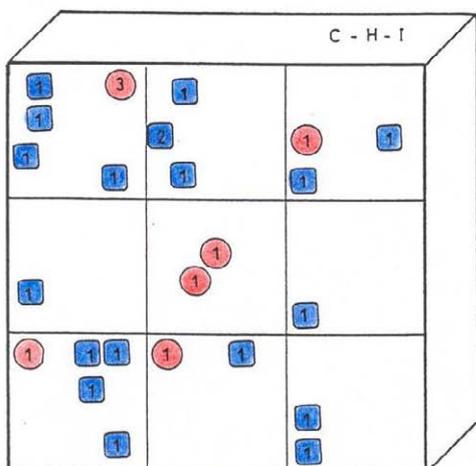
Módulos de prueba sometidos a tratamiento de hielo-deshielo. Mortero tipo I.



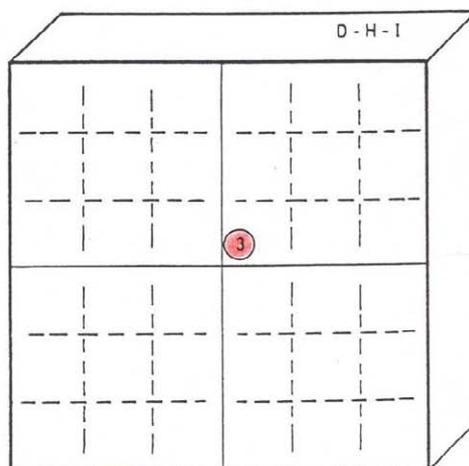
BALDOSA MONOCAPA. TIPO A



BALDOSA HIDRAULICA. TIPO B



BALDOSA HIDRAULICA-BOTONES. TIPO C



BALDOSA DE TERRAZO. TIPO D

- Defectos antes del tratamiento
- Defectos después del tratamiento

CODIGO DE DEFECTOS:

- 1.- Coqueras, fisuras, grietas
- 2.- Desconchado de aristas
- 3.- Despuntado de esquinas

Figura 3.11

3.3.3.5. Análisis cromático

El estudio de la variación de color frente a los ciclos de envejecimiento artificial acelerado, de las baldosas objeto de la experimentación, ha sido realizado sobre los módulos de prueba de 60x60 cm². Sobre cada uno de los módulos se han seleccionado dos zonas de forma cuadrada (4x4 cm²) situadas a lo largo de una de las diagonales del módulo, próximas a los vértices. En cada una de dichas zonas se han realizado, antes y después de los ciclos de envejecimiento, diez medidas de color.

La medida de las coordenadas cromáticas ha sido efectuada, en ambiente de laboratorio, con un espectrocolorímetro Minolta 2002. Las condiciones de medida normalizadas han sido: ángulo de observación 10° e iluminante D65, que corresponde a la luz natural diurna con radiación ultravioleta.

La escala cromática utilizada ha sido la CIE 1976 Cielab, midiendo los parámetros L*, a*, b*.

En dicha escala colorimétrica, L* corresponde a la luminosidad, mientras que a* y b* corresponden a las coordenadas cromáticas (tono o color) a partir de las cuales se define la croma, C*, que hace referencia a la saturación de color y viene dada por la expresión:

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad 1$$

Las coordenadas a* y b* se representarían en un diagrama circular en donde el eje -a*, +a* representa el color verde al rojo y el eje -b*, +b* representa el azul-amarillo. El centro del diagrama (valores próximos a cero para a* y b*) sería acromático, y al desplazarse hacia la periferia del diagrama, aumentaría la saturación de color.

También a partir de los parámetros a* y b* se define el ángulo hue:

$$\text{Angulo hue} = H^* = \arctan (b^* / a^*) \quad 2$$

El ángulo hue se mide siempre desde el eje + a* (Figura 3.12), y representa la cantidad o pureza del color.

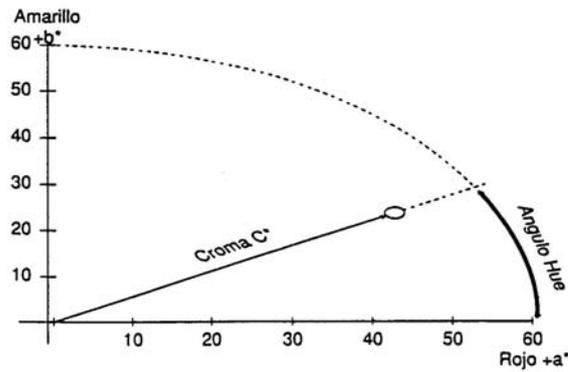


Figura 3.12 Cromo (C^*) y ángulo hue en diagrama de color a^* y b^* .

En general, los atributos que definen un color son la luminosidad (L^*), el tono (ángulo hue) y la saturación (C^*), estos parámetros pueden ser representados sobre un elipsoide de revolución en cuyo eje mayor se sitúa toda la gama de grises, desde el blanco puro en un polo, al negro en el polo opuesto. En el plano ecuatorial se representan los tonos o colores y en círculos concéntricos, la cantidad de esos colores o pureza del color.

En la Figura 3.13 se muestra el elipsoide formado por los tres atributos citados:

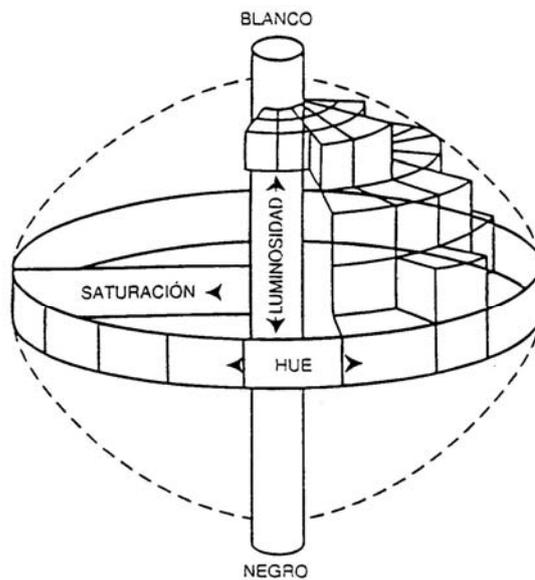


Figura 3.13 Representación tridimensional de los atributos del color

Adicionalmente se han calculado, de acuerdo con las normas ASTM E 308 y D2244, el índice de amarillo (IA) y el índice de blancura (IB) que representan, respectivamente, el grado en el cual la muestra es diferente del blanco en la dirección del amarillo (IA), y el grado de blanco que presenta el objeto (IB), que sería de 100 para el blanco ideal.

Los resultados obtenidos se presentan a continuación expresando el valor de cada módulo como valor medio de las veinte (módulos sometidos a ciclos de hielo-deshielo) o cuarenta (sometidos a tratamiento de humectación-secado) medidas realizadas, ya que se ha comprobado que no existen diferencias apreciables entre las dos zonas ensayadas sobre un mismo módulo, ni entre los valores obtenidos para una misma tipología de baldosa, sobre módulos fabricados con mortero tipo I ó II.

Tabla 3.24

TRATAMIENTO	MÓDULO DE PRUEBA		PARÁMETROS CROMÁTICOS (Valor medio)													
			Medidas iniciales							Medidas finales						
	Baldosa	Mortero	L*	a*	b*	c*	H*	IA	IB	L*	a*	b*	c*	H*	IA	IB
Humectación/ secado	Monocapa Tipo A	I y II	59,87	1,58	10,23	10,36	81,35	22,04	3,44	59,15	1,88	10,73	10,90	80,12	23,23	1,99
	Hidráulica Tipo B		54,87	0,39	5,77	5,78	86,23	13,70	10,49	54,73	0,55	6,57	6,59	85,32	15,57	8,79
	Botones Tipo C		50,24	13,89	12,51	18,71	41,89	30,69	-4,11	49,13	14,66	12,14	19,04	39,56	30,49	-3,66
	Terrazo Tipo D		56,14	16,49	13,45	21,30	39,19	30,49	-5,34	55,66	16,64	13,49	21,43	38,98	30,74	-5,46
Hielo-deshielo	Monocapa Tipo A	I	60,25	1,93	11,12	11,29	80,38	23,73	1,73	54,69	2,39	11,19	11,44	77,94	25,55	-0,53
	Hidráulica Tipo B		56,67	0,51	6,57	6,59	85,63	15,09	9,79	54,48	0,92	7,56	7,61	83,11	17,79	6,63
	Botones Tipo C		47,25	14,90	13,05	19,82	41,29	33,22	-5,42	46,27	11,70	10,86	16,00	43,27	28,61	-2,19
	Terrazo Tipo D		55,07	16,85	14,60	22,31	40,90	33,13	-7,56	51,52	15,39	13,45	20,45	41,12	32,19	-5,77

A continuación, a modo de síntesis, se muestran las variaciones cromáticas experimentadas por cada uno de los módulos ensayados.

Tabla 3.25

TRATAMIENTO	MÓDULO DE PRUEBA		VARIACIÓN DE PARÁMETROS CROMÁTICOS (Valor medio)						
	Baldosa	Mortero	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔC^*	ΔH^*	ΔIA	ΔIB
Humectación/ Secado	Monocapa Tipo A	I y II	-0,72	0,30	0,50	0,54	-1,23	1,19	-1,45
	Hidráulica Tipo B		-0,14	0,16	0,80	0,81	-0,91	1,87	-1,70
	Botones Tipo C		-1,11	0,77	-0,37	0,33	-2,33	-0,20	-0,45
	Terrazo Tipo D		-0,48	0,15	0,04	0,13	-0,21	0,25	0,12
Hielo-deshielo	Monocapa Tipo A	I	-5,56	0,46	0,07	0,15	-2,44	1,83	-2,26
	Hidráulica Tipo B		-2,18	0,41	0,99	1,02	-2,52	2,70	-3,17
	Botones Tipo C		-0,99	-3,20	-2,19	-3,82	1,97	-4,61	3,23
	Terrazo Tipo D		-3,55	-1,46	-1,15	-1,86	0,22	-0,94	1,79

3.3.3.6. Ensayos de adherencia, según UNE 83822

Sobre los módulos de prueba de 30x30 cm² se colocaron probetas talladas a partir de las baldosas objeto de estudio, con una superficie de 5x5 cm² y el espesor original de cada baldosa, empleando las dos tipologías de mortero descritas con anterioridad, 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 exponen a continuación.

Tabla 3.26

TRATAMIENTO	MÓDULO DE PRUEBA TIPO		TENSIÓN DE ADHERENCIA (Valor medio) (MPa)	
	Baldosa	Mortero	Inicial	Final
Humectación/ secado	Monocapa. Tipo A	I	0,64	0,35
	Hidráulica. Tipo B		0,74	0,45
	Botones. Tipo C		0,63	0,48
	Terrazo. Tipo D		1,21	1,11
Hielo-deshielo	Monocapa. Tipo A	I	0,60	- (*)
	Hidráulica. Tipo B		0,72	0,49
	Botones. Tipo C		0,62	0,48
	Terrazo. Tipo D		1,13	0,93
Humectación/ secado	Monocapa. Tipo A	II	0,27	0,22
	Hidráulica. Tipo B		0,28	0,15
	Botones. Tipo C		0,24	0,15
	Terrazo. Tipo D		0,39	0,25
Hielo-deshielo	Monocapa. Tipo A	II	0,29	- (*)
	Hidráulica. Tipo B		0,20	0,17
	Botones. Tipo C		0,22	0,16
	Terrazo. Tipo D		0,30	0,16

(*) En los módulos de prueba fabricados con baldosa monocapa, tanto con mortero tipo I como con mortero tipo II, se desprendió, en el transcurso del tratamiento de hielo-deshielo, la capa de mortero de la base de hormigón, por lo que no fue posible realizar las determinaciones finales.

4. ENSAYOS SOBRE ACERAS

4.1. EJECUCIÓN DEL TRAMO EXPERIMENTAL DE ENSAYOS

4.1.1. INTRODUCCIÓN

En este apartado se expone el proceso de fabricación y caracterización del tramo experimental definido en el Capítulo 2.

4.1.2. UBICACIÓN DEL TRAMO DE PRUEBAS

La construcción el tramo de prueba se ha realizado en una zona anexa al Laboratorio Central de INTEMAC situada en la entrada a las dependencias del mismo y próxima a la línea de ferrocarril Madrid-Barcelona.

Para la reproducción de las características exigibles al pavimento, ha sido necesaria la realización de una excavación, en una superficie de aproximadamente 20,20 x 3,50 m² y una profundidad media de 75 cm, condicionando esta cota a la localización de un fondo de excavación lo 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 adecuada (véanse Figuras 4.1 a 4.3).



Figura 4.1 Aspecto general de la excavación realizada.



Figura 4.2 Fondo de excavación.



Figura 4.3 Cajeadado de la excavación delimitado por un relleno de hormigón.

La excavación ha sido realizada durante los días 19 y 20 de Febrero de 1998.

4.1.3. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL PAVIMENTO

4.1.3.1. Excavación y rellenos de tierras

La excavación del terreno se llevó a cabo mediante una máquina retroexcavadora provista de puntero y cazo. Efectuada la excavación y previamente a la ejecución de los rellenos, se realizó la adecuación y regularización del fondo de la misma mediante la aportación de una capa de tierra, con espesor variable comprendido entre 7 y 12 cm, hasta conseguir una base lo suficientemente plana y firme en su cimentación (véanse Figuras 4.4 a 4.12).



Figura 4.4 Vertido del suelo de relleno a la excavación.



Figura 4.5 Aspecto del extendido del suelo en la primera capa correspondiente a la zona "compactación correcta".



Figura 4.6 Inicio de la compactación de la primera capa mediante rodillo cilíndrico liso.



Figura 4.7 Compactado mediante rodillo metálico (Primera capa: compactación correcta).



Figura 4.8 Toma de datos de la nivelación de la capa compactada y regulación de la zona defectuosa.



Figura 4.9 Capa 1ª compactada en zona con espesor del firme de 10 cm y zona no compactada con espesor del firme de 4 cm.



Figura 4.10 Proceso de compactación en zona con 4 cm de espesor de firme.



Figura 4.11 Comprobación del grado de compactación mediante aparato nuclear (Troxler).



Figura 4.12 Detalle del corte vertical realizado para delimitación de las dos zonas de compactación definidas.

Con el fin de garantizar la separación de las dos zonas de compactado se colocó, entre ambas, una plancha de porexpán de 3 cm de espesor, efectuando, previamente, un corte transversalmente al pavimento (afectando a toda la profundidad de los rellenos) una vez finalizada la compactación de la primera fase (véanse Figuras 4-13 a 4-15).



Figura 4.13 Aspecto general de la zona de compactación correcta. Materialización de la separación física con la zona de compactación deficiente

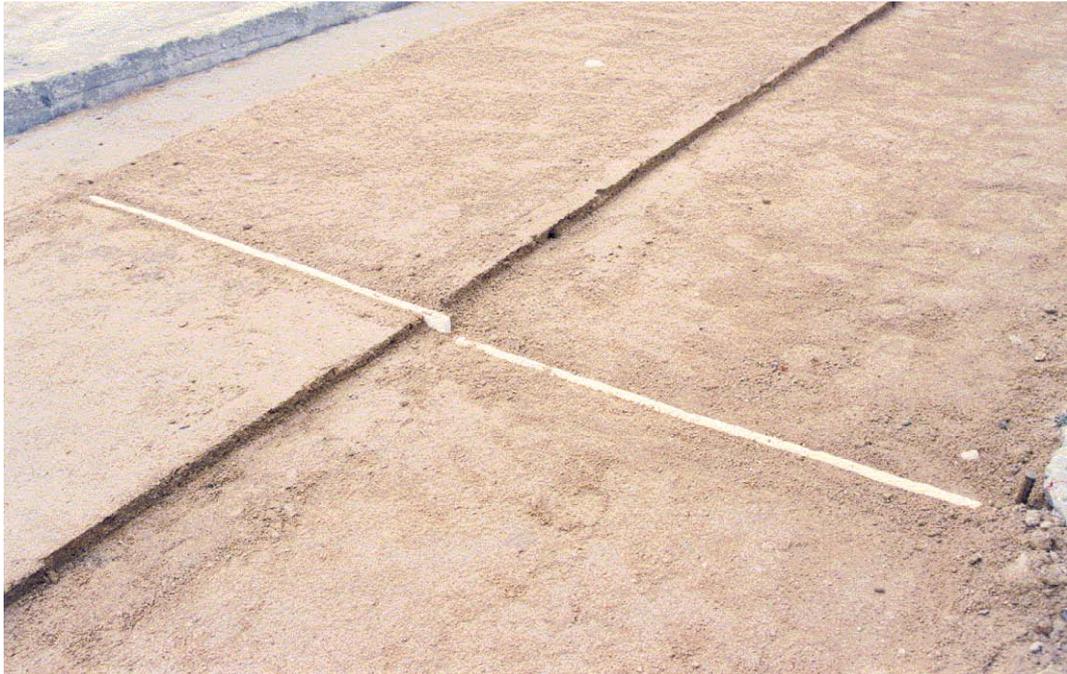


Figura 4.14 Aspecto general de compactación correcta. Materialización de la separación física con la zona de compactación deficiente



Figura 4.15 Detalle del corte efectuado para evidenciar la diferencia de espesores del firme

Terminada la compactación de las capas superiores se procedió a un refinado y nivelación definitiva con el fin de conseguir una correcta planeidad en toda su superficie. Se empleó un nivel de precisión Sokkisha modelo B2C provisto de mira de 2 m de longitud y apreciación de 2 mm.

En cada una de las capas se ha realizado un control de las compactaciones mediante aparato nuclear Troxler, al objeto de contrastar el grado de compactación requerido y la humedad de los suelos empleados. Los resultados obtenidos se recogen en el apartado 4.1.4.

La tierra utilizada en los rellenos, acopiada previamente en una zona próxima a la excavación, fue vertida mecánicamente mediante una pala excavadora y extendida de forma manual.

4.1.3.2. Hormigonado del firme

Sobre la superficie acotada se dispuso un entramado metálico constituido por perfiles huecos metálicos que han servido como encofrado del hormigón del firme (véanse Figuras 4.16 y 4.17). Las dimensiones interiores de los diferentes módulos ha sido de 1,21 m de ancho en sentido transversal al pavimento y de 2,43 m de longitud para los módulos de baldosa monocapa; y de 2,41 m de longitud para los módulos constituidos con baldosa de 15x15 bicapa, 20x20 con resaltos y terrazo de 30x30 (véase croquis de dimensiones del pavimento en el apartado 2.5).



Figura 4.16 Aspecto general del entramado metálico colocado como encofrado de los diferentes módulos.



Figura 4.17 Aplicación del desencofrante en las paredes del encofrado.

El hormigón empleado, procedente de central, fue vertido de forma gradual y extendido manualmente en toda la superficie y enrasado mediante una regleta metálica hasta

conseguir un acabado uniforme (véanse Figuras 4-18 a 4-24). Finalmente el hormigón fue cubierto con arpillera húmeda y un plástico protector.

Este curado se mantuvo durante los siete días siguientes al de hormigonado.



Figura 4.18 Vertido del hormigón.



Figura 4.19 Extendido y compactación del hormigón.



Figura 4.20 Extendido del hormigón y enrasado del mismo.



Figura 4.21 Enrasado posterior del tramo de ensayo.



Figura 4.22 Enrasado posterior del tramo de ensayo.



Figura 4.23 Detalle de rugosidad superficial del pavimento.



Figura 4.24 Detalle de encuentro de los módulos una vez realizados los encofrados.

Pasadas las primeras 72 horas de curado, se retiraron los perfiles metálicos utilizados en el encofrado, procediéndose a la colocación de unas planchas de porexpán con las dimensiones adecuadas que sirvieran, igualmente, de juntas de separación entre los diferentes módulos de ensayo (véanse Figuras 4.25 y 4.26).



Figura 4.25 Colocación de las planchas de porexpán para delimitación de módulos.



Figura 4.26 Disposición de juntas de porexpán entre módulos.

Las características del hormigón suministrado se definen a continuación:

Suministrador:	HORMICASA
Tipo de hormigón:	H-250
Consistencia:	Blanda
Tamaño máximo del árido:	12 mm
Tipo de cemento:	CEM II/ A-V 42,5R
Aditivo utilizado:	Plastificante

Se realizó un muestreo del hormigón fresco mediante la fabricación de 6 probetas cilíndricas 15/30. Asimismo, se comprobó su consistencia mediante Cono de Abrams. Los resultados de los ensayos se incluyen en el apartado 4.1.4.

4.1.3.3. Enlosado del pavimento

A los 20 días del hormigonado del pavimento se procedió a la colocación de las distintas baldosas previstas en cada uno de los tramos. Su ejecución fue llevada a cabo por personal especializado de la empresa PAVIMENTOS SAN ROQUE, S.L.

Las baldosas de cemento utilizadas son las definidas a continuación:

Tabla 4.1

TIPO DE BALDOSA	FECHA DE FABRICACIÓN
MONOCAPA 15X15	97.12.10
BICAPA 15X15	97.12.03
BOTONES 20X20	97.11.20
TERRAZO 30X30	97.11.02

Se empleó como material de agarre un mortero denominado II (cemento/arena 1:10). La mezcla de ambos componentes se realizó en seco, extendiéndose manualmente sobre el pavimento; a continuación se colocó el solado, sobre un espesor medio de capa de mortero de 35 mm. En una segunda fase, se procedió al regado de la superficie del pavimento y posterior extendido de una lechada de cemento que colmatase las juntas dispuestas entre baldosas (véanse Figuras 4.27 a 4.38).



Figura 4.27 Colocación del enlosado. Aportación del material de agarre.



Figura 4.28 Extendido y enrasado del material de agarre.



Figura 4.29 Aspecto del extendido final en la zona de compactación correcta.



Figura 4.30 Colocación de la baldosa hidráulica "MONOCAPA 15x15".



Figura 4.31: Colocación de la baldosa hidráulica "MONOCAPA 15x15".



Figura 4.32 Fase de ejecución del enlosado.



Figura 4.33 Fase de ejecución del enlosado.



Figura 4.34 Fase de ejecución del enlosado.



Figura 4.35 Nivelación de los módulos una vez finalizada su colocación.



Figura 4.36 Aplicación de la lechada de unión.



Figura 4.37 Aplicación de la lechada de unión.



Figura 4.38 Limpieza de la superficie del pavimento finalizada la colocación.

El cajeadado de las juntas de separación entre módulos se rellenó de betún asfáltico tipo 60/70 (véase Figura 4.39).

La Figura 4.40 muestra el aspecto del tramo de prueba una vez finalizada su ejecución.



Figura 4.39 Sellado de las juntas mediante betún asfáltico.



Figura 4.40 Aspecto general del tramo experimental de ensayo.

4.1.4. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

4.1.4.1. Suelos

A continuación, se presenta un resumen de los datos más significativos de los resultados efectuados para la caracterización de este material.

Próctor Normal

- Humedad óptima (%): 12,2
- Densidad máxima (gr/cm²): 1,92

Límites de Atterberg

- Límite líquido: 29,6
- Límite plástico: 16,7
- Índice de plasticidad: 12,9
- Contenido de finos (%): 8,8

Índice de C.B.R. (95% P.N.): 9,7

Índice de C.B.R. (100 % P.N.): 18,6

Materia orgánica (%): NO CONTIENE
 Clasificación: SUELO ADECUADO

Asimismo, se presenta a continuación un resumen de los resultados de las compactaciones.

Tabla 4.2

ZONA DE PAVIMENTO	CAPA	ENSAYO N°	GRADO DE COMPACTACIÓN	
			VALORES UNITARIOS	VALOR MEDIO
"COMPACTACIÓN CORRECTA"	1 ^a	1	100	100
		2	102	
		3	99	
		4	100	
	2 ^a	5	104	102
		6	100	
		7	101	
"COMPACTACIÓN DEFICIENTE"	1 ^a	8	92	92
		9	92	
		10	93	
	2 ^a	11	89	89
		12	90	
		13	89	

4.1.4.2. Hormigones

A continuación se presenta un resumen de los datos y resultados correspondientes al muestreo realizado del hormigón suministrado para la ejecución del firme.

Asiento de cono: 9 cm
 Densidad media: 2,35 kg/dm³
 f_{c7} : 36 N/mm²
 f_{c19} : 38 N/mm²
 f_{c28} : 46 N/mm²

4.2. ENSAYOS DE AUSCULTACIÓN DEL TRAMO EXPERIMENTAL

Como se ha descrito en los apartados 2.5 y 4.1 con objeto de evaluar las características mecánicas de aceras configuradas con cuatro tipos distintos de baldosa, dos espesores de base de hormigón y dos compactaciones de la subbase, se creó un banco de ensayos a escala real ejecutando 16 módulos (de 2,40 m de longitud x 1,20 m de anchura) distintos de acera que fueron sometidos a tráfico real durante 24 meses. Con objeto de evaluar el comportamiento de dichas secciones se utilizó un equipo de rango dinámico que era capaz de apreciar movimientos de 0,01 mm al paso de una carretilla elevadora lastrada siempre con la misma carga circulando a una velocidad aproximada de 5 Km/h. El peso total de la carretilla era de 5580 Kg, transmitiendo el eje delantero una carga de 4640 Kg y el eje trasero una carga de 940 Kg. La huella del neumático delantero era de 210x170 mmxmm y la del neumático trasero de 130x135 mmxmm.

En la figura 4.41 puede observarse la metodología seguida.

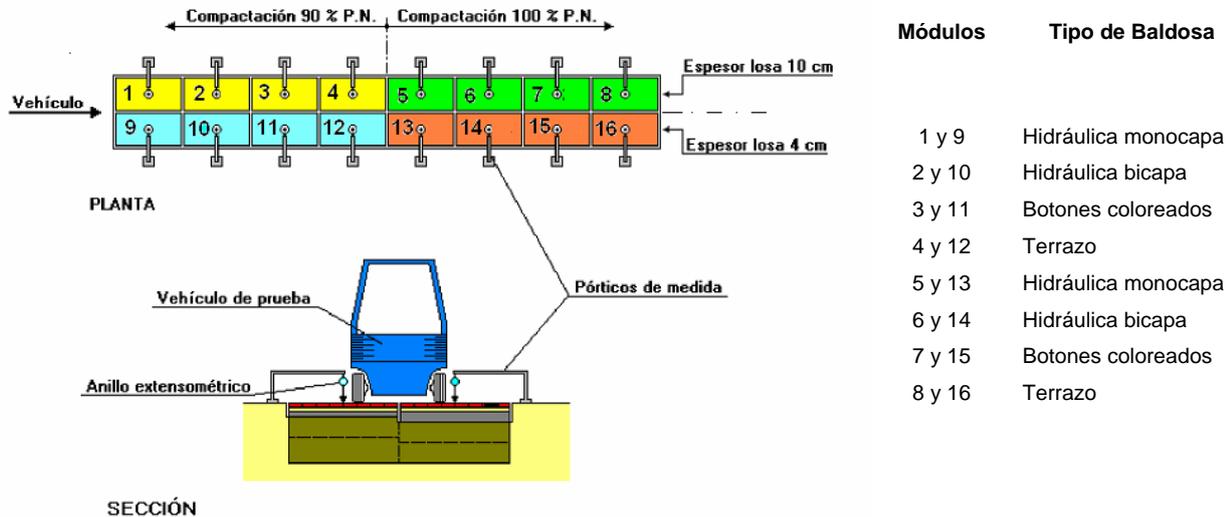


Figura 4.41

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 0,01 mm para la medida de flechas. En cada uno de los 16 módulos se colocó aproximadamente en su sección central un anillo resistivo fijado a la cara superior de la acera y referido a un punto fijo fuera de la losa de ensayos.

El equipo de control y adquisición de datos estaba constituido por amplificadores tipo SAN-EI de la marca NEC y tarjeta de Adquisición de Datos de la casa NATIONAL INSTRUMENTS, con una capacidad de lectura de hasta 32 canales de extensometría. La excitación de los transductores resistivos se realiza por medio de una corriente continua de 2,0 V de tensión. En cada registro se efectuaban 2.000 lecturas por segundo y por canal.

La velocidad de muestreo fue de una medida cada seis segundos en las pruebas estáticas. Como equipo controlador de la cadena de medida se emplea un ordenador PC.

En las figuras n^{os} 4.42 a 4.45 pueden observarse el tramo experimental de prueba, los transductores de desplazamiento empleados, el vehículo con carga empleado y el equipo de adquisición y control.



Figura 4.42 Vista general del tramo experimental



Figura 4.43 Detalle de uno de los transductores de desplazamiento empleado.



Figura 4-44. Vista de la carretilla elevadora desplazándose por el tramo experimental.

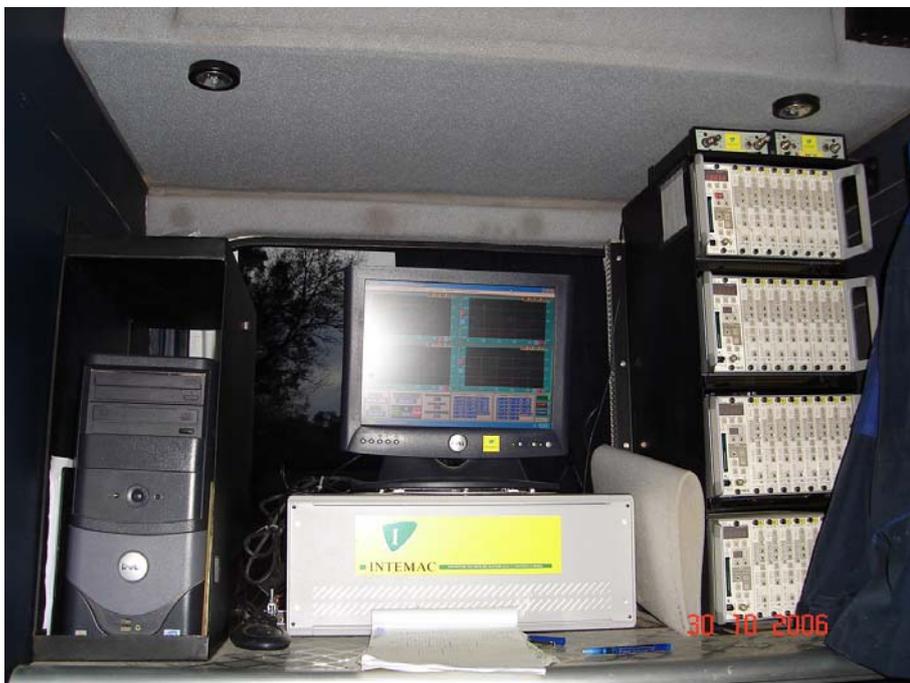


Figura 4.45 Equipo de adquisición y control

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 el Instituto para la auscultación estática y dinámica de estructuras. Las lecturas vienen expresadas en las unidades propias del fenómeno físico que se está midiendo, ya que las constantes de transformación de los captadores se introducen en el proceso de toma de datos. La presentación de los datos en la pantalla del ordenador permite la comparación directa y rápida de los resultados obtenidos en cada ensayo. Los registros pueden ampliarse horizontal y verticalmente para su mejor análisis y comprensión.

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.

En las Tablas 4.3 y 4.4 se recogen los valores máximos instantáneos de descensos y recuperaciones en los diferentes tramos de prueba, así como una comparación entre ellos.

En el Anejo se recogen los gráficos correspondientes a los datos tomados durante las pruebas.

Tabla 4.3
Flechas máximas instantáneas y recuperaciones instantáneas de los tramos de prueba

TIPO DE BALDOSA	% COMPACTACIÓN RESPECTO AL PRÓCTOR NORMAL	ESPESOR DE HORMIGÓN (cm)	FLECHA MÁXIMA / REMANENTE	FLECHA PARA N° DE PASADAS (mm)				
				0	375	735	1035	1200
MONOCAPA	90	4	M	0,20	0,24	0,17	0,22	0,36
			R	0,05	0,03	0,00	0,00	0,01
		10	M	0,14	0,13	0,11	0,16	0,18
			R	0,02	0,03	0,01	0,00	0,00
	100	4	M	0,12	0,13	0,08	0,12	0,19
			R	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00
		10	M	0,09	0,04	0,04	0,04	0,07
			R	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
BICAPA	90	4	M	0,20	0,23	0,19	0,22	0,42
			R	0,05	0,05	0,01	0,01	0,02
		10	M	0,14	0,12	0,09	0,17	0,13
			R	0,02	0,02	0,02	0,03	0,00
	100	4	M	0,12	0,13	0,10	0,12	0,24
			R	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00
		10	M	0,07	0,05	0,05	0,10	0,11
			R	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
BOTONES	90	4	M	0,21	0,28	0,17	0,24	0,38
			R	0,06	0,05	0,00	0,00	0,02
		10	M	0,13	0,10	0,10	0,17	0,19
			R	0,02	0,02	0,02	0,03	0,00
	100	4	M	0,17	0,11	0,11	0,14	0,27
			R	0,06	0,00	0,00	0,01	0,01
		10	M	0,08	0,04	-	0,15	0,12
			R	0,01	0,00	-	0,02	0,02
TERRAZO	90	4	M	0,27	0,26	0,19	0,22	0,37
			R	0,08	0,01	0,00	0,00	0,01
		10	M	0,16	0,10	0,13	0,21	0,17
			R	0,05	0,02	0,03	0,08	0,01
	100	4	M	0,05	0,13	0,13	0,15	0,29
			R	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
		10	M	0,09	0,07	0,07	0,14	0,13
			R	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00

Tabla 4.4
Comparación de flechas máximas para las distintas variables

TIPO DE BALDOSA	Nº DE PASADAS	Referencia (1): Base 4 cm Compactación 90%	Base 4 cm Compactación 100 %		Base 10 cm Compactación 90 %		Base 10 cm Compactación 100 %	
			Flecha	% Reducción respecto a (1)	Flecha	% Reducción respecto a (1)	Flecha	% Reducción respecto a (1)
MONOCAPA	0	0,20	0,12	40	0,14	30	0,09	55
	375	0,24	0,13	46	0,13	46	0,04	83
	735	0,17	0,08	53	0,11	35	0,04	76
	1035	0,22	0,12	45	0,16	27	0,04	82
	1200	0,36	0,19	47	0,18	50	0,07	81
	MEDIA	0,24	0,13	46	0,14	39	0,06	75
BICAPA	0	0,20	0,12	40	0,14	30	0,07	65
	375	0,23	0,13	43	0,12	48	0,05	78
	735	0,19	0,10	47	0,09	53	0,05	74
	1035	0,22	0,12	45	0,17	23	0,10	55
	1200	0,42	0,24	43	0,13	69	0,11	74
	MEDIA	0,25	0,14	44	0,13	44	0,08	69
BOTONES	0	0,21	0,17	19	0,13	38	0,08	62
	375	0,28	0,11	61	0,10	64	0,04	86
	735	0,17	0,11	35	0,10	41	-	-
	1035	0,24	0,14	42	0,17	29	0,15	38
	1200	0,38	0,27	29	0,19	50	0,12	68
	MEDIA	0,26	0,16	37	0,14	45	0,10	63
TERRAZO	0	0,27	0,05	81	0,16	41	0,09	67
	375	0,26	0,13	50	0,10	62	0,07	73
	735	0,19	0,13	32	0,13	32	0,07	63
	1035	0,22	0,15	32	0,21	5	0,14	36
	1200	0,37	0,29	22	0,17	54	0,13	65
	MEDIA	0,26	0,15	43	0,15	38	0,10	61

5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

5.1. INVESTIGACIONES SOBRE LAS BALDOSAS

5.1.1. RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES DE PAVIMENTACIÓN EMPLEADOS EN EL ESTUDIO

5.1.1.1. Resultados de los ensayos de identificación y caracterización

Como se ha descrito en el apartado 3.1, se ha procedido a la caracterización físico-mecánica de los cuatro tipos de baldosa empleados en el estudio efectuado sobre los factores que afectan a la resistencia, funcionalidad y durabilidad de las aceras. Los materiales objeto de estudio han sido los siguientes:

- a) Baldosa monocapa 15x15 cm, designada Tipo A
- b) Baldosa hidráulica 15x15 cm, designada Tipo B
- c) Baldosa hidráulica de botones 20x20 cm, designada Tipo C
- d) Baldosa de terrazo 30x30 cm, designada tipo D

Las muestras correspondientes a cada tipo de material fueron tomadas por personal de INTEMAC desplazado a las dependencias de las fábricas de varios de los suministradores de baldosas de pavimentación de aceras que abastecen a Madrid y su área metropolitana. En concreto los materiales muestreados se corresponden con tipologías de material que estaban siendo suministradas a las obras de pavimentación de aceras del Excmo. Ayto. de Madrid.

Sobre cada una de las baldosas en estudio se ha procedido en el Laboratorio Central de INTEMAC, a la realización de las determinaciones siguientes, efectuadas según la normativa en vigor en las fechas en las que se llevó a cabo el suministro de los materiales empleados para la investigación:

- Características geométricas, según UNE 127001:1990
- Absorción de agua, según UNE 127002:1990
- Permeabilidad y absorción de agua por la cara vista, según UNE 127003:1990 EX

- Heladicidad, según UNE 127004:1990
- Desgaste por abrasión, según UNE 127005/1:1990
- Resistencia a flexión, según UNE 127006:1990
- Resistencia al choque, según UNE 127007:1990

A continuación, en las Tablas 5.1 a 5.4, se presenta un resumen de los resultados obtenidos en los ensayos de identificación y caracterización de las baldosas empleadas en la experimentación, en estado de suministro.

Los resultados obtenidos se interpretan de acuerdo con la norma UNE 127001, aplicable a las baldosas de cemento empleadas en la ejecución de pavimentos y revestimientos, en vigor en las fechas en las que se llevó a cabo la investigación.

Tabla 5.1 Baldosa monocapa 15x15 cm Tipo A

DETERMINACIONES EFECTUADAS	VALORES OBTENIDOS	ESPECIFICACIONES UNE 127001			
		USO NORMAL	USO INTENSIVO	USO INDUSTRIAL	USO EXTERIOR
Desgaste (mm)	1,0	≤ 2,0	≤ 1,7	≤ 1,5	≤ 1,2
Flexión (N/mm ²) (cara en tracción)	5,4	≥ 4,5	≥ 5,0	≥ 6,0	≥ 6,0
Absorción de agua (%)	6,4	≤ 10,0	≤ 9,0	≤ 7,5	≤ 7,5
Choque (mm)	500	≥ 400	≥ 500	≥ 600	≥ 600
Heladicidad	No heladiza	NO HELADIZA			
Permeabilidad	Permeable	NO PERMEABLE			
Longitud (dispersión, %)	0,1	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
Anchura (dispersión, %)	0,1	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
Espesor (dispersión, %)	0,2	≤ 2 (Espesor ≤ 40 mm) ≤ 2 (Espesor > 40 mm)			
Desviación de ángulos (mm)	0,3	≤ 0,4			
Rectitud de aristas (%)	0,1	≤ 0,2			
Planeidad (%)	0,45	≤ 0,2 (Textura pulida) ≤ 0,3 (Otras texturas)			

Tabla 5.2 Baldosa hidráulica 15x15 cm Tipo B

DETERMINACIONES EFECTUADAS		VALORES OBTENIDOS	ESPECIFICACIONES UNE 127001			
			USO NORMAL	USO INTENSIVO	USO INDUSTRIAL	USO EXTERIOR
Desgaste (mm)		1,1	≤ 3,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 1,5
Flexión (N/mm ²)	Cara	9,5	≥ 3,5	≥ 4,5	≥ 5,0	≥ 5,0
	Dorso	7,2	≥ 2,5	≥ 4,0	≥ 4,0	≥ 4,0
Absorción de agua (%)		6,9	≤ 10,0	≤ 9,0	≤ 7,5	≤ 7,5
Choque (mm)		400	≥ 400	≥ 500	≥ 600	≥ 600
Heladicidad		No heladiza	NO HELADIZA			
Permeabilidad		No permeable	NO PERMEABLE			
Longitud (dispersión, %)		0,5	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
Anchura (dispersión, %)		0,5	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
Espesor (dispersión, %)		0,2	≤ 2 (Espesor ≤ 40 mm) ≤ 3 (Espesor > 40 mm)			
Espesor capa de huella (mm)		6,6	≥ 5,0			
Desviación de ángulos (mm)		0,2	≤ 0,4			
Rectitud de aristas (%)		0,1	≤ 0,2			
Planeidad (%)		0,05	≤ 0,2 (Textura pulida) ≤ 0,3 (Otras texturas)			

Tabla 5.3 Baldosa hidráulica de botones 20x20 cm Tipo C

DETERMINACIONES EFECTUADAS	VALORES OBTENIDOS	ESPECIFICACIONES UNE 127001				
		USO NORMAL	USO INTENSIVO	USO INDUSTRIAL	USO EXTERIOR	
Desgaste (mm)	2,2	≤ 3,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 1,5	
Flexión (N/mm ²)	Cara	8,9	≥ 3,5	≥ 4,5	≥ 5,0	≥ 5,0
	Dorso	9,4	≥ 2,5	≥ 4,0	≥ 4,0	≥ 4,0
Absorción de agua (%)	6,5	≤ 10,0	≤ 9,0	≤ 7,5	≤ 7,5	
Choque (mm)	500	≥ 400	≥ 500	≥ 600	≥ 600	
Heladicidad	No heladiza	NO HELADIZA				
Permeabilidad	No permeable	NO PERMEABLE				
Longitud (dispersión, %)	0,1	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)				
Anchura (dispersión, %)	0,1	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)				
Espesor (dispersión, %)	0,7	≤ 2 (Espesor ≤ 40 mm) ≤ 3 (Espesor > 40 mm)				
Espesor capa de huella (mm)	9,5	≥ 5,0				
Desviación de ángulos (mm)	0,4	≤ 0,4				
Rectitud de aristas (%)	0,1	≤ 0,2				
Planeidad (%)	0,09	≤ 0,2 (Textura pulida) ≤ 0,3 (Otras texturas)				

Tabla 5.4 Baldosa de terrazo 30x30 cm Tipo D

DETERMINACIONES EFECTUADAS		VALORES OBTENIDOS	ESPECIFICACIONES UNE 127001			
			USO NORMAL	USO INTENSIVO	USO INDUSTRIAL	USO EXTERIOR
Desgaste (mm)		0,8	≤ 2,0	≤ 1,7	≤ 1,5	≤ 1,2
Flexión (N/mm ²)	Cara	12,9	≥ 4,5	≥ 5,0	≥ 6,0	≥ 6,0
	Dorso	12,8	≥ 3,5	≥ 4,0	≥ 4,5	≥ 4,5
Absorción de agua (%)		5,2	≤ 10,0	≤ 9,0	≤ 7,5	≤ 7,5
Choque (mm)		600	≥ 400	≥ 500	≥ 600	≥ 600
Heladicidad		No heladiza	NO HELADIZA			
Permeabilidad		No permeable	NO PERMEABLE			
Longitud (dispersión, %)		0,1	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
Anchura (dispersión, %)		0,1	≤ 0,5 (Lado < 300 mm) ≤ 0,3 (Lado ≥ 300 mm)			
Espesor (dispersión, %)		0,5	≤ 2 (Espesor ≤ 40 mm) ≤ 3 (Espesor > 40 mm)			
Espesor capa de huella (mm).....		9,0	≥ 7,0			
Desviación de ángulos (mm)		0,1	≤ 0,4			
Rectitud de aristas (%)		0,1	≤ 0,2			
Planeidad (%)		0,02	≤ 0,2 (Textura pulida) ≤ 0,3 (Otras texturas)			

5.1.1.2. Resultados de los ensayos efectuados tras la exposición de las baldosas a tratamientos de envejecimiento acelerado

Como se ha descrito en el apartado anterior, se ha procedido a la caracterización físico-mecánica de los cuatro tipos de baldosa empleados en el estudio efectuado sobre los factores que afectan a la resistencia, funcionalidad y durabilidad de las aceras. Adicionalmente a lo citado, se ha procedido a la caracterización de las baldosas utilizadas en la experimentación, tras ser sometidas a ciclos de envejecimiento artificial acelerado.

Las baldosas objeto de estudio fueron sometidas en el Laboratorio Central de INTEMAC, a los tratamientos de envejecimiento artificial acelerado que se detallan a continuación:

- Tratamiento 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 detallan a continuación:
 - 24 horas a 40° C (regando hasta saturación al inicio del calentamiento).
 - 48 horas a 20° C.
 - 24 horas a 40° C (regando hasta saturación al inicio del calentamiento).
 - 72 horas a 20° C.

- Tratamiento de hielo-deshielo, por aplicación de ciclos de inmersión en agua a 20° C y posterior congelación a -20° C, con una duración total de 4 meses, siguiendo los ciclos que se detallan a continuación:
 - 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.

Una vez finalizados los tratamientos de envejecimiento citados se procedió a la caracterización del estado final de las baldosas mediante la realización de las determinaciones siguientes:

- Características geométricas, según UNE 127001:1990
- Absorción de agua, según UNE 127002:1990
- Permeabilidad y absorción de agua por la cara vista, según UNE 127003:1990 EX
- Heladicidad, según UNE 127004:1990
- Desgaste por abrasión, según UNE 127005/1:1990
- Resistencia a flexión, según UNE 127006:1990
- Resistencia al choque, según UNE 127007:1990

En el apartado 3.2 se han presentado los resultados obtenidos. A continuación, en las Tablas 5.5 a 5.8, se expone un resumen de los resultados obtenidos de los ensayos llevados a cabo después de la aplicación de los tratamientos de envejecimiento, comparándolos con los efectuados para la identificación y caracterización de las baldosas empleadas en estado de suministro:

Tabla 5.5 Baldosa monocapa 15x15 cm Tipo A

DETERMINACIONES EFECTUADAS	VALORES OBTENIDOS		
	Inicial (*)	Humectación/ secado	Hielo-deshielo
Desgaste (mm)	1,0	0,9	1,0
Flexión (N/mm ²)	5,4	5,5	6,4
Absorción de agua (%)	6,4	5,9	4,4
Choque (mm)	500	500	500
Heladicidad	No heladiza	No heladiza	No heladiza
Permeabilidad	Permeable	Permeable	Permeable
Absorción de agua cara vista (%)	-	-	-
Características geométricas:			
- Longitud (dispersión, %)	0,1	0,2	0,1
- Anchura (dispersión, %)	0,1	0,2	0,1
- Espesor (dispersión, %)	0,2	0,5	0,7
- Espesor capa de huella (mm)	-	-	-
- Desviación de ángulos (mm)	0,3	0,2	0,3
- Rectitud de aristas (%)	0,1	0,1	0,1
- Planeidad (%)	0,45	0,43	0,44
Interpretación de resultados, según UNE 127001 (cumple usos)	Ninguno	Ninguno	Ninguno

(*) Resultados obtenidos durante la caracterización, en estado de suministro, de las baldosas utilizadas en la experimentación.

Tabla 5.6 Baldosa hidráulica 15x15 cm Tipo B

DETERMINACIONES EFECTUADAS		VALORES OBTENIDOS		
		Inicial (*)	Humectación/ Secado	Hielo-deshielo
Desgaste (mm)		1,1	1,0	0,9
Flexión (N/mm ²)	Cara	9,5	7,3	6,5
	Dorso	7,2	6,2	6,5
Absorción de agua (%)		6,9	7,1	6,7
Choque (mm)		400	300	400
Heladicidad		No heladiza	No heladiza	No heladiza
Permeabilidad		No permeable	No permeable	No permeable
Absorción de agua cara vista (%)		4,2	4,1	3,6
Características geométricas:				
- Longitud (dispersión, %)		0,5	0,1	0,1
- Anchura (dispersión, %)		0,5	0,2	0,1
- Espesor (dispersión, %)		0,2	0,5	0,4
- Espesor capa de huella (mm)		6,6	6,9	7,0
- Desviación de ángulos (mm)		0,2	0,2	0,2
- Rectitud de aristas (%)		0,1	0,1	0,1
- Planeidad (%)		0,05	0,06	0,05
Interpretación de resultados, según UNE 127001 (cumple usos)		Normal	Ninguno	Normal

(*) Resultados obtenidos durante la caracterización, en estado de suministro, de las baldosas utilizadas en la experimentación.

Tabla 5.7 Baldosa hidráulica de botones 20x20 cm Tipo C

DETERMINACIONES EFECTUADAS		VALORES OBTENIDOS		
		Inicial (*)	Humectación/ secado	Hielo-deshielo
Desgaste (mm)		2,2	2,4	1,9
Flexión (N/mm ²)	Cara	8,9	8,3	7,5
	Dorso	9,4	8,8	8,4
Absorción de agua (%)		6,5	6,5	6,3
Choque (mm)		500	500	500
Heladicidad		No heladiza	No heladiza	No heladiza
Permeabilidad		No permeable	No permeable	No permeable
Absorción de agua cara vista (%)		2,0	3,7	4,6
Características geométricas:				
- Longitud (dispersión, %)		0,1	0,1	0,1
- Anchura (dispersión, %)		0,1	0,2	0,1
- Espesor (dispersión, %)		0,7	0,3	0,3
- Espesor capa de huella (mm)		9,5	11,2	11,2
- Desviación de ángulos (mm).....		0,4	0,2	0,3
- Rectitud de aristas (%)		0,1	0,1	0,1
- Planeidad (%)		0,09	0,05	0,07
Interpretación de resultados, según UNE 127001 (cumple usos)		Normal	Normal	Normal Intensivo

(*) Resultados obtenidos durante la caracterización, en estado de suministro, de las baldosas utilizadas en la experimentación.

Tabla 5.8 Baldosa de terrazo 30x30 cm Tipo D

DETERMINACIONES EFECTUADAS		VALORES OBTENIDOS		
		Inicial (*)	Humectación/ secado	Hielo-deshielo
Desgaste (mm)		0,8	0,7	1,0
Flexión (N/mm ²)	Cara	12,9	11,5	10,2
	Dorso	12,8	11,9	10,6
Absorción de agua (%)		5,2	5,9	5,0
Choque (mm)		600	600	600
Heladicidad		No heladiza	No heladiza	No heladiza
Permeabilidad		No permeable	No permeable	No permeable
Absorción de agua cara vista (%)		0,9	1,4	3,4
Características geométricas:				
- Longitud (dispersión, %)		0,1	0,0	0,0
- Anchura (dispersión, %)		0,1	0,0	0,0
- Espesor (dispersión, %)		0,5	0,1	0,2
- Espesor capa de huella (mm)		9,0	9,9	9,4
- Desviación de ángulos (mm).....		0,1	0,2	0,2
- Rectitud de aristas (%)		0,1	0,1	0,1
- Planeidad (%)		0,02	0,03	0,04
Interpretación de resultados, según UNE 127001 (cumple usos)		Normal Intensivo Industrial Exterior	Normal Intensivo Industrial Exterior	Normal Intensivo Industrial Exterior

(*) Resultados obtenidos durante la caracterización, en estado de suministro, de las baldosas utilizadas en la experimentación.

5.1.1.3. Resultados de los ensayos efectuados sobre módulos de prueba tras la exposición a tratamientos de envejecimiento acelerado

En el apartado 3.3, se han expuesto los resultados obtenidos sobre el comportamiento de módulos de prueba, constituidos por baldosas de cemento recibidas con mortero sobre una base de hormigón, frente a ciclos de envejecimiento artificial acelerado. Se han ensayado los cuatro tipos de baldosas empleados en el estudio.

Por cada uno de los tipos de baldosa se procedió a la fabricación de módulos de prueba de 60x60 cm² y 30x30 cm² constituidos por una base de hormigón H-25 de 10 cm y 5 cm de espesor, respectivamente, y una capa de mortero de 3 cm de espesor sobre la que se recibieron las baldosas. Dichos módulos fueron sometidos a los tratamientos de envejecimiento artificial acelerado (humectación/secado y hielo/deshielo) que se han descrito en el apartado anterior.

Los mencionados módulos de prueba se fabricaron con las dos tipologías de mortero de unión que se describen en la Tabla 5.9, excepto los de 60x60 cm² para tratamiento de hielo/deshielo, que sólo se prepararon con mortero tipo I:

Tabla 5.9 Dosificación de los morteros

MORTERO TIPO	DOSIFICACIÓN Cemento:arena	CEMENTO (kg/m³)	ARENA (kg/m³)	AGUA (l/m³)
I	1:4	350	1.030	260
II	1:10	160	1.150	250

El efecto de los ciclos de envejecimiento artificial acelerado aplicados se cuantificó por comparación de los parámetros resultantes de las determinaciones que se detallan a continuación, realizadas sobre los módulos de prueba antes del comienzo de los tratamientos, y una vez finalizados éstos:

- Módulos 60x60 cm:

- Planeidad, según UNE 127001
- Resistencia al deslizamiento, según NLT 175

- Cuantificación de defectos, según UNE 127001 (apartado 7.2 de la norma)
- Coordenadas cromáticas (L, a, b)

- **Módulos 30x30 cm:**

- Adherencia, según UNE 83822

5.1.1.3.1. Planeidad

Las medidas de planeidad se efectuaron con un comparador analógico en las dos diagonales de cada uno de los módulos, sobre una base de medida de 500 mm. Las determinaciones se efectuaron previamente al inicio de los tratamientos de envejecimiento artificial acelerado, y una vez concluidos éstos.

En el apartado 3.3.3.2 se han expuesto los resultados obtenidos.

5.1.1.3.2. Resistencia al deslizamiento

La determinación del coeficiente de resistencia al deslizamiento (C.R.D.) se ha realizado con el péndulo del TRRL (Transport and Road Research Laboratory), de acuerdo con la norma NLT 175. Sobre los módulos constituidos por baldosas hidráulicas de botones, debido a la geometría de la cara vista de las piezas, no se han podido realizar las determinaciones.

Las medidas de C.R.D. se han efectuado sobre cada módulo de prueba, antes y después de los ciclos de envejecimiento artificial acelerado. A continuación, en la Tabla 5.10, se presenta un resumen de los resultados obtenidos:

Tabla 5.10 Medidas del coeficiente de resistencia al deslizamiento

TRATAMIENTO	MÓDULO DE PRUEBA TIPO		COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (C.R.D.)	
	Baldosa	Mortero	Iniciales	Final
Humectación/ Secado	Monocapa. Tipo A	I	0,69	(*)
	Hidráulica. Tipo B		0,68	0,65
	Terrazo. Tipo D		0,64	0,60
Humectación/ Secado	Monocapa. Tipo A	II	0,68	0,68
	Hidráulica. Tipo B		0,72	0,71
	Terrazo. Tipo D		0,51	0,52
Hielo/Deshielo	Monocapa. Tipo A	I	0,70	0,72
	Hidráulica. Tipo B		0,71	0,70
	Terrazo. Tipo D		0,64	0,62

5.1.1.3.3. Cuantificación de defectos

Previamente al inicio de los ciclos de envejecimiento artificial, se procedió a la inspección visual detallada de los módulos de prueba (60x60 cm), al objeto de realizar un levantamiento de los defectos de los mismos, según UNE 127001, para comprobar su estado final una vez concluidos los tratamientos previstos.

En el apartado 3.3.3.4, se han presentado, en forma de croquis, esquemas detallados del resultado de la inspección visual de los módulos de prueba antes y después de los tratamientos de envejecimiento artificial acelerado.

(*) En el módulo de prueba fabricado con baldosa monocapa y mortero tipo I, se desprendió, en el transcurso del tratamiento de humectación-secado, la capa de mortero de la base de hormigón, por lo que no fue posible realizar las determinaciones finales.

5.1.1.3.4. Análisis cromático

El estudio de la variación de color frente a los ciclos de envejecimiento artificial acelerado de las baldosas objeto de la experimentación ha sido realizado sobre los módulos de prueba de 60x60 cm². Sobre cada uno de los módulos se han seleccionado dos zonas de forma cuadrada (4x4 cm²) situadas a lo largo de una de las diagonales del módulo, próximas a los vértices. En cada una de dichas zonas se han realizado, antes y después de los ciclos de envejecimiento, diez medidas de color.

La medida de las coordenadas cromáticas ha sido efectuada, en ambiente de laboratorio, con un espectrocolorímetro Minolta 2002. Las condiciones de medida normalizadas han sido: ángulo de observación 10° e iluminante D65, que corresponde a la luz natural diurna con radiación ultravioleta. La escala cromática utilizada ha sido la CIE 1976 Cielab, midiendo los parámetros L*, a*, b*.

Adicionalmente se han calculado, de acuerdo con las normas ASTM E 308 y D2244, la variación de color global (ΔH), la variación de saturación de color (ΔC), el índice de amarillo (IA) y el índice de blancura (IB) que representan, respectivamente, el grado en el cual la muestra es diferente del blanco en la dirección del amarillo (IA), y el grado de blanco que presenta el objeto (IB), que sería de 100 para el blanco ideal.

A continuación, a modo de síntesis, se muestran las variaciones cromáticas experimentadas por cada uno de los módulos ensayados en la Tabla 5.11.

Tabla 5.11 Variación de los parámetros cromáticos

TRATAMIENTO	MÓDULO DE PRUEBA		VARIACIÓN DE PARÁMETROS CROMÁTICOS (Valor medio)						
	Baldosa	Mortero	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔC^*	ΔH^*	ΔIA	ΔIB
Humectación/ Secado	Monocapa Tipo A	I y II	-0,72	0,30	0,50	0,54	-1,23	1,19	-1,45
	Hidráulica Tipo B		-0,14	0,16	0,80	0,81	-0,91	1,87	-1,70
	Botones Tipo C		-1,11	0,77	-0,37	0,33	-2,33	-0,20	-0,45
	Terrazo Tipo D		-0,48	0,15	0,04	0,13	-0,21	0,25	0,12
Hielo-deshielo	Monocapa Tipo A	I	-5,56	0,46	0,07	0,15	-2,44	1,83	-2,26
	Hidráulica Tipo B		-2,18	0,41	0,99	1,02	-2,52	2,70	-3,17
	Botones Tipo C		-0,99	-3,20	-2,19	-3,82	1,97	-4,61	3,23
	Terrazo Tipo D		-3,55	-1,46	-1,15	-1,86	0,22	-0,94	1,79

5.1.1.3.5. Adherencia

Sobre los módulos de prueba de 30x30 cm² se colocaron probetas talladas a partir de las baldosas objeto de estudio, con una superficie de 5x5 cm² y el espesor original de cada baldosa, empleando las dos tipologías de mortero descritas con anterioridad, 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. A continuación, en la Tabla 5.12, se presenta un resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 5.12 Resultados de adherencia

TRATAMIENTO	MODULO DE PRUEBA TIPO		TENSIÓN DE ADHERENCIA (Valor medio) (MPa)	
	Baldosa	Mortero	Inicial	Final
Humectación/ Secado	Monocapa. Tipo A	I	0,64	0,35
	Hidráulica. Tipo B		0,74	0,45
	Botones. Tipo C		0,63	0,48
	Terrazo. Tipo D		1,21	1,11
Hielo-deshielo	Monocapa. Tipo A	I	0,60	(*)
	Hidráulica. Tipo B		0,72	0,49
	Botones. Tipo C		0,62	0,48
	Terrazo. Tipo D		1,13	0,93
Humectación/ Secado	Monocapa. Tipo A	II	0,27	0,22
	Hidráulica. Tipo B		0,28	0,15
	Botones. Tipo C		0,24	0,15
	Terrazo. Tipo D		0,39	0,25
Hielo-deshielo	Monocapa. Tipo A	II	0,29	(1)
	Hidráulica. Tipo B		0,20	0,17
	Botones. Tipo C		0,22	0,16
	Terrazo. Tipo D		0,30	0,16

(*) En los módulos de prueba fabricados con baldosa monocapa, tanto con mortero tipo I como con mortero tipo II, se desprendió, en el transcurso del tratamiento de hielo-deshielo, la capa de mortero de la base de hormigón, por lo que no fue posible realizar las determinaciones finales.

5.1.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES DE PAVIMENTACIÓN DE ACERAS EMPLEADOS EN EL ESTUDIO

5.1.2.1. Ensayos de identificación y caracterización

Del análisis de los resultados obtenidos en los ensayos de identificación y caracterización de las baldosas empleadas en la experimentación, en estado de suministro, se pueden establecer las siguientes consideraciones:

- La muestra ensayada con la designación BALDOSA MONOCAPA 15x15 cm TIPO A, no satisface las especificaciones establecidas por la norma UNE 127001 para ningún uso, debido a que en lo relativo al ensayo de permeabilidad no alcanza la calificación mínima exigida, y a que en la determinación de la planeidad los resultados obtenidos superan las especificaciones máximas establecidas en la citada norma.
- La muestra ensayada con la designación BALDOSA HIDRÁULICA 15x15 cm TIPO B, satisface únicamente las especificaciones establecidas por la norma UNE 127001 para uso "normal" debido al reducido valor alcanzado por el material en lo relativo a resistencia al choque. No cumple por tanto los requisitos exigidos para usos "Intensivo", "industrial" ni "exterior".
- La muestra ensayada con la designación BALDOSA HIDRÁULICA DE BOTONES 20x20 cm TIPO C, satisface únicamente las especificaciones establecidas por la norma UNE 127001 para uso "normal" debido al elevado valor alcanzado por el material en lo relativo a la resistencia al desgaste, si bien ha de considerarse que el procedimiento de ensayo, al tratarse de una baldosa con resaltos circulares, resulta especialmente desventajoso, penalizando el resultado respecto al que se obtendría con el mismo material si presentara un acabado liso. No obstante, si no se toma en consideración el resultado del ensayo de desgaste, la muestra ensayada satisfaría únicamente las especificaciones establecidas por la norma UNE 127001 para uso "normal" e "intensivo" debido al reducido valor alcanzado por el material en lo relativo a resistencia al choque.

- La muestra ensayada con la designación BALDOSA DE TERRAZO 30x30 cm TIPO D, satisface las especificaciones establecidas por la norma UNE 127001 para uso "normal", "intensivo", "industrial" y "exterior".

De las consideraciones establecidas con anterioridad se deduce que sólo esta última tipología de material presenta un comportamiento adecuado conforme a las especificaciones indicadas la norma UNE 127001 y en el Pliego de Condiciones Técnicas Generales del Excmo. Ayuntamiento de Madrid, al ser la única en satisfacer los requisitos para uso exterior, como resulta exigible para pavimentación urbana.

Al efectuar una comparación de las características físico-mecánicas entre los cuatro tipos de baldosas (Tabla 5.13), resulta evidente que existen calidades muy diferentes, dado que las prestaciones del material tipo "D" (terrazo), son claramente superiores al resto de baldosas. De igual modo se puede destacar los reducidos valores de resistencia a flexión que presenta la baldosa tipo "A" (monocapa), y que el material tipo "B" (hidráulica) es el que peor comportamiento presenta respecto al resto de parámetros físico-mecánicos evaluados.

Tabla 5.13 Comparación de los ensayos de caracterización físico-mecánica

TIPO DE BALDOSA		"A" MONOCAPA	"B" HIDRÁULICA	"C" BOTONES	"D" TERRAZO
Resistencia a flexión (MPa)	Cara	5,4	9,5	8,9	12,9
	Dorso	5,4	7,2	9,4	12,8
Resistencia al choque (mm)		500	400	500	600
Absorción de agua (%)		6,4	6,9	6,5	5,2
Desgaste por abrasión (mm)		1,0	1,1	-	0,8

El resto de los parámetros evaluados no resultan comparables entre sí, puesto que los datos de heladicidad y permeabilidad prácticamente son comunes a todas las muestras (salvo la permeabilidad de la baldosa tipo A, que no satisface el ensayo), y las diferencias en las características geométricas no son imputables a la calidad de los materiales empleados ni a su dosificación, sino a las tolerancias de los moldes y a los diferentes sistemas de compactación empleados en cada caso.

De todo lo anterior se deduce que, respecto a los requisitos exigidos por la normativa de aplicación, las baldosas de cemento empleadas (representativas a priori de materiales usualmente empleados en 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.

5.1.2.2. Comportamiento de las baldosas tras la exposición a tratamientos de envejecimiento acelerado

Del análisis de los resultados obtenidos sobre las baldosas tras su exposición a tratamientos de envejecimiento acelerado se pueden establecer 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 a su vez, más evidente en los ensayos a flexión cara en tracción. Para este último parámetro se puede indicar, de forma cuantitativa, que el decremento porcentual de resistencia es reducido en las baldosas de botones (7% por humectación-secado y 16% por hielo deshielo), moderado en las baldosas de terrazo (11% por humectación-secado y 21% por hielo deshielo), y elevado en las baldosas hidráulicas (23% por humectación-secado y 32% por hielo deshielo).
- 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 cara 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 sólo no se observan los incrementos de resistencia que cabría esperar por haber transcurrido cuatro meses (con períodos de inmersión en agua) desde la realización de los ensayos de caracterización inicial, sino que los decrementos de resistencia son muy elevados.

- Este mismo comportamiento se pone de manifiesto en las baldosas con pigmentos (tipos C y D) cuando se evalúa la evolución de la absorción de agua por la cara vista (parámetro resultante del ensayo de permeabilidad, Tabla 5.14).

Tabla 5.14 Comparación de los ensayos de permeabilidad (absorción de agua por la cara vista)

TIPO DE BALDOSA	"C" BOTONES	"D" TERRAZO
Absorción inicial (%)	2,0	0,9
Absorción tras 4 meses de ciclos de humedad-secado (%)	3,7	1,4
Absorción tras 4 meses de ciclos de hielo-deshielo (%)	4,6	3,4

- Estos ensayos no resultan válidos para determinar el deterioro de la muestra de baldosa monocapa ensayada, debido probablemente a que la microestructura de la pasta de cemento hidratada que presentan estas baldosas es característica de materiales de elevada porosidad abierta, lo cual explica que obtenga la calificación de permeable, y que resulte poco susceptible a la microfisuración que originarían los dos tipos de envejecimiento aplicados. Por ello, las reducidas prestaciones puestas de manifiesto por esta tipología de producto en los ensayos iniciales, llevan consigo que en lugar de producir los envejecimientos una merma en la resistencia, ésta a los cuatro meses de exposición se mantiene (humectación/secado) o aumenta (hielo/deshielo), lo cual podría ser imputable a que inicialmente parte del cemento no haya reaccionado con el agua de amasado, dando lugar a una falta de madurez del

material en el momento del suministro, por lo que se estaría produciendo una hidratación diferida del conglomerante debida a los períodos de inmersión en agua inducidos en ambos tratamientos de envejecimiento.

- Algo parecido ocurre en las baldosas hidráulicas ensayadas (tipo B, sin pigmento), dado que aunque los ensayos mecánicos ponen de manifiesto que esta tipología de material resulta ser la más susceptible a la acción de ambos tipos de envejecimiento, el elevado valor de absorción de agua por la cara vista puesto de manifiesto por esta tipología de producto en los ensayos iniciales, lleva consigo que en lugar de producir los envejecimientos un incremento de absorción, ésta a los cuatro meses de exposición se mantiene (humectación/secado) o incluso disminuye (hielo/deshielo). Esta disfunción del comportamiento respecto a las baldosas tipos C y D podría tener su origen en la presencia o no de pigmentos, que llevará consigo una diferente microestructura de la pasta de cemento hidratada, es decir, las baldosas tipos C y D (con pigmento rojo), presentan debido a esa adición una menor absorción inicial de agua por la cara vista, pero la microestructura resultante es muy susceptible a la fisuración por los ciclos de envejecimiento, por lo que la absorción por la cara vista va aumentando en función del tiempo y de la severidad de cada exposición, lo cual no ocurre en las baldosas tipo B al no incorporar pigmentos.
- Con respecto al resto de parámetros evaluados, se puede indicar que no ponen de manifiesto diferencias de comportamiento que resulten significativas entre los resultados iniciales y los obtenidos tras la aplicación de los dos tratamientos de envejecimiento.

5.1.2.3. Comportamiento de los módulos de prueba tras la exposición a tratamientos de envejecimiento acelerado

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:

Planeidad. 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 exposición acelerada mediante ciclos de hielo-deshielo o humedad-secado. Tampoco se han obtenido valores desiguales por el empleo de uno u otro tipo de mortero, ni por la tipología de baldosa empleada.

Resistencia al deslizamiento. Los valores del coeficiente de resistencia al deslizamiento (C.R.D.) son idénticos 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 de C.R.D. sensiblemente inferiores que las baldosas monocapa e hidráulica.

Cuantificación de defectos. Los defectos observados sobre los módulos de prueba antes de la exposición a los tratamientos de envejecimiento acelerado (coqueras, 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 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 ciclos de humedad-secado. En ambos casos también se observa un aumento de la magnitud de los defectos iniciales.

Análisis cromático. Los resultados iniciales obtenidos 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 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 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 y deshielo un ensuciamiento gradual (su índice de amarillo inicial es superior que el medido al final del tratamiento). De igual forma, los índices de blancura son indicativos de que las baldosas de tonalidad roja (tipo C, de botones, y tipo D, de terrazo) van blanqueándose, especialmente las de botones (el índice de blancura final es sensiblemente más elevado que el inicial).

Adherencia. Los resultados iniciales obtenidos 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 cuadriplan.

Respecto al efecto de 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. El caso opuesto lo presentan las baldosas de terrazo en las que ha sido utilizado el mortero tipo I, ya que en éstas se observa que las pérdidas de tensión de adherencia quedan muy minimizadas (del 8% al 20). Para ambos tipos de exposición (hielo-deshielo o humedad-secado) 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.

5.2. INVESTIGACIONES SOBRE TRAMOS DE ACERAS

El análisis de los resultados recogidos en el apartado 4.2 sobre la auscultación dinámica de los tramos de aceras lo realizamos sintetizando dicha información en los cuadros y figuras que se muestran a continuación. En el apartado 5.2.1 se exponen los resultados por grupo “base de hormigón y compactación”, presentando los datos y un gráfico representativo de los cuatro tipos de baldosas. En el apartado 5.2.2 se exponen los resultados por tipo de baldosa, recogiendo el resto de combinación de variables “base de hormigón y compactación”

5.2.1. TIPOLOGÍA DE BALDOSAS

5.2.1.1. Base de hormigón de 4 cm y Compactación 100% P.N.

Tabla 5.15

TIPOLOGÍA	ESTADO INICIAL		TRAS 375 PASADAS		TRAS 735 PASADAS		TRAS 1035 PASADAS	
	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)
MONOCAPA	0,12	0,03	0,13	0,00	0,08	0,00	0,12	0,01
BICAPA	0,12	0,02	0,13	0,00	0,10	0,00	0,12	0,01
BOTONES	0,17	0,06	0,11	0,00	0,11	0,00	0,14	0,01
TERRAZO	0,15	0,00	0,13	0,00	0,13	0,00	0,15	0,01

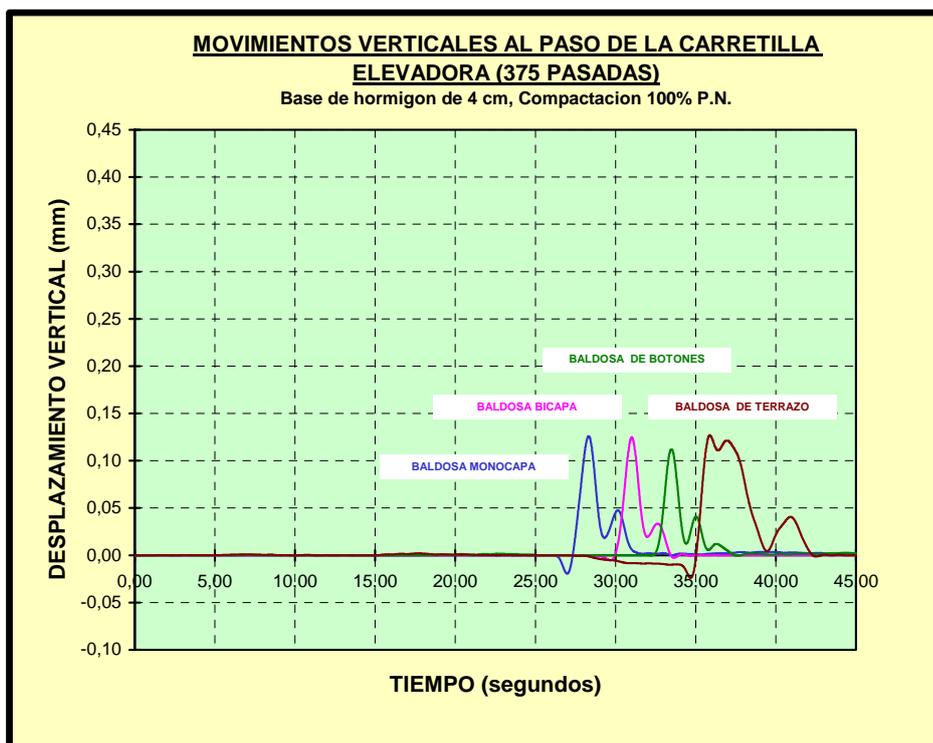


Figura 5.1

5.2.1.2. Base de hormigón de 4 cm y Compactación 90% P.N.

Tabla 5.16

TIPOLOGÍA	ESTADO INICIAL		TRAS 375 PASADAS		TRAS 735 PASADAS		TRAS 1035 PASADAS	
	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)
MONOCAPA	0,20	0,05	0,24	0,03	0,17	0,00	0,22	0,00
BICAPA	0,20	0,05	0,23	0,05	0,19	0,01	0,22	0,01
BOTONES	0,21	0,06	0,28	0,05	0,17	0,00	0,24	0,00
TERRAZO	0,27	0,08	0,26	0,01	0,19	0,00	0,22	0,00

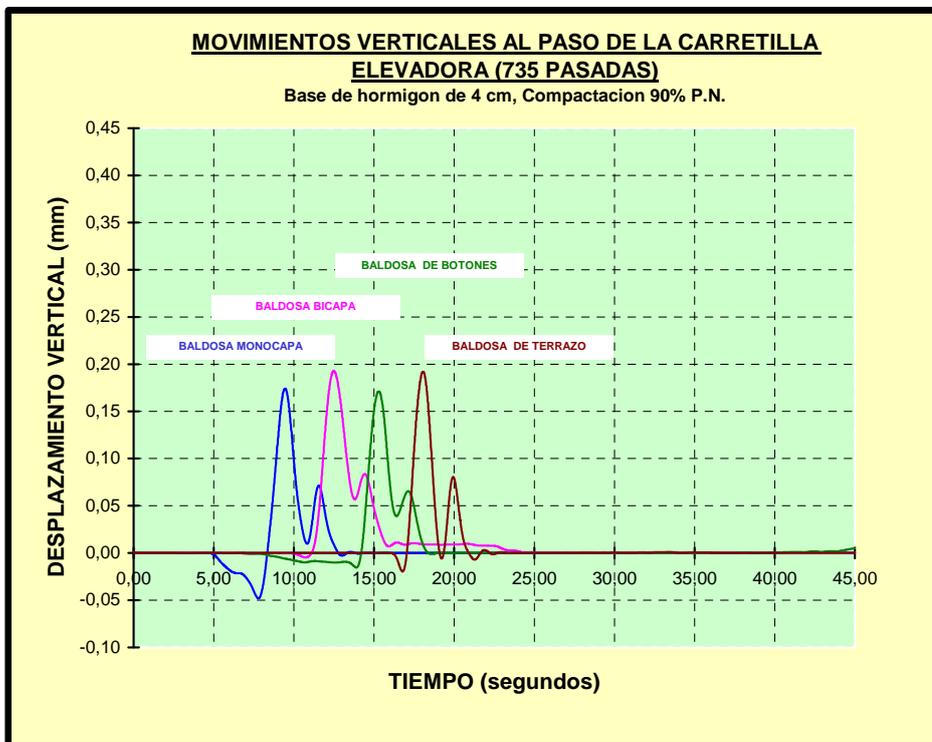


Figura 5.2

5.2.1.3. Base de hormigón de 10 cm y Compactación 100% P.N.

Tabla 5.17

TIPOLOGÍA	ESTADO INICIAL		TRAS 375 PASADAS		TRAS 735 PASADAS		TRAS 1035 PASADAS	
	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)
MONOCAPA	0,09	0,01	0,04	0,00	0,04	0,00	0,04	0,01
BICAPA	0,07	0,00	0,05	0,00	0,05	0,00	0,10	0,01
BOTONES	0,08	0,01	0,04	0,00	-	0,00	0,15	0,02
TERRAZO	0,09	0,00	0,07	0,00	0,07	0,00	0,14	0,04

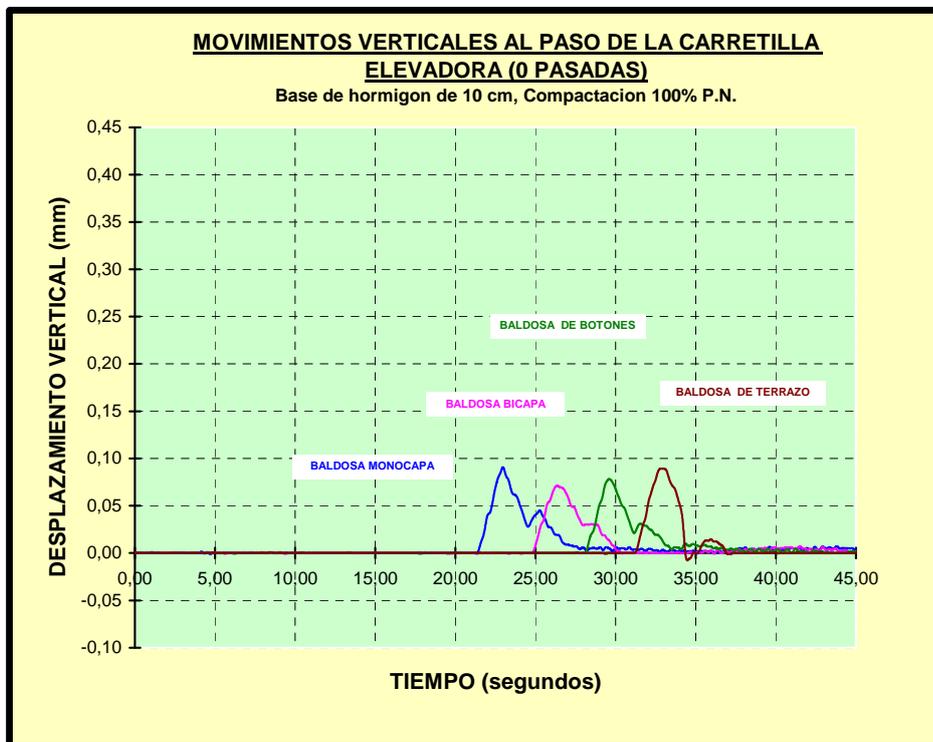


Figura 5.3

5.2.1.4. Base de hormigón de 10 cm y Compactación 90% P.N.

Tabla 5.18

TOPOLOGÍA	ESTADO INICIAL		TRAS 375 PASADAS		TRAS 735 PASADAS		TRAS 1035 PASADAS	
	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)
MONOCAPA	0,14	0,02	0,13	0,03	0,11	0,01	0,16	0,00
BICAPA	0,14	0,02	0,12	0,02	0,09	0,02	0,17	0,03
BOTONES	0,13	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02	0,17	0,03
TERRAZO	0,16	0,05	0,10	0,02	0,13	0,03	0,21	0,08

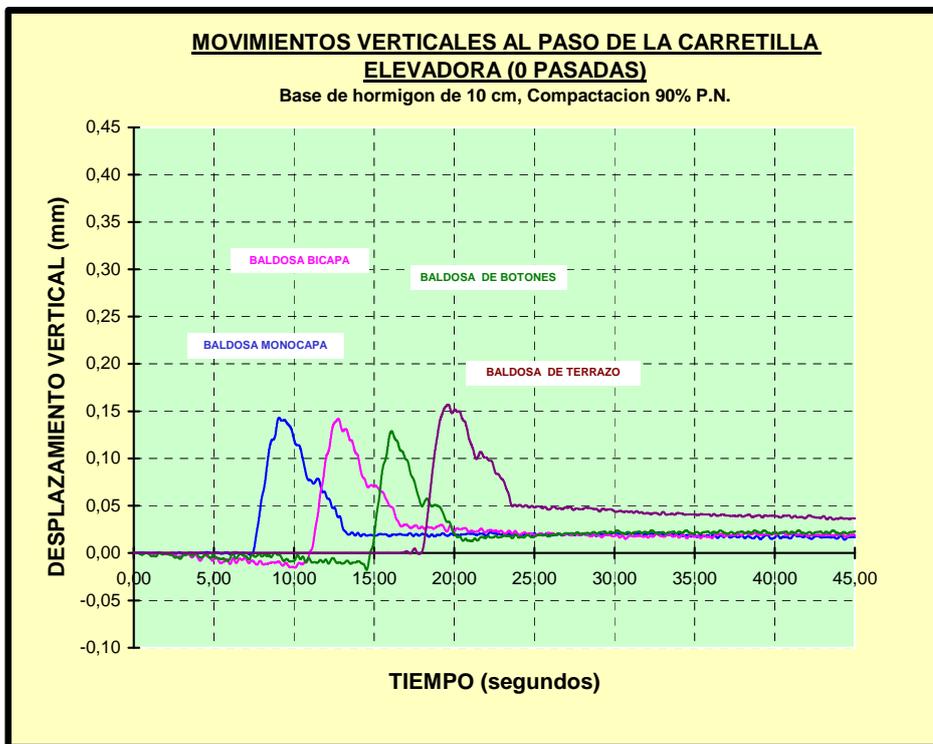


Figura 5.4

5.2.2. ESPEORES DE LOSA Y COMPACTACIÓN

5.2.2.1. Baldosa monocapa

5.2.2.1.1. Baldosa monocapa y compactación 100% P.N.

Tabla 5.19

ESPESOR	ESTADO INICIAL		TRAS 375 PASADAS		TRAS 735 PASADAS		TRAS 1035 PASADAS	
	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)
4 cm	0,12	0,03	0,13	0,00	0,08	0,00	0,12	0,01
10 cm	0,09	0,01	0,04	0,00	0,04	0,00	0,04	0,01

5.2.2.1.2. Baldosa monocapa y compactación 90% P.N.

Tabla 5.20

ESPESOR	ESTADO INICIAL		TRAS 375 PASADAS		TRAS 735 PASADAS		TRAS 1035 PASADAS	
	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)
4 cm	0,20	0,05	0,24	0,03	0,17	0,00	0,22	0,00
10 cm	0,14	0,02	0,13	0,03	0,11	0,01	0,16	0,00

5.2.2.1.3. Baldosa monocapa y espesor 4 cm

Tabla 5.21

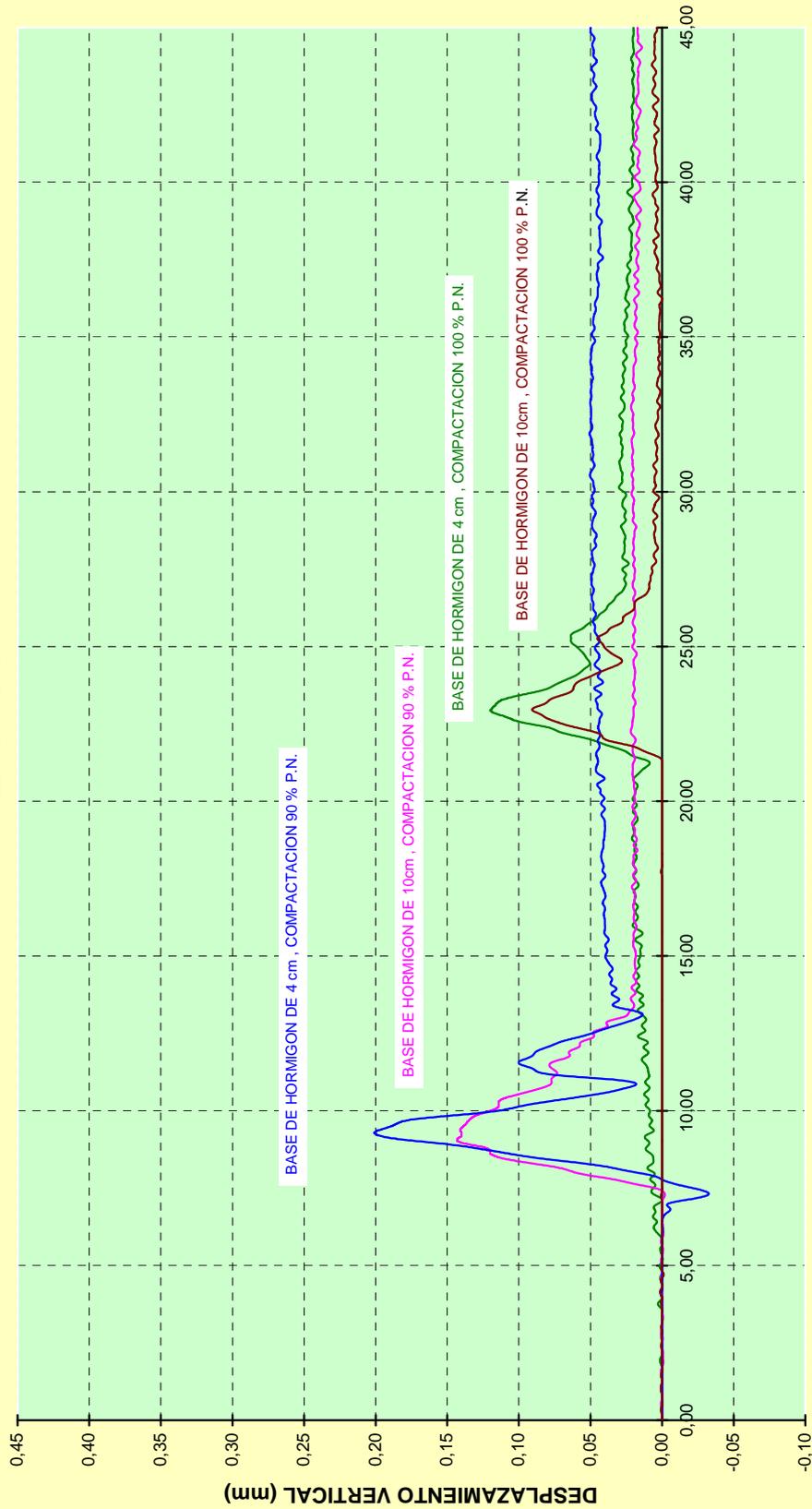
COMPACTACIÓN	ESTADO INICIAL		TRAS 375 PASADAS		TRAS 735 PASADAS		TRAS 1035 PASADAS	
	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)
90%	0,20	0,05	0,24	0,03	0,17	0,00	0,22	0,00
100%	0,12	0,03	0,13	0,00	0,08	0,00	0,12	0,01

5.2.2.1.4. Baldosa monocapa y espesor 10 cm

Tabla 5.22

COMPACTACIÓN	ESTADO INICIAL		TRAS 375 PASADAS		TRAS 735 PASADAS		TRAS 1035 PASADAS	
	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)
90%	0,14	0,02	0,13	0,03	0,11	0,01	0,16	0,00
100%	0,09	0,01	0,04	0,00	0,04	0,00	0,04	0,01

**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (0 PASADAS)
BALDOSA MONOCAPIA**



TIEMPO (segundos)

5.2.2.2. Baldosa bicapa

5.2.2.2.1. Baldosa bicapa y compactación 100% P.N.

Tabla 5.23

ESPESOR	ESTADO INICIAL		TRAS 375 PASADAS		TRAS 735 PASADAS		TRAS 1035 PASADAS	
	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)
4 cm	0,12	0,02	0,13	0,00	0,10	0,00	0,12	0,01
10 cm	0,07	0,00	0,05	0,00	0,05	0,00	0,10	0,01

5.2.2.2.2. Baldosa bicapa y compactación 90% P.N.

Tabla 5.24

ESPESOR	ESTADO INICIAL		TRAS 375 PASADAS		TRAS 735 PASADAS		TRAS 1035 PASADAS	
	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)
4 cm	0,20	0,05	0,23	0,05	0,19	0,01	0,22	0,01
10 cm	0,14	0,02	0,12	0,02	0,09	0,02	0,17	0,03

5.2.2.2.3. Baldosa bicapa y espesor 4 cm

Tabla 5.25

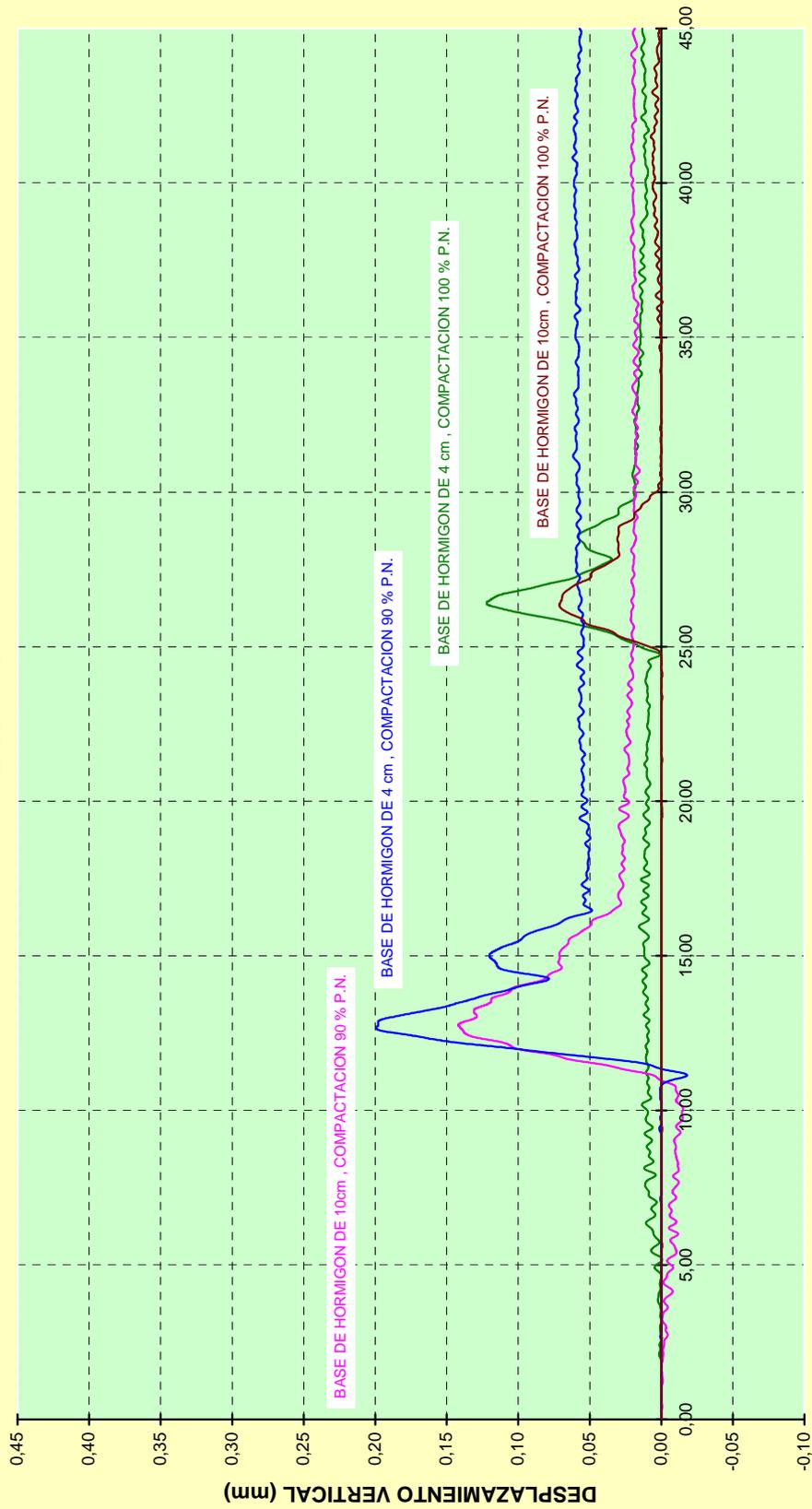
COMPACTACIÓN	ESTADO INICIAL		TRAS 375 PASADAS		TRAS 735 PASADAS		TRAS 1035 PASADAS	
	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)
90%	0,20	0,05	0,23	0,05	0,19	0,01	0,22	0,01
100%	0,12	0,02	0,13	0,00	0,10	0,00	0,12	0,01

5.2.2.2.4. Baldosa bicapa y espesor 10 cm

Tabla 5.26

COMPACTACIÓN	ESTADO INICIAL		TRAS 375 PASADAS		TRAS 735 PASADAS		TRAS 1035 PASADAS	
	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)
90%	0,14	0,02	0,12	0,02	0,09	0,02	0,17	0,03
100%	0,07	0,00	0,05	0,00	0,05	0,00	0,10	0,01

**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (0 PASADAS)
BALDOSA BICAPA**



TIEMPO (segundos)

5.2.2.3. Baldosa de botones

5.2.2.3.1. Baldosa de botones y compactación 100% P.N.

Tabla 5.27

ESPESOR	ESTADO INICIAL		TRAS 375 PASADAS		TRAS 735 PASADAS		TRAS 1035 PASADAS	
	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)
4 cm	0,17	0,06	0,11	0,00	0,11	0,00	0,14	0,01
10 cm	0,08	0,01	0,04	0,00	-	0,00	0,15	0,02

5.2.2.3.2. Baldosa de botones y compactación 90% P.N.

Tabla 5.28

ESPESOR	ESTADO INICIAL		TRAS 375 PASADAS		TRAS 735 PASADAS		TRAS 1035 PASADAS	
	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)
4 cm	0,21	0,06	0,28	0,05	0,17	0,00	0,24	0,00
10 cm	0,13	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02	0,17	0,03

5.2.2.3.3. Baldosa de botones y espesor 4 cm

Tabla 5.29

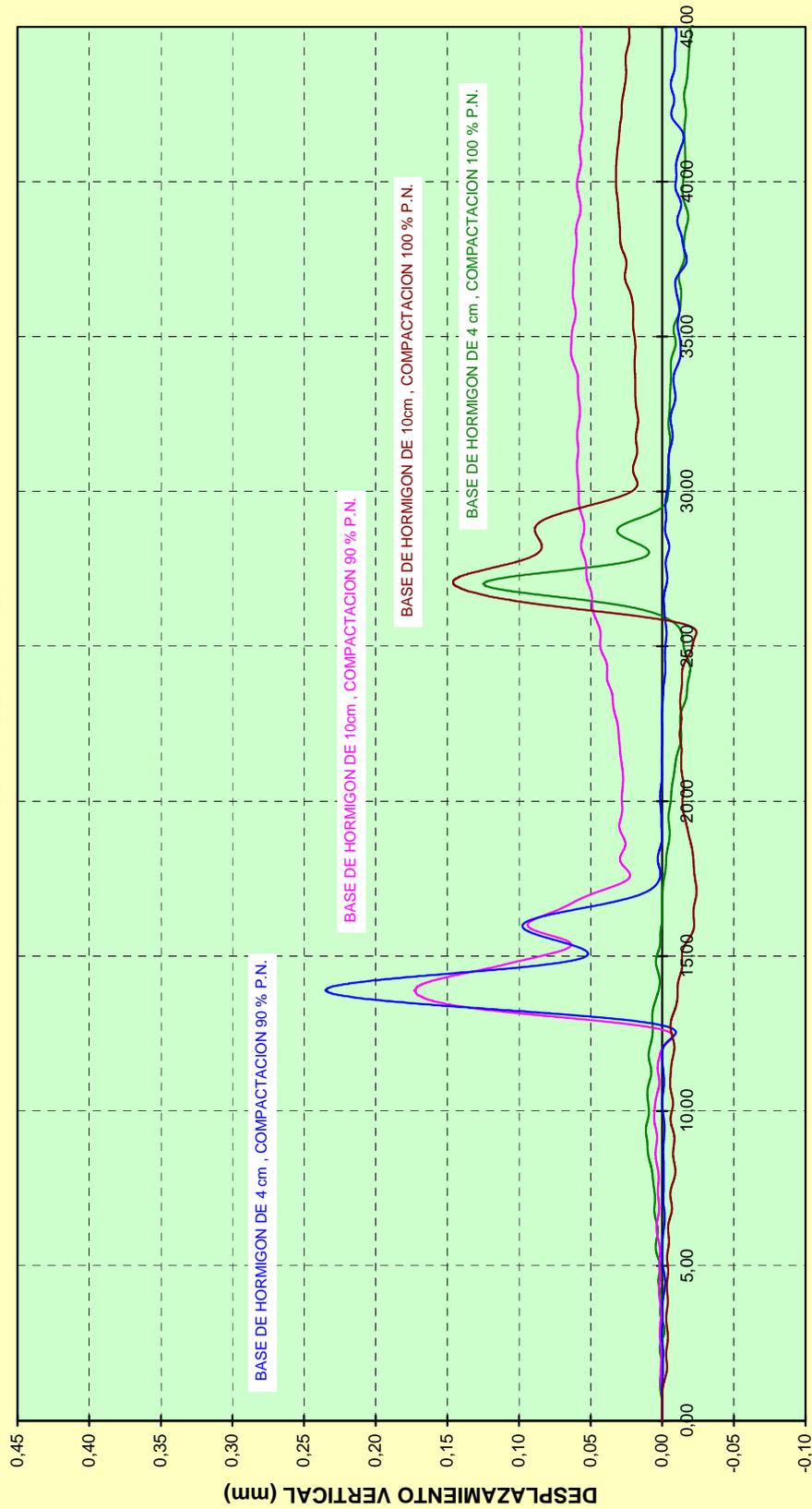
COMPACTACIÓN	ESTADO INICIAL		TRAS 375 PASADAS		TRAS 735 PASADAS		TRAS 1035 PASADAS	
	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)
90%	0,21	0,06	0,28	0,05	0,17	0,00	0,24	0,00
100%	0,17	0,06	0,11	0,00	0,11	0,00	0,14	0,01

5.2.2.3.4. Baldosa de botones y espesor 10 cm

Tabla 5.30

COMPACTACIÓN	ESTADO INICIAL		TRAS 375 PASADAS		TRAS 735 PASADAS		TRAS 1035 PASADAS	
	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)
90%	0,13	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02	0,17	0,03
100%	0,08	0,01	0,04	0,00	-	0,00	0,15	0,02

**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (1035 PASADAS)
BALDOSA DE BOTONES**



TIEMPO (segundos)

DESPLAZAMIENTO VERTICAL (mm)

5.2.2.4. Baldosa de terrazo

5.2.2.4.1. Baldosa de terrazo y compactación 100% P.N.

Tabla 5.31

ESPESOR	ESTADO INICIAL		TRAS 375 PASADAS		TRAS 735 PASADAS		TRAS 1035 PASADAS	
	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)
4 cm	0,05	0,00	0,13	0,00	0,13	0,00	0,00	0,15
10 cm	0,09	0,00	0,07	0,00	0,07	0,00	0,14	0,04

5.2.2.4.2. Baldosa de terrazo y compactación 90% P.N.

Tabla 5.32

ESPESOR	ESTADO INICIAL		TRAS 375 PASADAS		TRAS 735 PASADAS		TRAS 1035 PASADAS	
	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)
4 cm	0,27	0,08	0,26	0,01	0,19	0,00	0,22	0,00
10 cm	0,16	0,05	0,10	0,02	0,13	0,03	0,21	0,08

5.2.2.4.3. Baldosa de terrazo y espesor 4 cm

Tabla 5.33

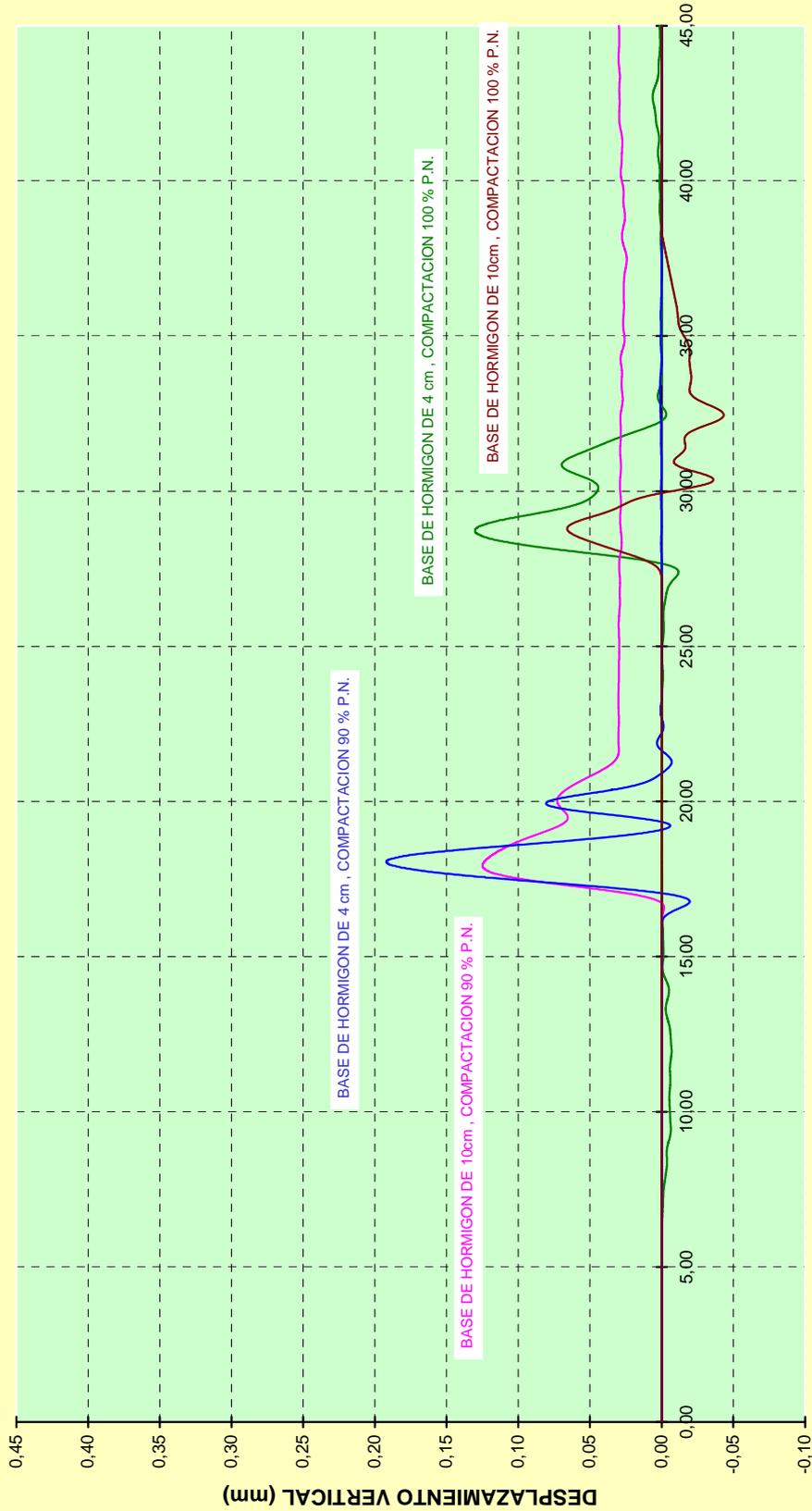
COMPACTACIÓN	ESTADO INICIAL		TRAS 375 PASADAS		TRAS 735 PASADAS		TRAS 1035 PASADAS	
	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)
90%	0,27	0,08	0,26	0,01	0,19	0,00	0,22	0,00
100%	0,05	0,00	0,13	0,00	0,13	0,00	0,15	0,01

5.2.2.4.4. Baldosa de terrazo y espesor 10 cm

Tabla 5.34

COMPACTACIÓN	ESTADO INICIAL		TRAS 375 PASADAS		TRAS 735 PASADAS		TRAS 1035 PASADAS	
	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)	FLECHA (mm)	FLECHA REMANENTE (mm)
90%	0,16	0,05	0,10	0,02	0,13	0,03	0,21	0,08
100%	0,09	0,00	0,07	0,00	0,07	0,00	0,14	0,04

**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (735 PASADAS)
BALDOSA DE TERRAZO**



TIEMPO (segundos)

5.2.3. ESTUDIOS ESTADÍSTICOS SOBRE RESULTADOS DE ENSAYOS EFECTUADOS EN BALDOSAS DE CEMENTO

Desde 1983 hasta 2003, el autor de esta Tesis dirigió la gestión técnica y económica del Control de Calidad de todas las obras realizadas por el Ayuntamiento de Madrid.

Este control centralizado, permitió disponer de un banco de datos, suficientemente amplio, que posibilitó el poder analizar, a nivel estadístico, con el suficiente grado de confianza, los resultados obtenidos en los ensayos realizados en una gran cantidad de obras, y de este modo, poder con criterio, mejorar la calidad tanto de los materiales y unidades de obra, como la de las propias obras en su conjunto.

Durante estos veinte años, se realizaron, bajo mi dirección, numerosos estudios sobre las baldosas de hormigón, entre los que destacan los que se efectuaron, con controles en origen en las propias fábricas de producción en el año 1990^(*) y los estudios estadísticos que se realizaron en 2000^(**) y en 2004^(***) .

Los estudios que se realizaron en origen revelaron el escaso control de calidad interno de los procesos de fabricación que empleaban los principales suministradores de losetas hidráulicas a las obras que realizaba el Ayuntamiento de Madrid.

En 2000, se realizó en el Área de Obras del Ayuntamiento de Madrid bajo mi dirección, un estudio estadístico sobre la calidad de diversos materiales entre los que se encontraban las baldosas de cemento que se estaban colocando en las aceras madrileñas, entre julio de 1996 y julio de 2000.

^(*) “Estudio sobre los procesos de fabricación de losetas hidráulicas por los ocho principales suministradores de este material al Ayuntamiento de Madrid”. Departamento de Sistemas Generales. Ayuntamiento de Madrid. 1990.

^(**) “Estudio estadístico de los resultados de los ensayos realizados en hormigones, baldosas hidráulicas, bordillos y mezclas asfálticas, en el periodo comprendido entre julio de 1996 y julio de 2000”. Dirección del Área de Obras del Ayuntamiento de Madrid.

^(***) “Estudio estadístico de los resultados de los ensayos realizados en hormigones, baldosas hidráulicas, bordillos y mezclas asfálticas, en el periodo comprendido entre julio de 2000 y julio de 2004”. Dirección del Área de Obras del Ayuntamiento de Madrid.

Durante estos cuatro años se realizaron, por INTEMAC, adjudicataria del servicio de control de calidad de las obras municipales, 15.374 ensayos sobre baldosas de cemento. La toma de muestras, se realizó en el material suministrado a las obras.

El tamaño de las muestras analizadas y la uniformidad de los procesos de gestión técnica, en los estudios realizados en 2000 y 2004, desde la toma de muestras hasta la redacción del último informe, da una gran fiabilidad a los estudios estadísticos realizados.

En 2004, repetimos, también con INTEMAC, este estudio estadístico con los resultados de los 12.554 ensayos realizados con las baldosas de cemento que se obtuvieron de las obras que, el Ayuntamiento de Madrid, construyó entre julio de 2000 y julio de 2004.

Las conclusiones de ambos estudios estadísticos, 2000 y 2004, son similares. Se resumen, a continuación, los resultados y conclusiones obtenidos del estudio realizado en 2004.

Los valores obtenidos en los ensayos y su comparación con las prescripciones establecidas en el Pliego de Condiciones Técnicas Generales (PCTG), de 1988, se indican en la Tabla 5.35.

Tabla 5.35

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	1,71	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

El porcentaje de conformidad, se dedujo a partir de la distribución normal obtenida de la media y de la desviación típica.

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.

6. CONCLUSIONES

6.1. RELATIVAS A LOS MATERIALES DE PAVIMENTACIÓN

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) Los Estudios Estadísticos que se realizaron en 2000 y 2004 sobre los resultados obtenidos en los 15.374 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.
- 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, coqueras, 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 cuadriplican.
- 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.

6.2. RELATIVAS A LOS FIRMES DE LAS ACERAS

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 40%, aproximadamente, no existiendo diferencias apreciables en el porcentaje de reducción al comparar distintos tipos de baldosas.
- 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 40%, 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 elevada calidad, del hormigón empleado como base. (45 MPa de resistencia característica).

- 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) De la comparación de los movimientos verticales máximos obtenidos para diferentes tipos de baldosas, en iguales condiciones de compactación o de espesor de la base, se puede deducir que utilizar uno u otro tipo de baldosa es indiferente a efectos del comportamiento del firme ante los movimientos verticales producidos al paso del vehículo pesado.
- 7) Siempre que con la construcción del firme de las aceras se proceda a la instalación o a la renovación de los servicios situados debajo las mismas, deberán instalarse estos lo suficientemente profundos para que al compactar la subbase al 100% del P.N. y reducir el espesor de la base de hormigón, con el consiguiente beneficio económico en el coste del firme.
- 8) 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.
- 9) 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 el citado grado de compactación del 100 % del P.N. puede afectar a los citados servicios. Si es así, no es aconsejable la reducción del espesor de la base ya que en este caso actúa como protectora de estos servicios, aunque su función como elemento estructural del firme sea escasa.

7. RECOMENDACIONES PARA INVESTIGACIONES FUTURAS

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

- 1) Hemos visto que, a partir de 1999, se fueron sustituyendo las normas UNE 127001 a 127007 aplicables a las baldosas de hormigón, 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 definatorias 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.

El Anejo ZA de la norma UNE-EN 1339: 2004, marcado C, constituye la parte armonizada de esta norma, por lo que su contenido, es de obligado cumplimiento para que los fabricantes puedan comercializar estos productos.

Posteriormente, AENOR elaboró la norma UNE 127339: 2007, que, junto a la norma UNE-EN 1339: 2004, especificaba las propiedades, requisitos, métodos de ensayo y condiciones de suministro y recepción de las baldosas de hormigón no armadas y accesorios complementarios para uso en áreas pavimentadas sometidas a tráfico.

Aunque esta norma alude, explícitamente, a todo el contenido de la norma UNE 127339: 2007, lo cierto es que recomienda, para el caso concreto de España, algunas prescripciones muy concretas de todo el abanico de posibilidades que la norma UNE-EN 1339: 2004 establece, tales como:

- Resistencia climática: cumplimiento, exclusivamente, del requisito de Clase 2, marcado B.

- Durabilidad de uso: cumplimiento, exclusivamente, del requisito de Clase 2, marcado G.
- Resistencia al deslizamiento-resbalamiento: cumplimiento de un índice USRV superior a 45.
- Algunas reflexiones en cuanto a las condiciones de suministro y recepción.

Ante la escasa calidad de este material, comprobada durante esta investigación, consideramos que podrían establecerse futuras líneas de investigación para analizar la influencia que sobre la calidad del producto final tienen las características no consideradas ni en la UNE 127339: 2007, ni en el Anejo de la UNE-EN 1339: 2004, pero que sí lo estaban en el resto de esta norma.

- 2) Otra línea de investigación que podría iniciarse sería la de analizar la influencia de las condiciones ambientales en la pérdida, a lo largo del tiempo, de las características cromáticas en las baldosas de cemento coloreadas en las diferentes provincias españolas.
- 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 II y un pavimento de baldosa de cemento, con diferentes profundidades para instalar los servicios de distribución de agua, energía eléctrica y comunicaciones, podría constituir otra futura línea de investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) “Anuario estadístico del Ministerio de Fomento”. 2001.
- (2) “Anuario estadístico del Ministerio de Fomento”. 2004.
- (3) “Balance de de las experiencias españolas en firmes de hormigón compactado con rodillo”. Fernando Catalá. III JORNADAS SOBRE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN. IECA. 1987.
- (4) “Calidad de las obras de apertura y tapado de calas y canalizaciones en el Ayuntamiento de Madrid desde enero de 2000 hasta julio de 2003”. Dirección del Área de Obras. Ayuntamiento de Madrid. 2003.
- (5) “Catálogo de firmes y pavimentos de la ciudad de Valencia”. Ayuntamiento de Valencia. 2007.
- (6) “Color y textura en pavimentos y paramentos de hormigón”. C. Jofre, J.R. Domínguez, E. LaSalle y C. Masa. IECA. 2003.
- (7) “Cuadro de Precios aplicable a la redacción de los proyectos de obra nueva que se redacten en el Ayuntamiento de Madrid durante el año 1988”. Departamento de Programación y Control. Ayuntamiento de Madrid. 1988.
- (8) “CURSO SOBRE INTRODUCCIÓN A LA REDACCIÓN DE PROYECTOS DE URBANIZACIÓN. Viario: trazado, secciones, explanada, firmes y pavimentos”. Fernando Catalá. Colegio de Arquitectos de Madrid. 1993.
- (9) “Datos estadísticos sobre los firmes y pavimentos da las calzadas y aceras de las ciudades de Valencia, Zaragoza, Málaga y Murcia”. Ayuntamientos respectivos. 2007.
- (10) “Datos estadísticos sobre losetas hidráulicas”. Área de Obras e Infraestructuras. Ayuntamiento de Madrid. 1988 a 1996.

- (11) “Estudio estadístico de los resultados de los ensayos realizados en hormigones, baldosas hidráulicas, bordillos y mezclas asfálticas, en el período comprendido entre julio de 2000 y julio de 2004”. Dirección del Área de Obras. Ayuntamiento de Madrid. 2003.
- (12) “Estudio estadístico de los resultados de los ensayos realizados en hormigones, baldosas hidráulicas, bordillos y mezclas asfálticas, en el período comprendido entre julio de 1996 y julio de 2000”. Dirección del Área de Obras. Ayuntamiento de Madrid. 2003.
- (13) “Estudio sobre los procesos de fabricación de losetas hidráulicas por los ocho principales suministradores de este material al Ayuntamiento de Madrid”. Departamento de Sistemas Generales. Ayuntamiento de Madrid. 1990.
- (14) “Estudio sobre los procesos de fabricación de losetas hidráulicas por diversos suministradores de este material al Ayuntamiento de Madrid”. Departamento de Programación y Control. Ayuntamiento de Madrid. 1985.
- (15) “Firmes Urbanos: tipos y mantenimiento de los mismos”. Fernando Catalá. I JORNADA SOBRE PAVIMENTACIÓN URBANA. Asociación Española de refinerías de petróleo productoras de asfalto. 1987.
- (16) “Firmes Urbanos”. Fernando Catalá, Joaquín Marín y Francisco Rodríguez. ESPAS. 1990.
- (17) “Guía del terrazo. Proyecto y puesta en obra. Control de Calidad”. IECA y CEMEX. 2002.
- (18) “Guía del terrazo. Soluciones para interior y exterior”. IECA y CEMEX. 2002.
- (19) “Inventario de firmes y pavimentos de calzadas y aceras en la ciudad de Madrid”. Ayuntamiento de Madrid. 2007.

- (20) "Inventario de firmes y pavimentos de calzadas y aceras en la ciudad de Barcelona". Ayuntamiento de Barcelona. 2007.
- (21) "Licencias concedidas para calas y canalizaciones en el Ayuntamiento de Madrid desde enero de 2000 hasta julio de 2003". Dirección del Área de Obras. Ayuntamiento de Madrid. 2003.
- (22) "Manual técnico". TECNOPAVIMENTO. Asociación tecnológica de fabricantes de losas y baldosas de hormigón. 2003.
- (23) "Metodología para la evaluación de los costes de conservación de las vías urbanas". Fernando Catalá. V JORNADAS DE CONSERVACIÓN DE CARRETERAS. 1994.
- (24) "Normalización de elementos constructivos para obras de urbanización". Departamento de Programación y Control. Ayuntamiento de Madrid. 1988.
- (25) "Normalización de elementos constructivos para obras de urbanización". Dirección del Área de Obras. Ayuntamiento de Madrid. 2002.
- (26) "Pavimentación Urbana". Fernando Catalá. XII CONGRESO MUNDIAL IRF. 1993.
- (27) "Pavimentos de hormigón: una alternativa inteligente y sostenible. EUPAVE, OFICEMEN e IECA.
- (28) "Pavimentos peatonales". Fernando Catalá y Joaquín Marín. 1990.
- (29) "Pliego de Condiciones Técnicas Generales 1988". Departamento de Programación y Control. Ayuntamiento de Madrid. 1988.
- (30) "Pliego de Condiciones Técnicas Generales 1998". Dirección de Servicios de Sistemas Generales. Ayuntamiento de Madrid. 1998.

- (31) "Secciones estructurales de firmes y pavimentos bituminosos antideslizantes". Fundación Agustín de Bethencourt. Ayuntamiento de Madrid. 1985.
- (32) "Soluciones urbanas con pavimentos de hormigón". Fernando Catalá. XIII CURSO DE ESTUDIOS MAYORES DE LA CONSTRUCCIÓN. Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento. 1995.
- (33) "Técnicas medio ambientales en obras de vías urbanas". Fernando Catalá. XIII SYMPOSIUM NACIONAL DE VÍAS Y OBRAS DE ADMINISTRACIÓN LOCAL. Asociación española de la carretera. 1995.
- (34) "Tipología y comportamiento de los firmes urbanos en Madrid". Fernando Catalá. Equipamiento y Servicios Municipales. 1988.
- (35) "Viales Urbanos". Fernando Catalá. XVIII SEMANA DE LA CARRETERA. Asociación Española de la Carretera. 1991.
- (36) "Vías de baja intensidad de tráfico". A. Josa, C. Jofre, R. Fernández, C. Kraemer y J.J. Vaquero. IECA. 2002.
- (37) "Vías Públicas en el término municipal de Madrid. Secciones estructurales de firmes". Departamento de Programación y Control. Ayuntamiento de Madrid. 1988.
- (38) ASTM D 2244-09b. Standard practice for calculation of color tolerances and color differences from instrumentally measured color coordinates.
- (39) ASTM E 1155-96. Standard test method for determining FF floor flatness and FL floor levelness numbers.
- (40) ASTM E 308-08. Standard practice for computing the colors of objects by using the CIE system.
- (41) CIE 1976 CIELAB.

- (42) Código Técnico de la Edificación. Documento Básico “DB SU Seguridad de Utilización”.
- (43) NLT-175/98. Coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo del TRRL.
- (44) Norma Tecnológica de la Edificación NTE.RSR “Piezas Rígidas”.
- (45) UNE 127001:1990. Baldosas de cemento. Definiciones. Clasificación. Características y recepción en obra.
- (46) UNE 127001-1M:1994. Baldosas de cemento. Definiciones. Clasificación. Características y recepción en obra.
- (47) UNE 127002:1990. Baldosas de cemento. Determinación del coeficiente de absorción de agua.
- (48) UNE 127003:1990 EX. Baldosas de cemento. Ensayo de permeabilidad y absorción de agua por la cara vista.
- (49) UNE 127004:1990. Baldosas de cemento. Ensayo de heladicidad.
- (50) UNE 127005-1:1990. Baldosas de cemento. Determinación del desgaste por abrasión. Método de la plataforma giratoria o de vaiven.
- (51) UNE 127005-2:1990. Baldosas de cemento. Determinación del desgaste por abrasión. Método del disco.
- (52) UNE 127006:1990. Baldosas de cemento. Determinación de la resistencia a flexión.
- (53) UNE 127007:1990. Baldosas de cemento. Determinación de la resistencia al choque.
- (54) UNE 127020:1999 EX. Baldosas de terrazo. Uso interior.

- (55) UNE 127021:1999 EX. Baldosas de terrazo. Uso exterior.
- (56) UNE 127022:1999 EX. Baldosas de hormigón. Uso exterior.
- (57) UNE 127023:1999 EX. Losetas de hormigón.
- (58) UNE 127024:1999 EX. Baldosas aglomeradas de cemento.
- (59) UNE 127339:2007. Propiedades y condiciones de suministro y recepción de las baldosas de hormigón.
- (60) UNE 83822 EX: 1995. Determinación de los morteros de revoco y enlucido.
- (61) UNE-EN 1339:2004. Baldosas de hormigón. Especificaciones y métodos de ensayo.
- (62) UNE-EN 13748-1:2005. Baldosas de terrazo. Parte 1: Baldosas de terrazo para uso interior.
- (63) UNE-EN 13748-2:2005. Baldosas de terrazo. Parte 2: Baldosas de terrazo para uso exterior.

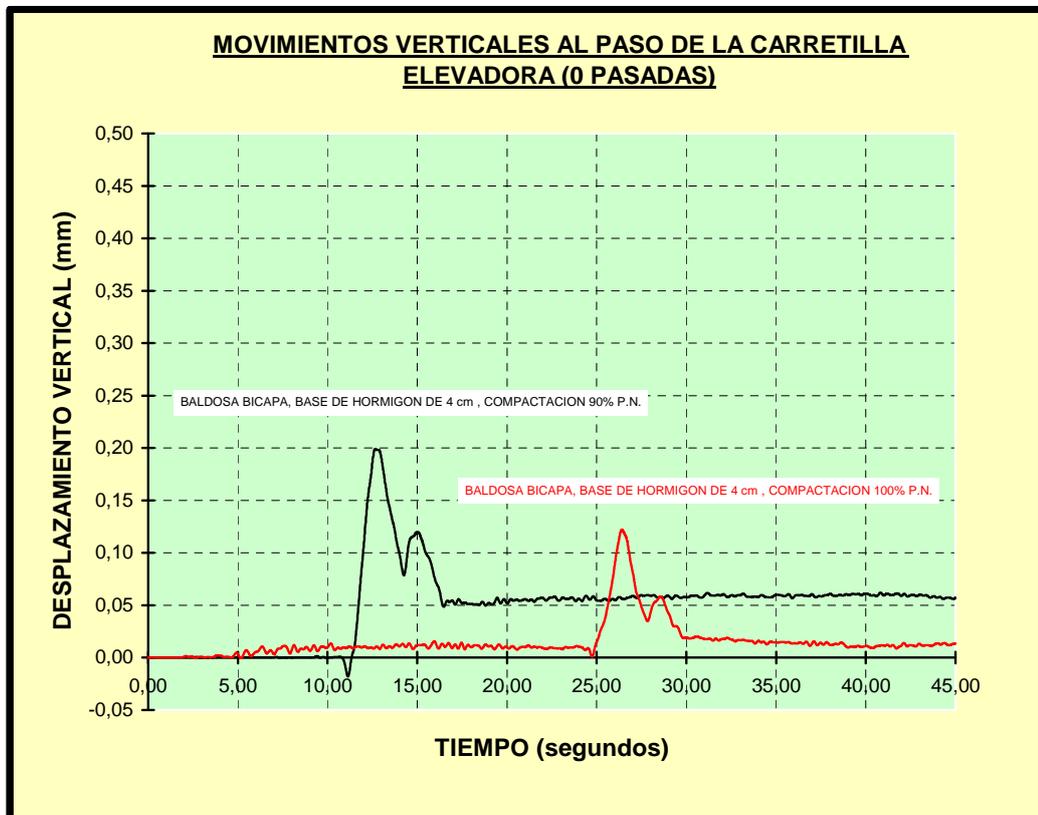
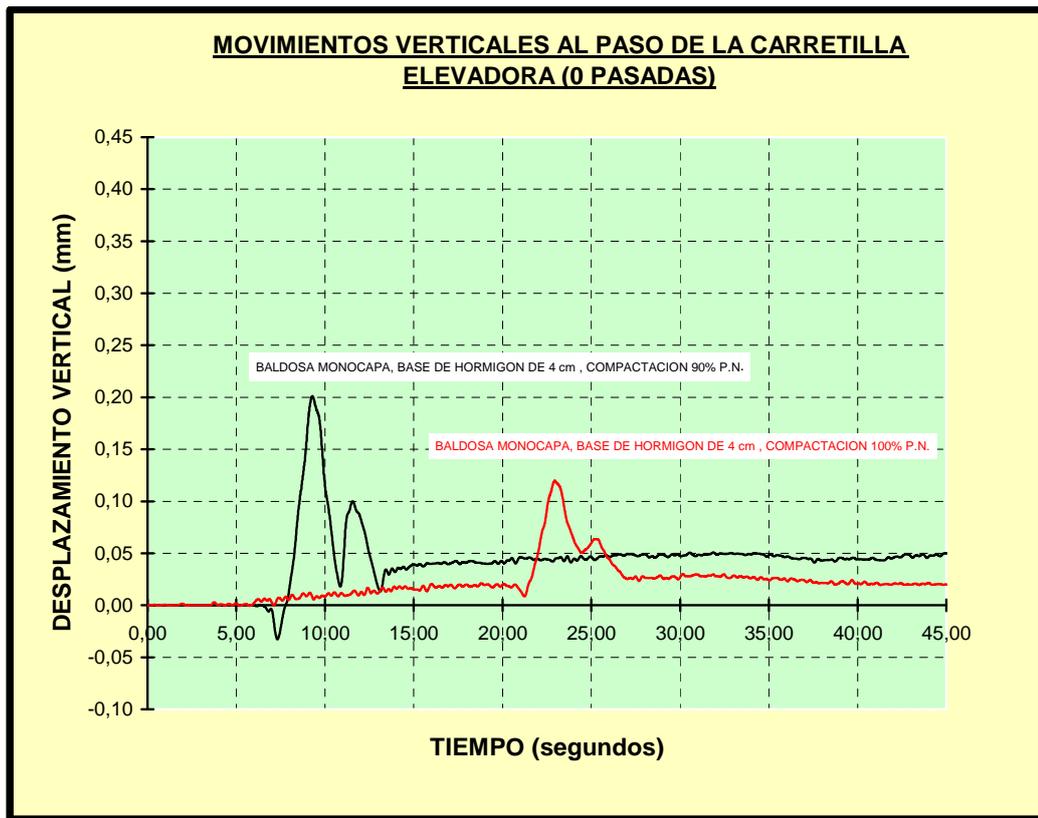
A N E J O

GRÁFICOS OBTENIDOS EN LAS PASADAS REALIZADAS SOBRE LOS TRAMOS EXPERIMENTALES DE ACERAS

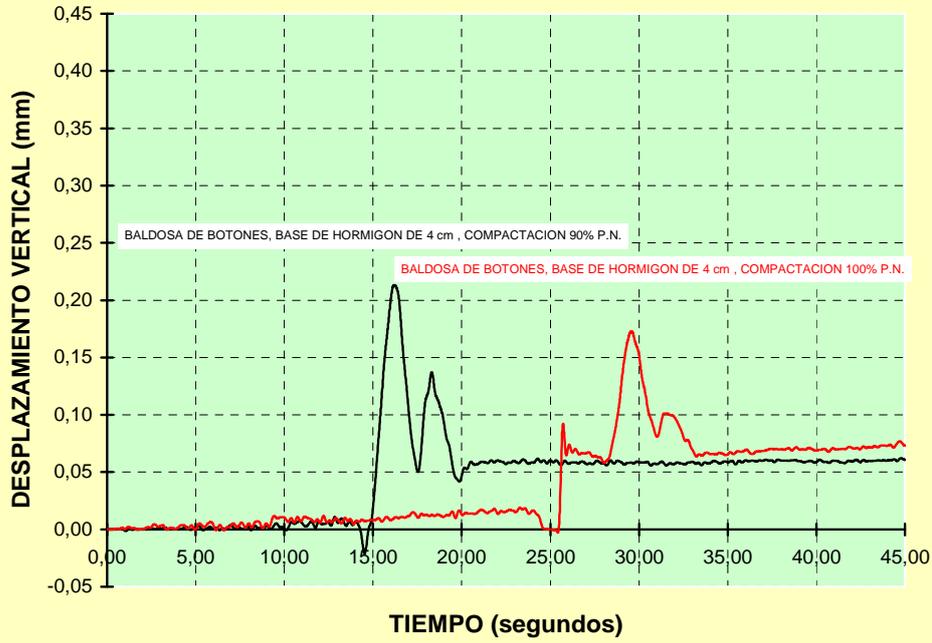
**GRÁFICOS 0 PASADAS DE CARRETILLA (SITUACIÓN INICIAL)
MOVIMIENTOS AL PASO DE UNA CARRETILLA CARGADA**

**GRÁFICOS COMBINANDO MISMO TIPO DE
BALDOSA DISTINTO TIPO DE COMPACTACIÓN Y DISTINTO TIPO
ESPESOR DE LOSA**

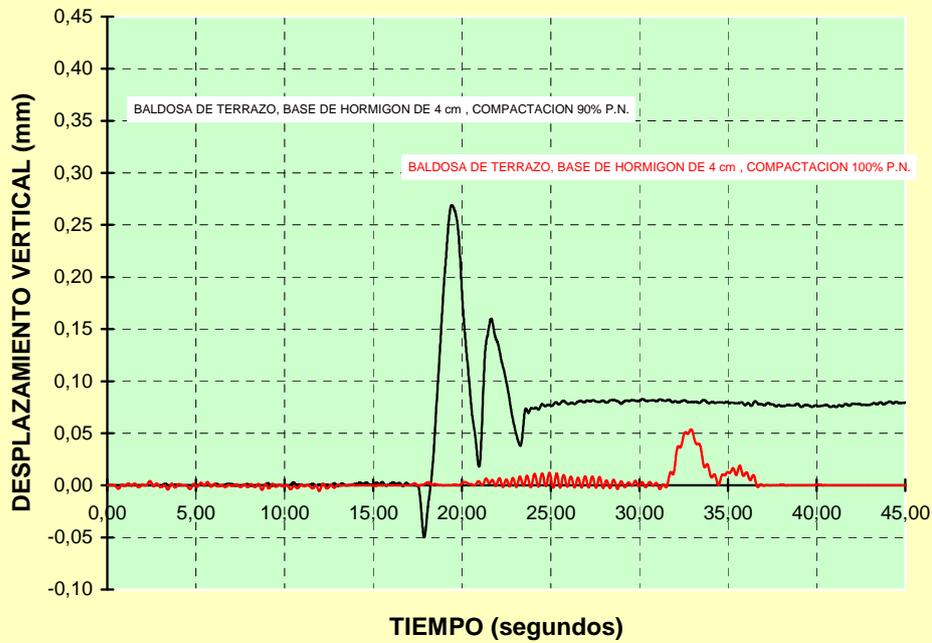
NOTA: El origen de tiempos del eje x de las diagramas que a continuación se muestran corresponde al momento en que se ordena que la carretilla entre en la "losa de ensayo". Obviamente la "flecha" máxima se obtiene simultáneamente sólo en aquellos módulos que se encuentran a igual distancia del borde de la losa. Se recuerda que se construyeron en paralelo siempre con el mismo tipo de baldosa pero diferente espesor de losa.

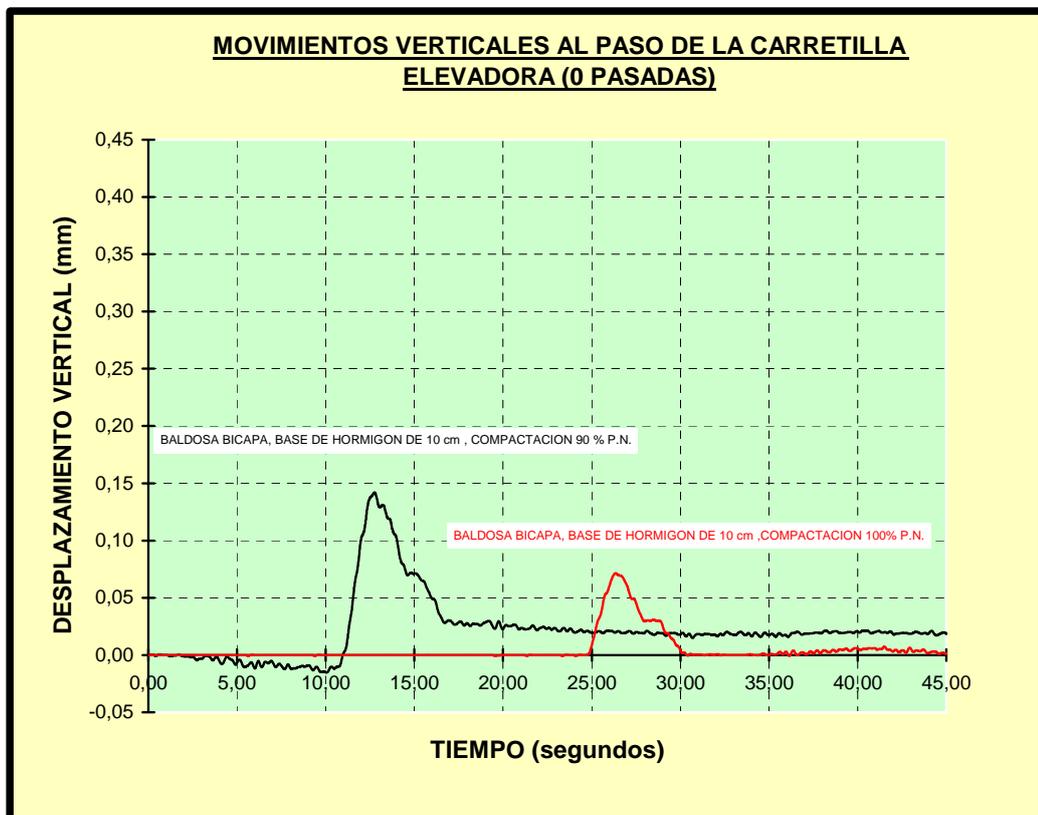
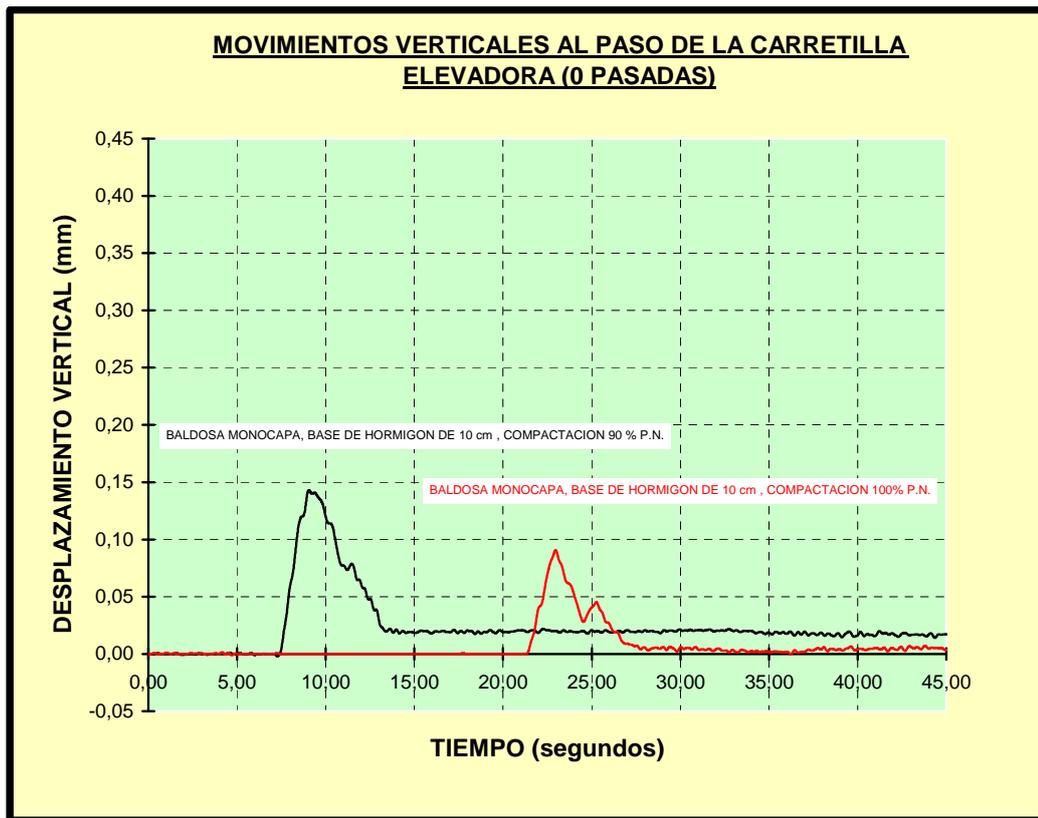


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (0 PASADAS)

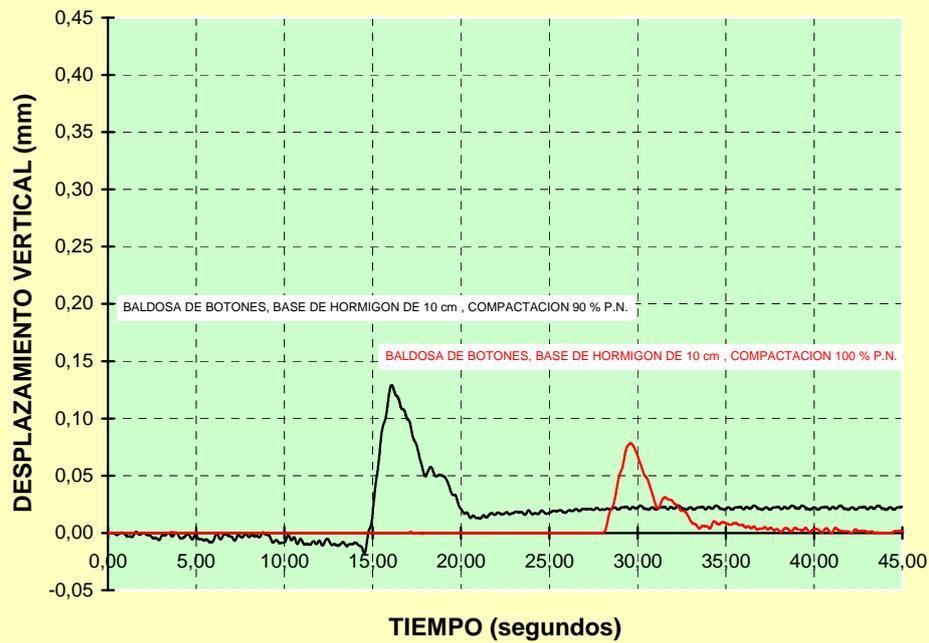


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (0 PASADAS)

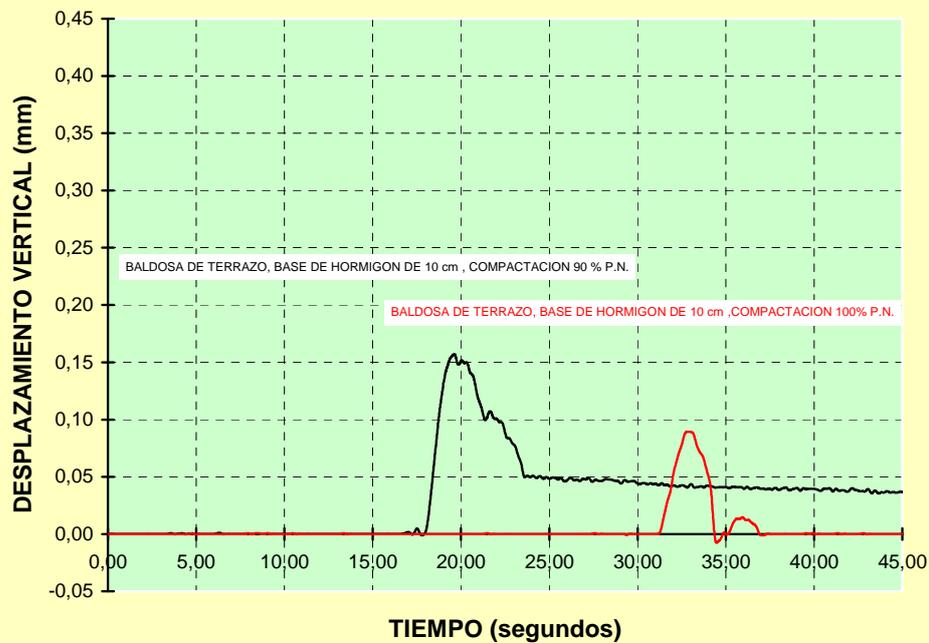


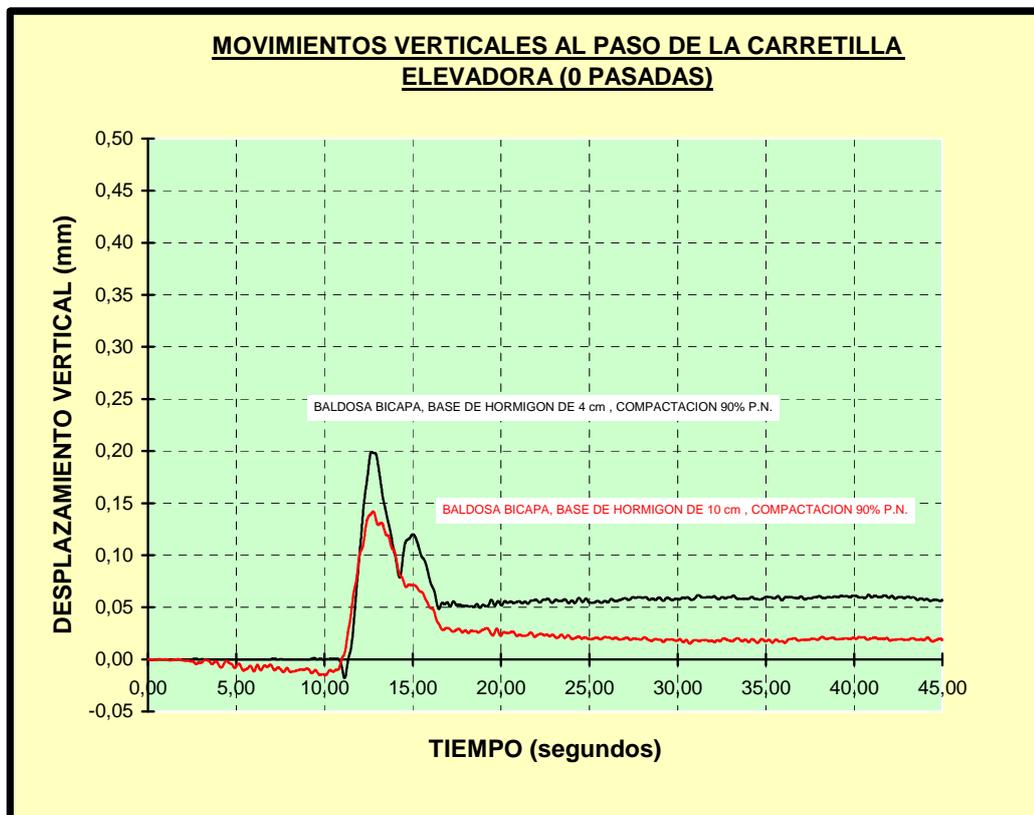
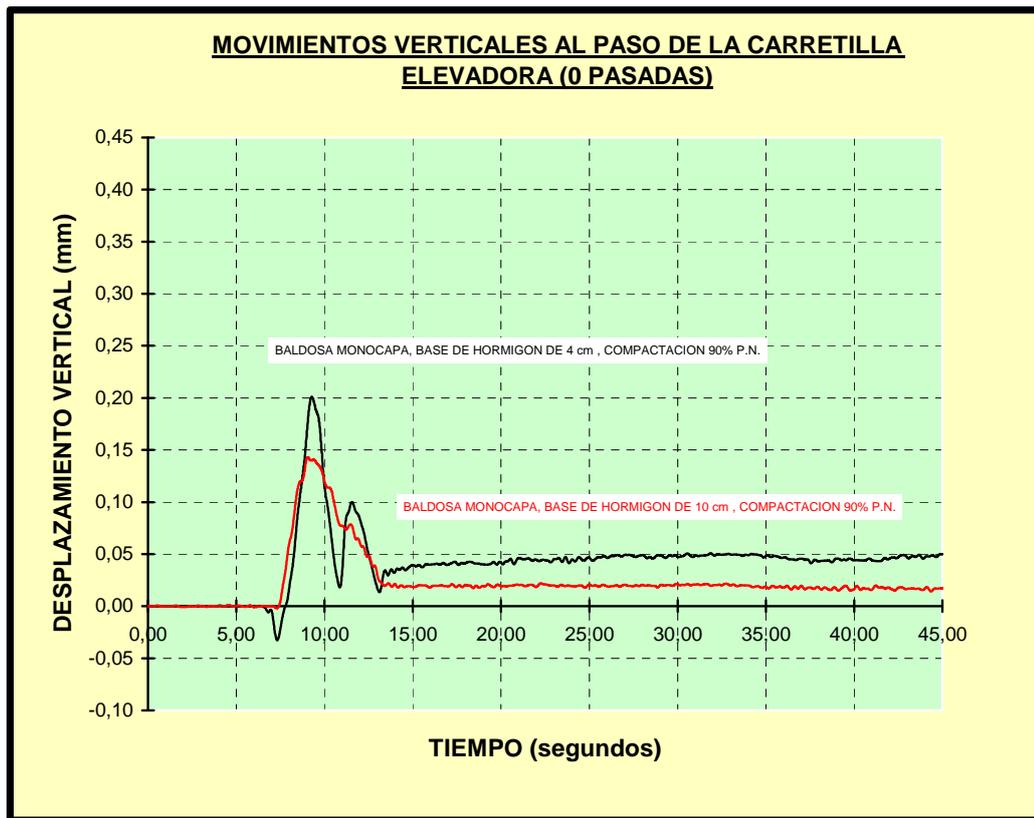


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (0 PASADAS)

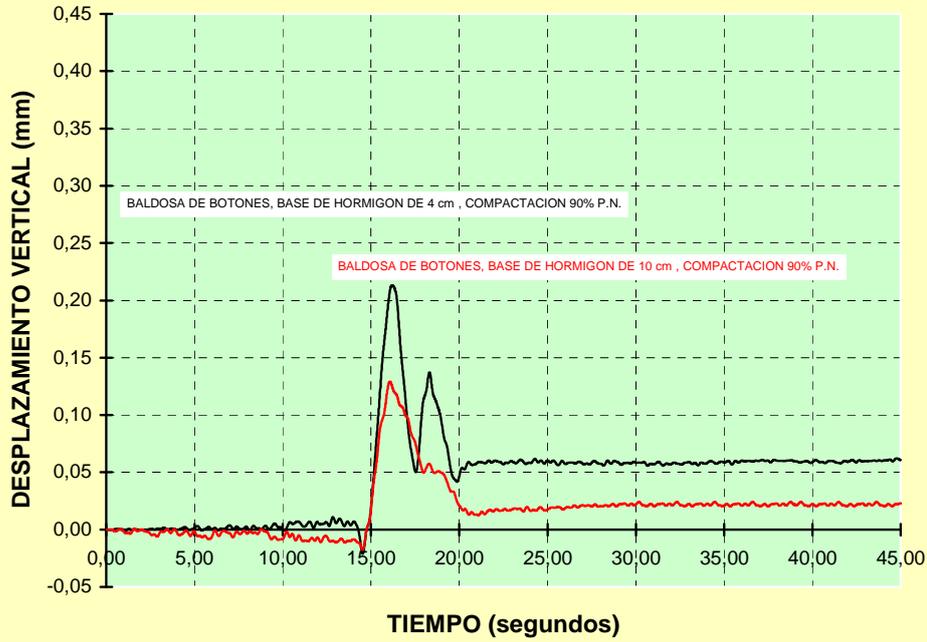


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (0 PASADAS)

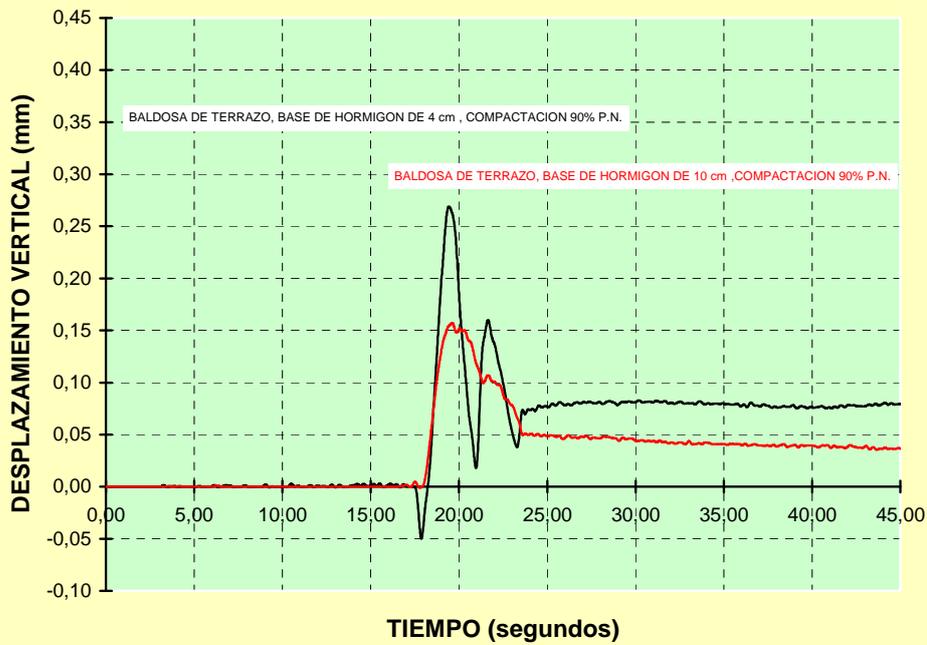


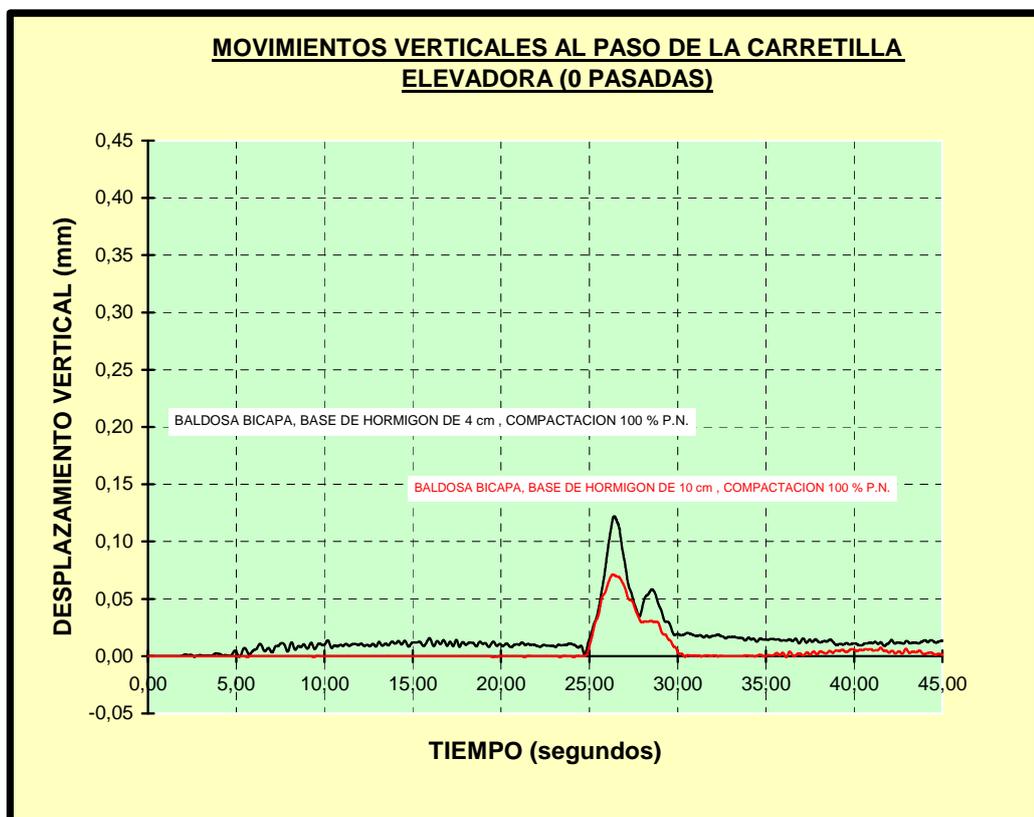
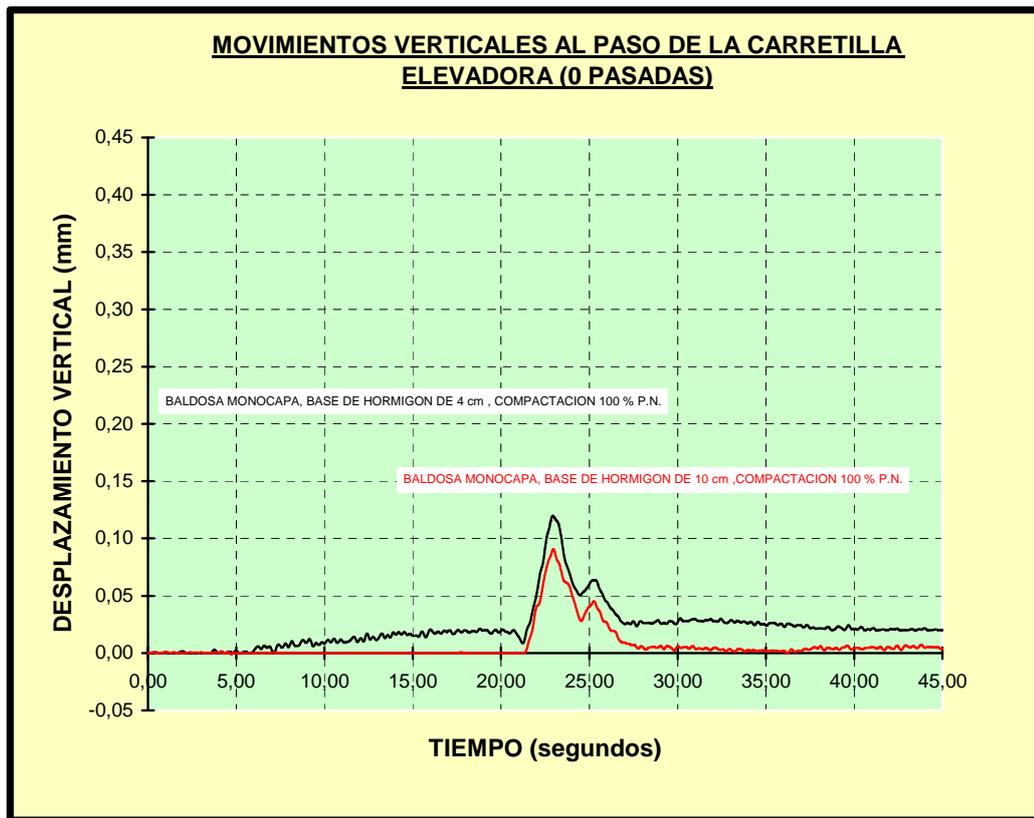


**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA
ELEVADORA (0 PASADAS)**

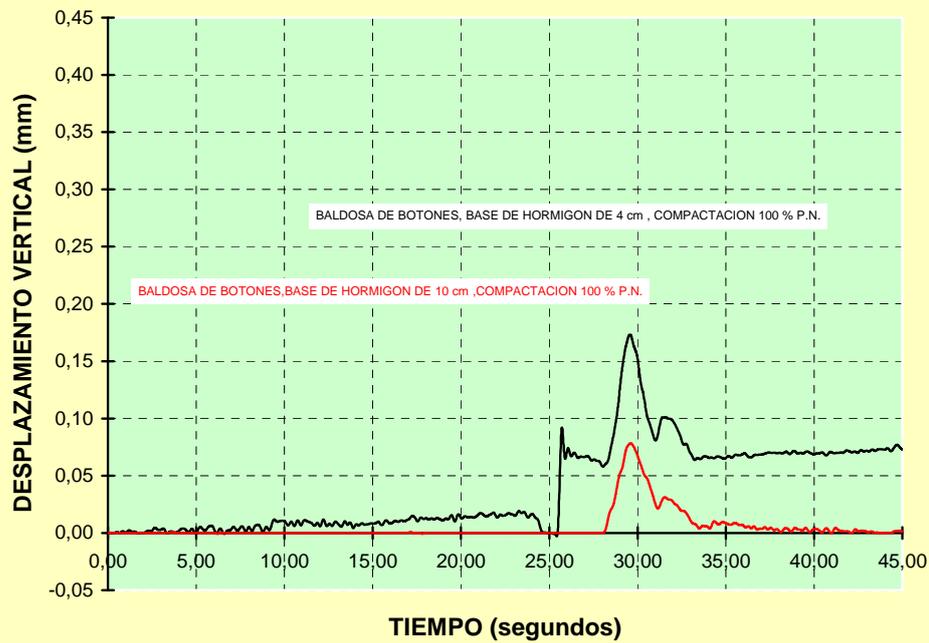


**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA
ELEVADORA (0 PASADAS)**

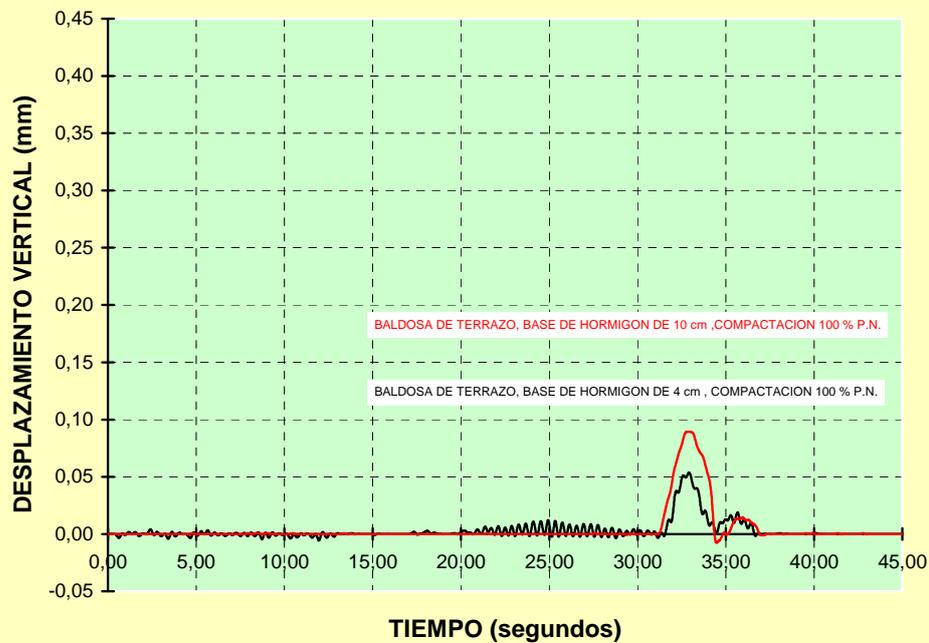


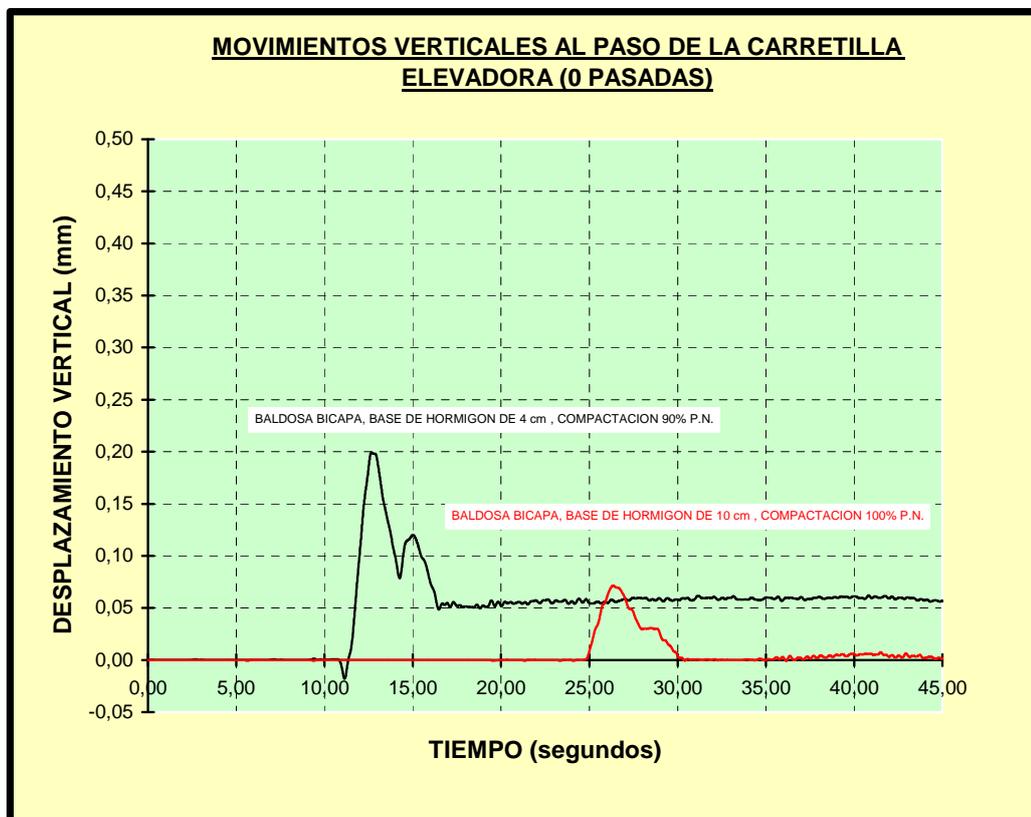
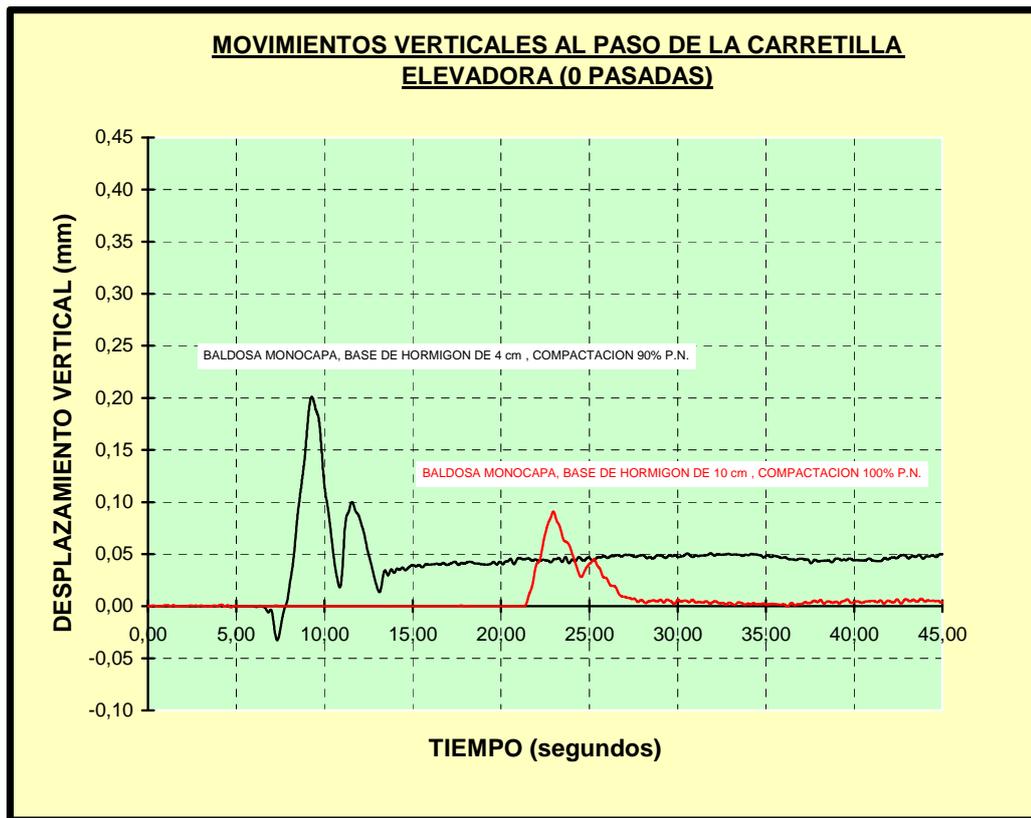


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (0 PASADAS)

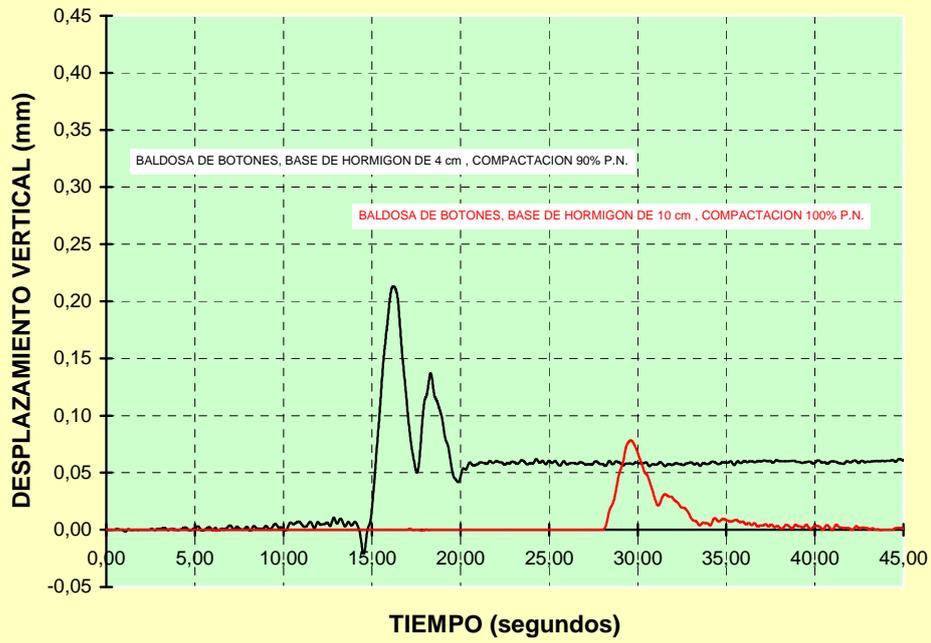


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (0 PASADAS)

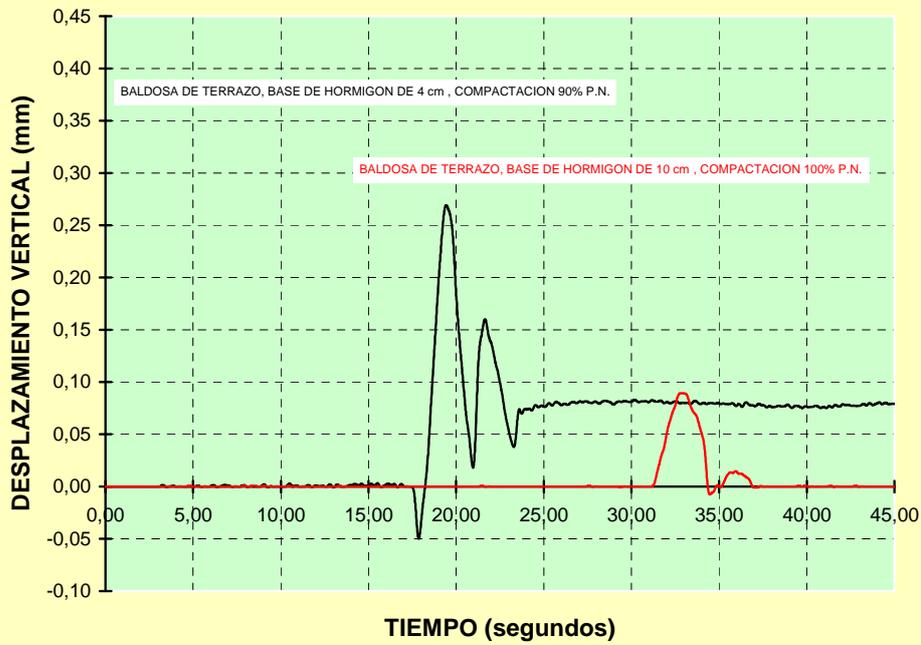


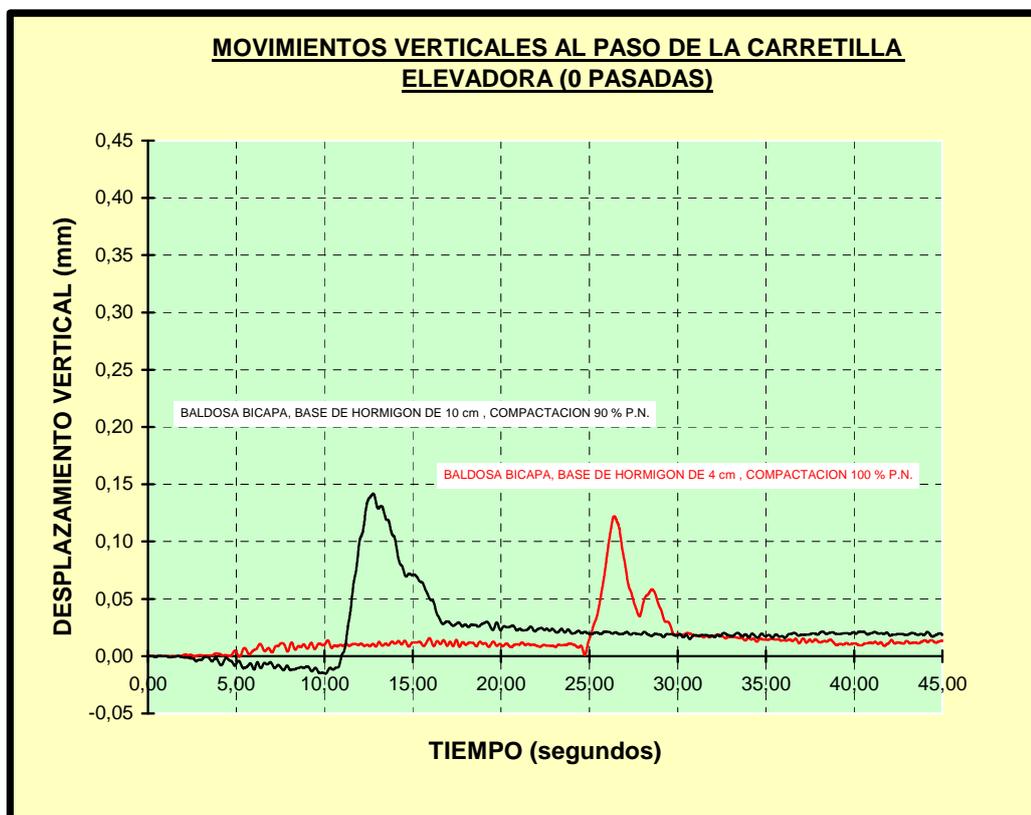
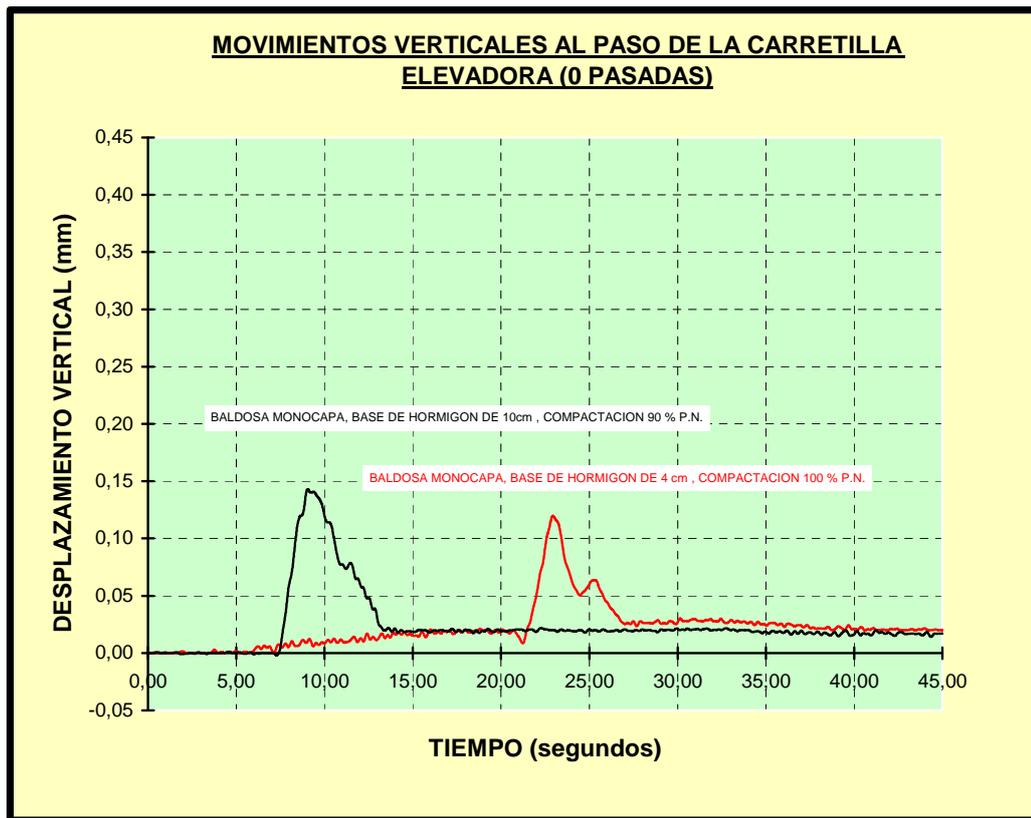


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (0 PASADAS)

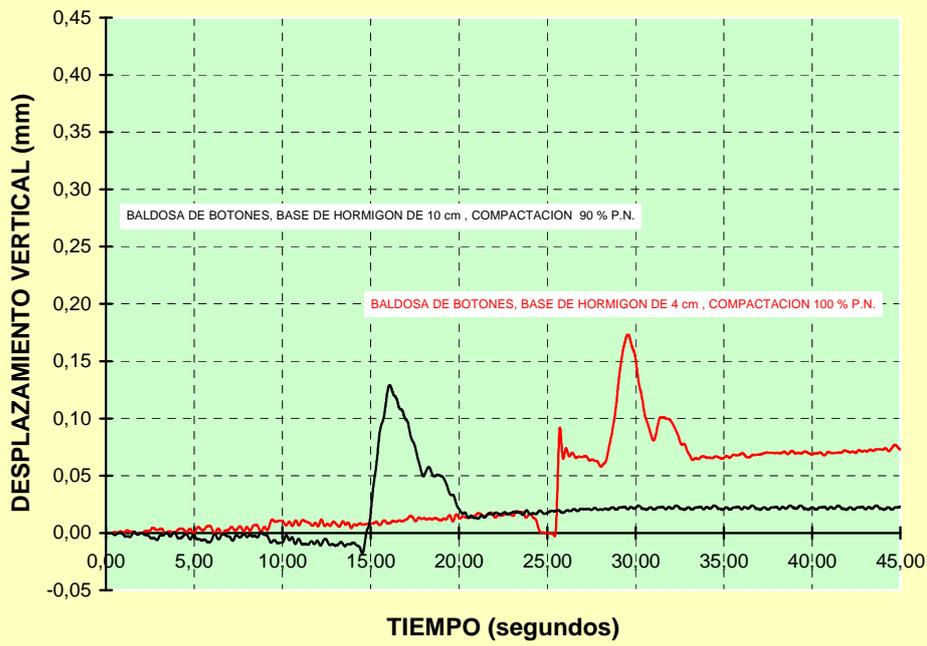


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (0 PASADAS)

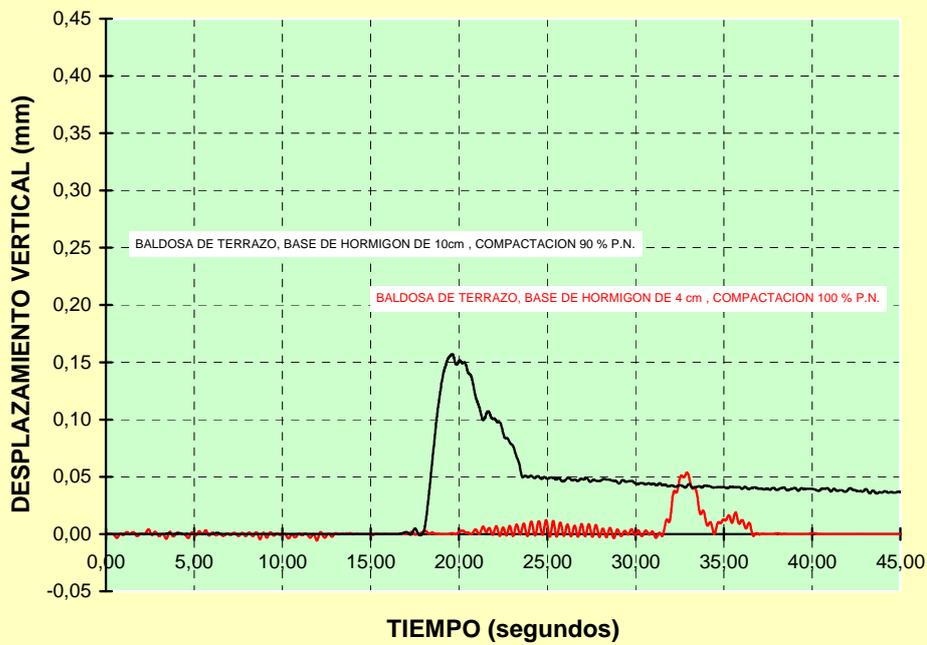


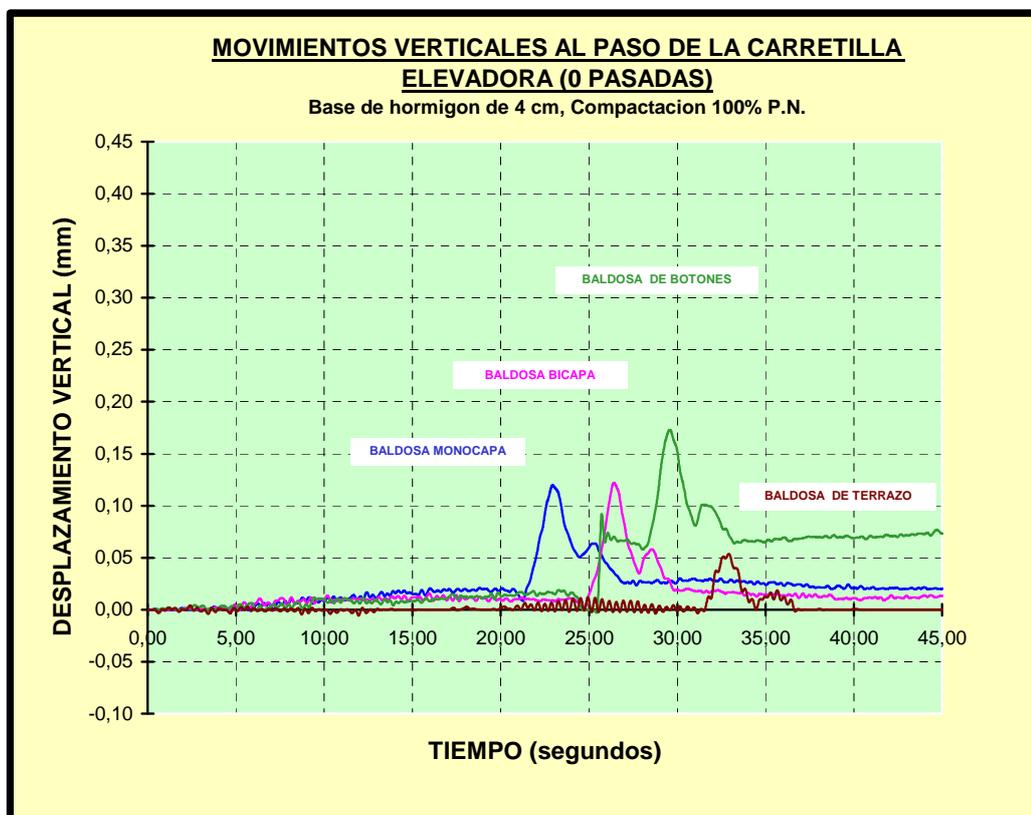
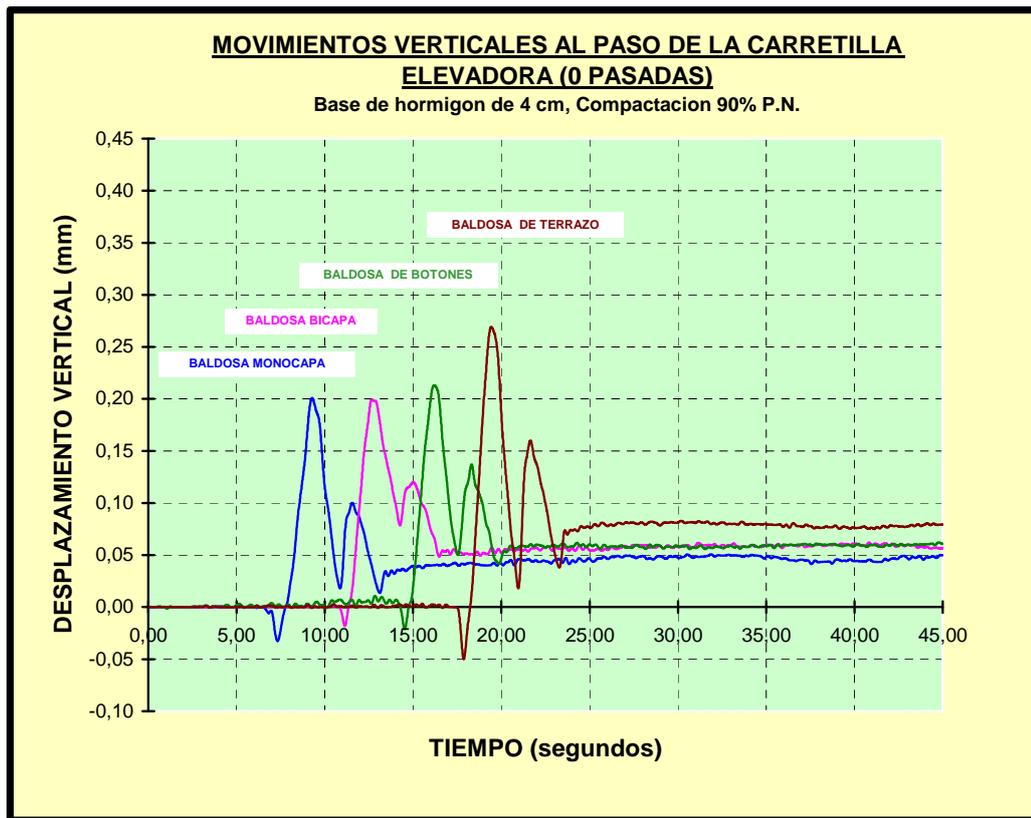


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (0 PASADAS)



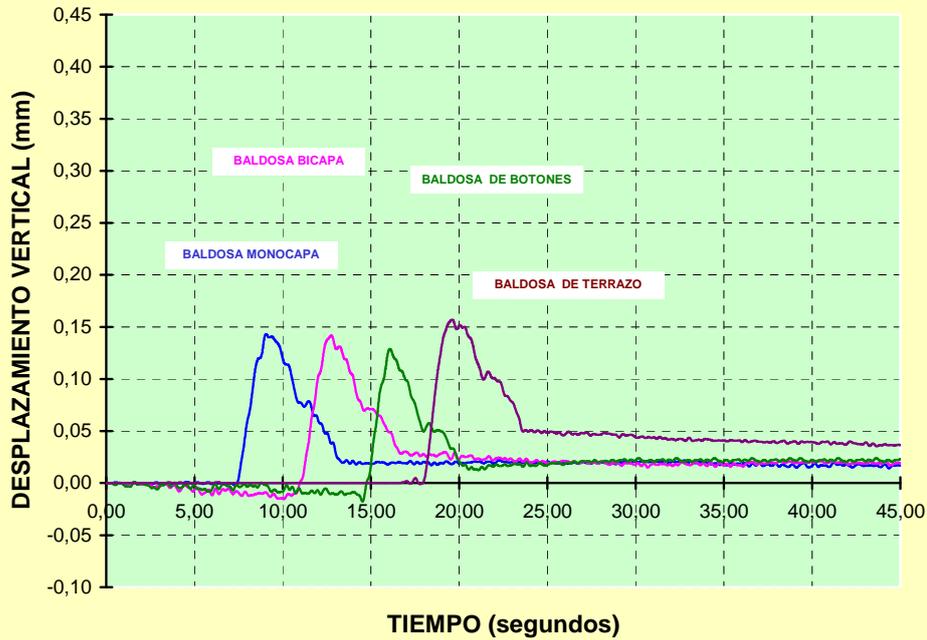
MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (0 PASADAS)





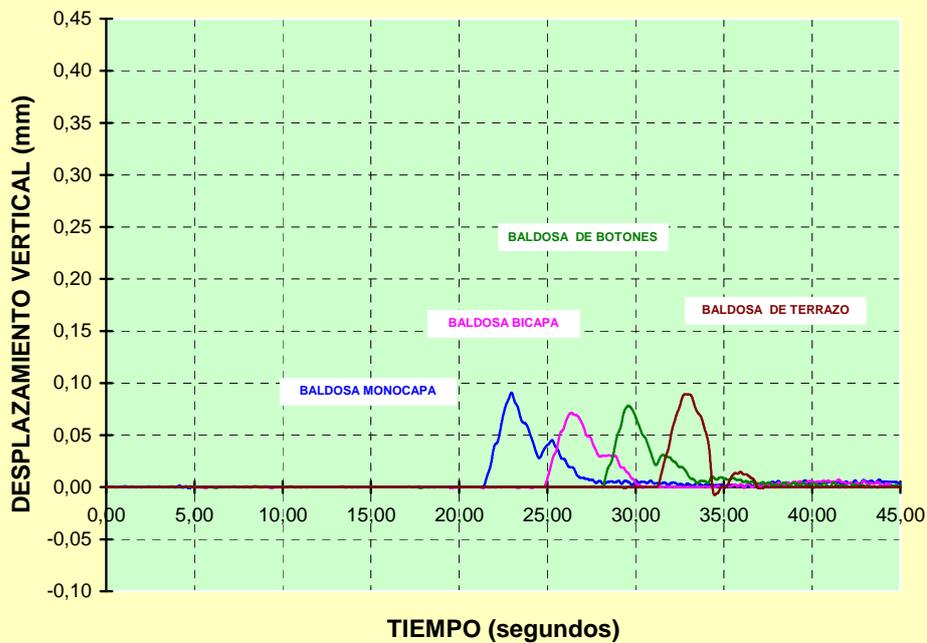
**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA
ELEVADORA (0 PASADAS)**

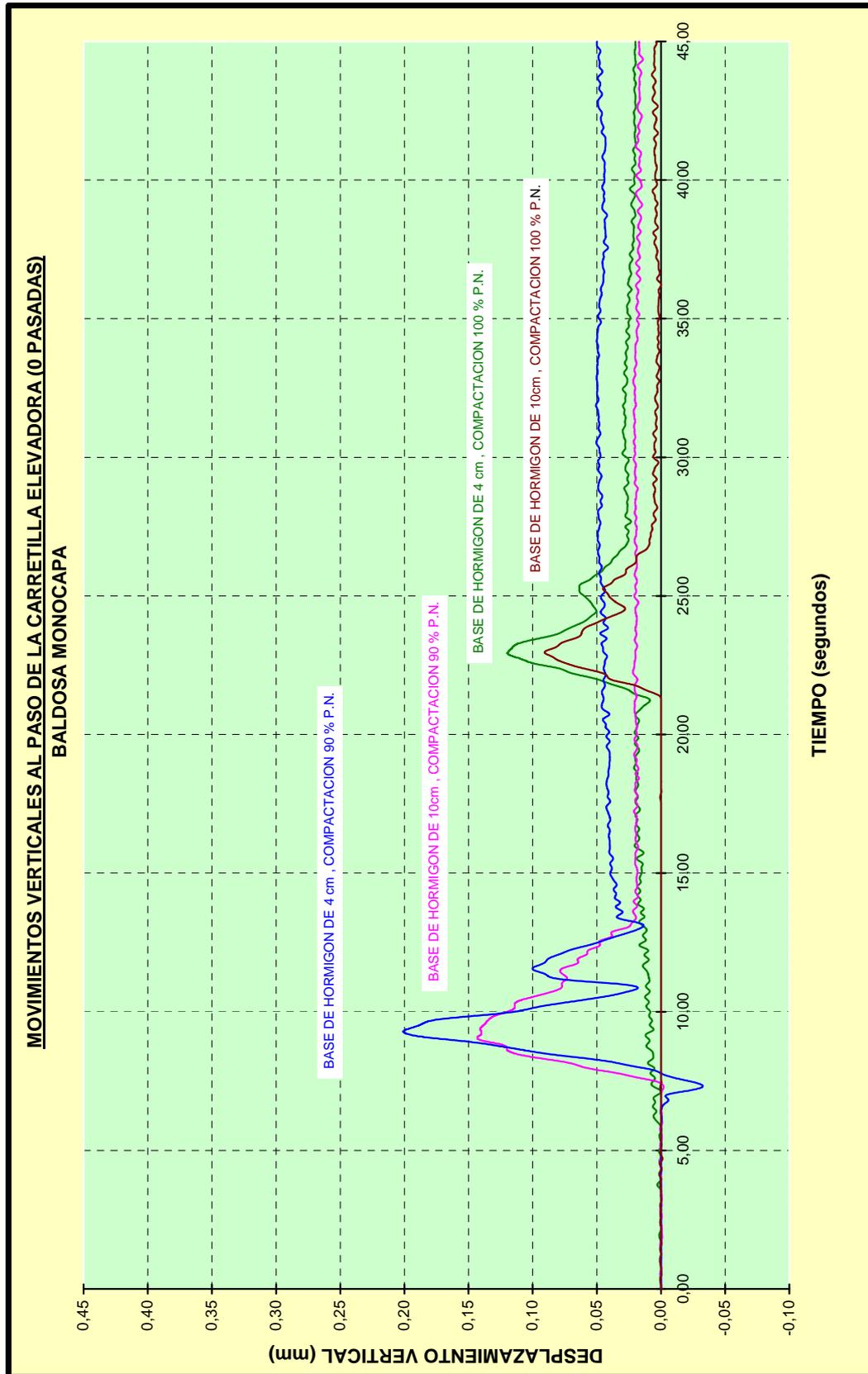
Base de hormigon de 10 cm, Compactacion 90% P.N.



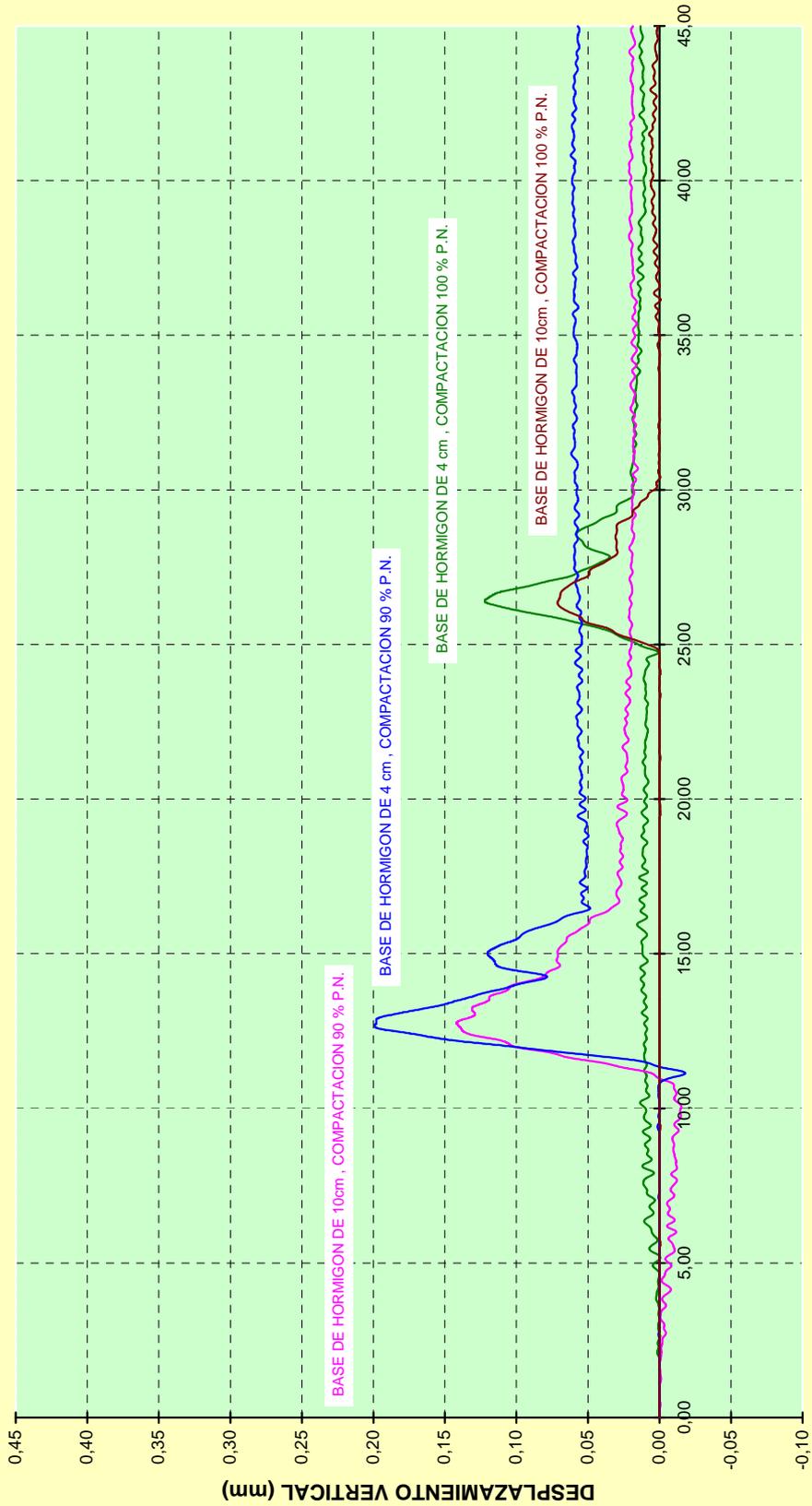
**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA
ELEVADORA (0 PASADAS)**

Base de hormigon de 10 cm, Compactacion 100% P.N.

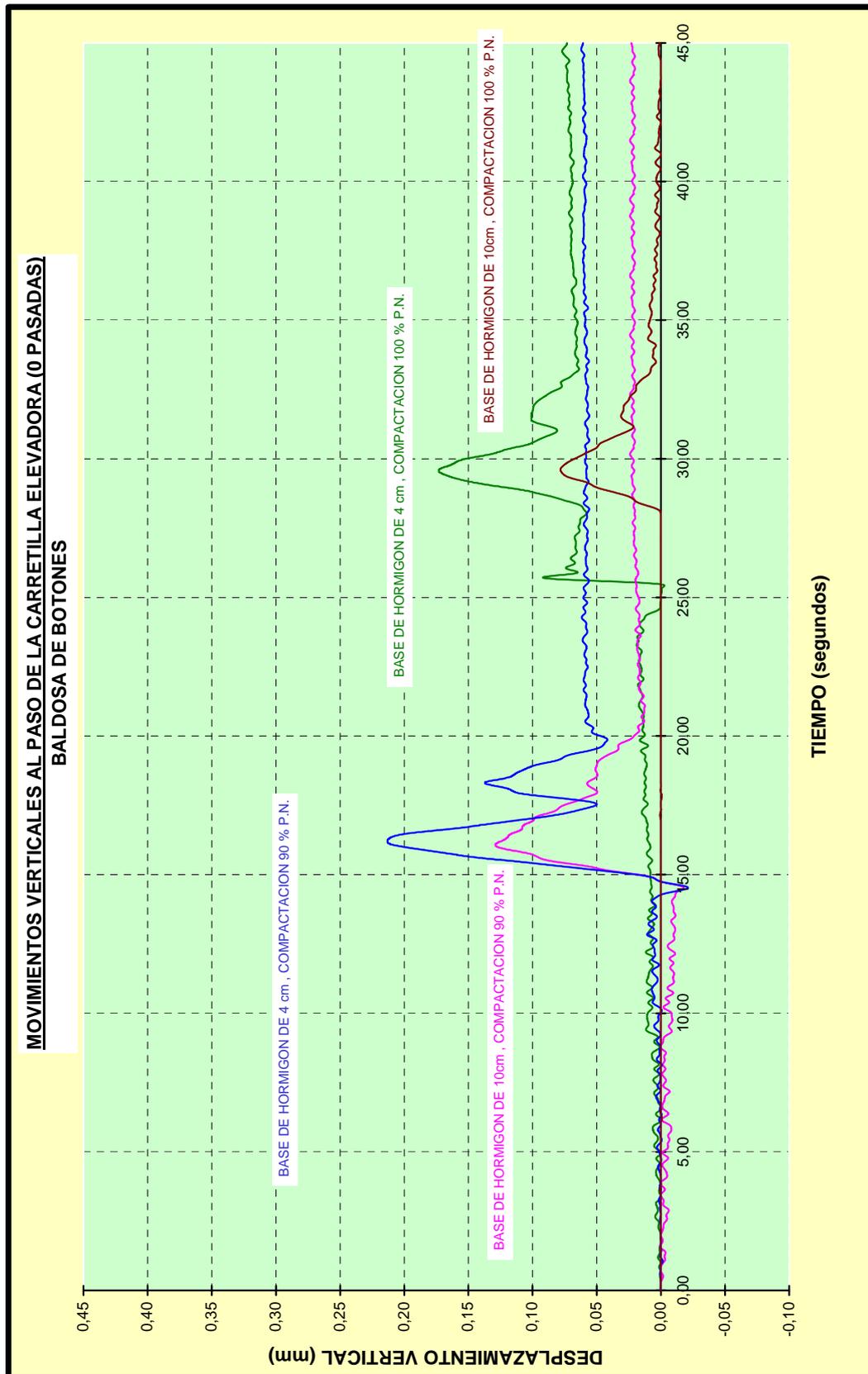




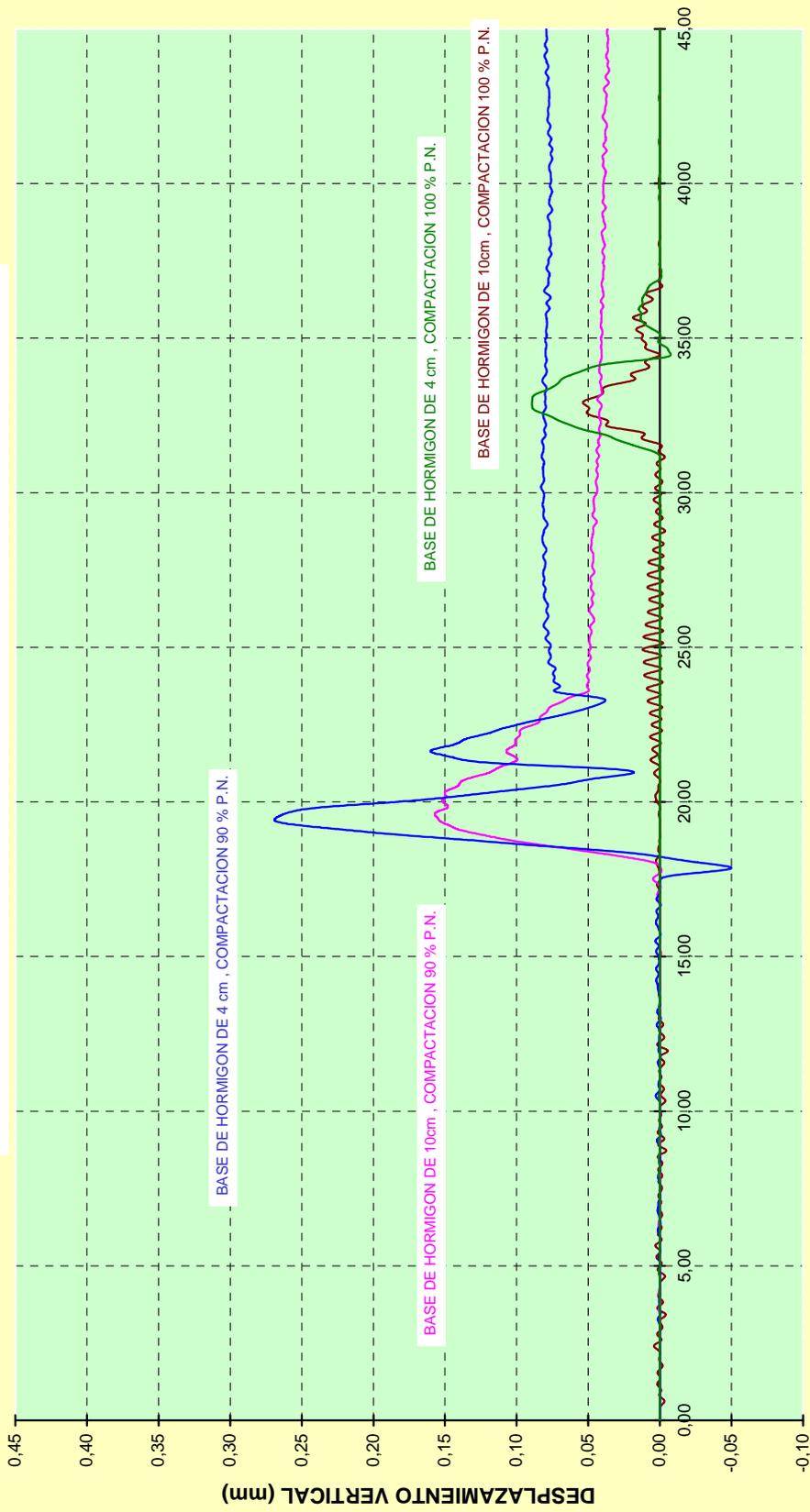
**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (0 PASADAS)
BALDOSA BICAPA**



TIEMPO (segundos)



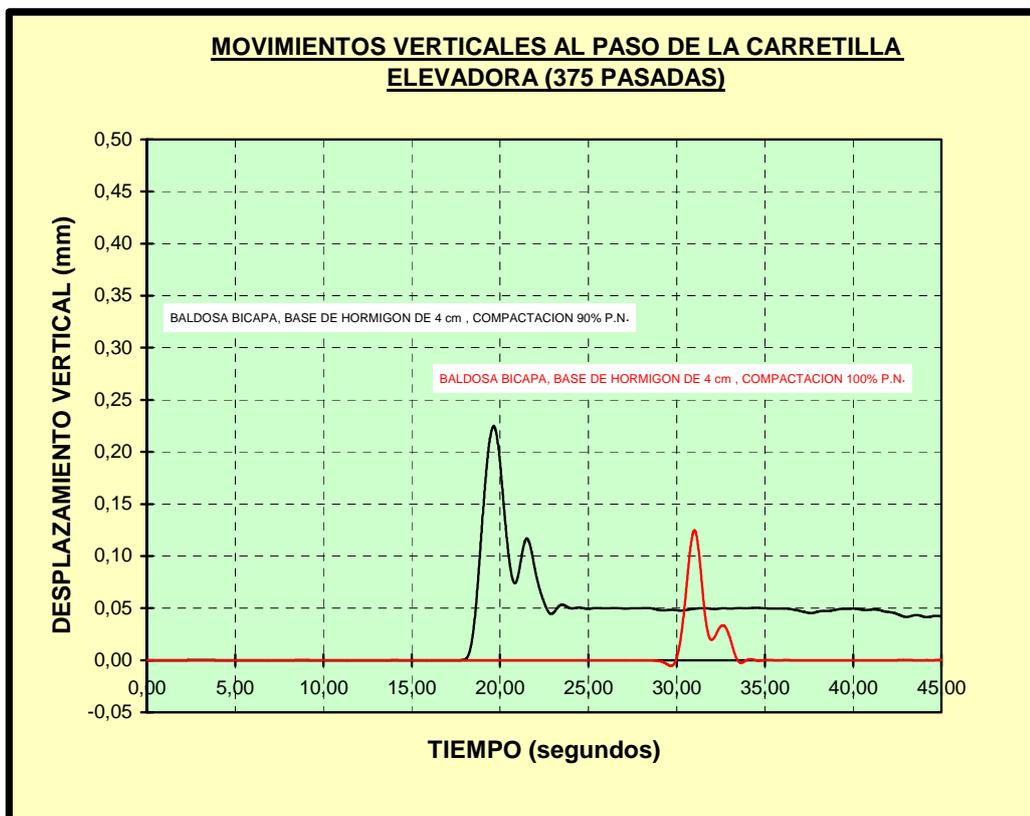
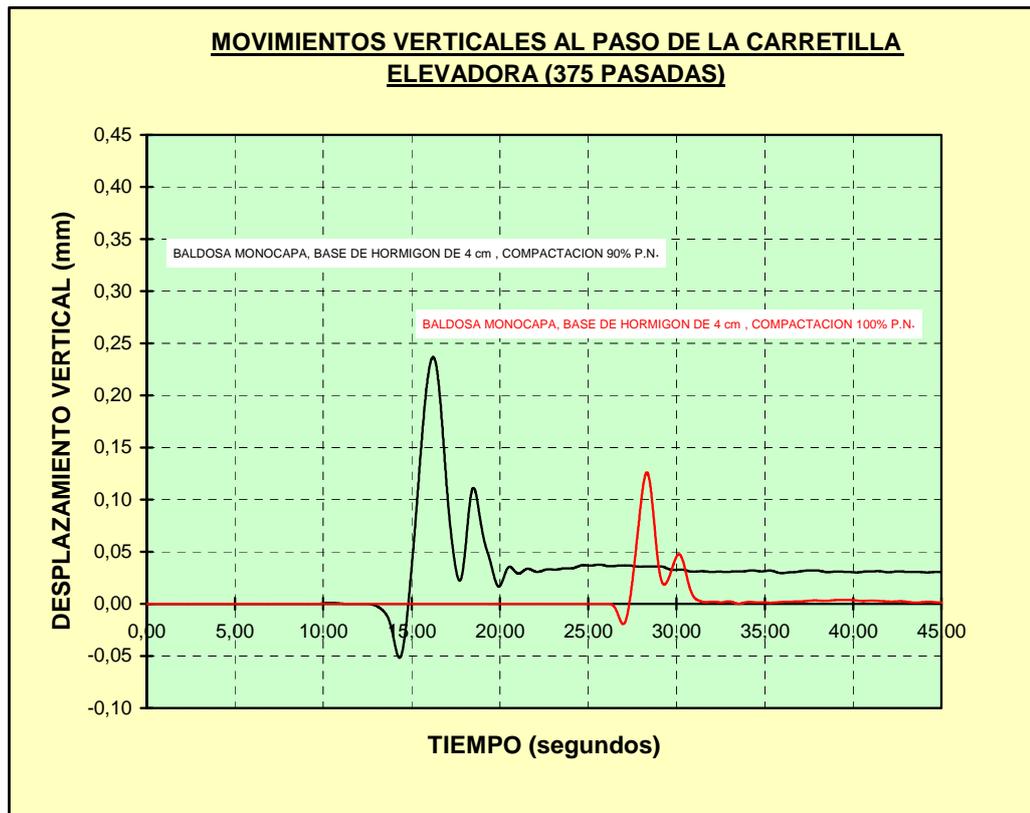
MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (0 PASADAS)
BALDOSA DE TERRAZO



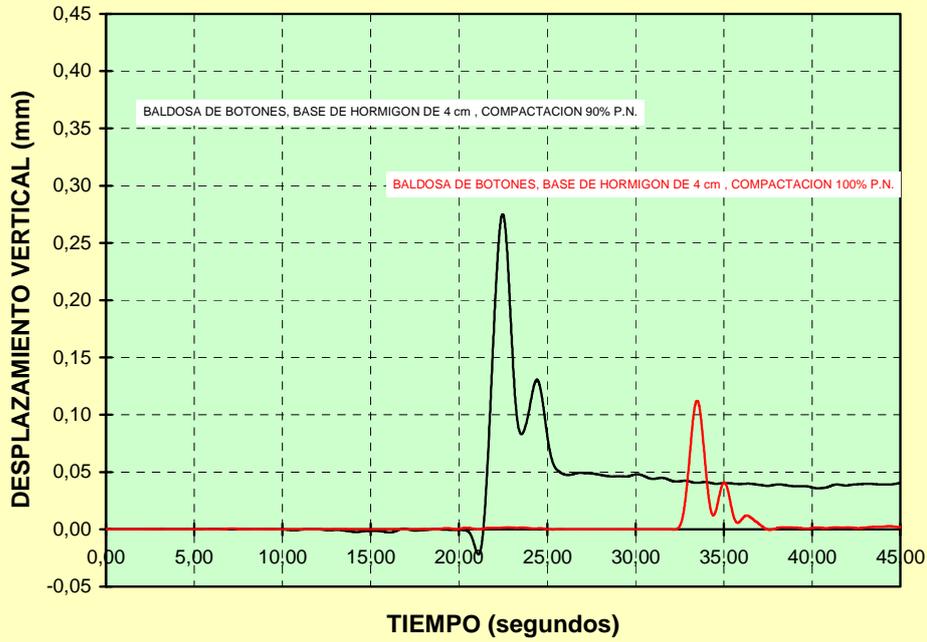
**GRÁFICOS 375 PASADAS DE CARRETILLA
MOVIMIENTOS AL PASO DE UNA CARRETILLA CARGADA**

**GRÁFICOS COMBINANDO MISMO TIPO DE
BALDOSA DISTINTO TIPO DE COMPACTACIÓN Y DISTINTO TIPO
ESPESOR DE LOSA**

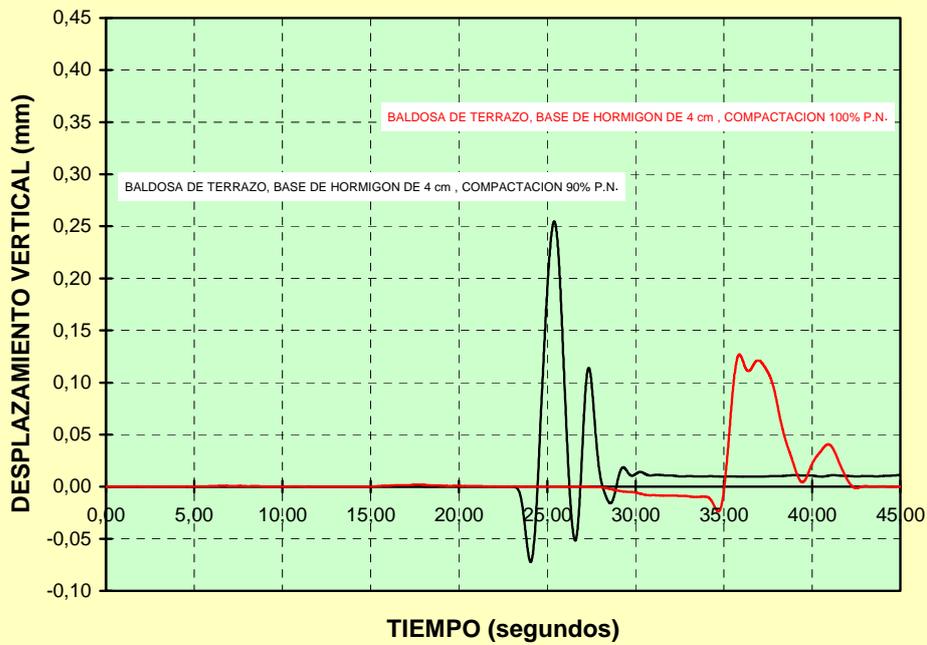
NOTA: El origen de tiempos del eje x de las diagramas que a continuación se muestran corresponde al momento en que se ordena que la carretilla entre en la "losa de ensayo". Obviamente la "flecha" máxima se obtiene simultáneamente sólo en aquellos módulos que se encuentran a igual distancia del borde de la losa. Se recuerda que se construyeron en paralelo siempre con el mismo tipo de baldosa pero diferente espesor de losa.

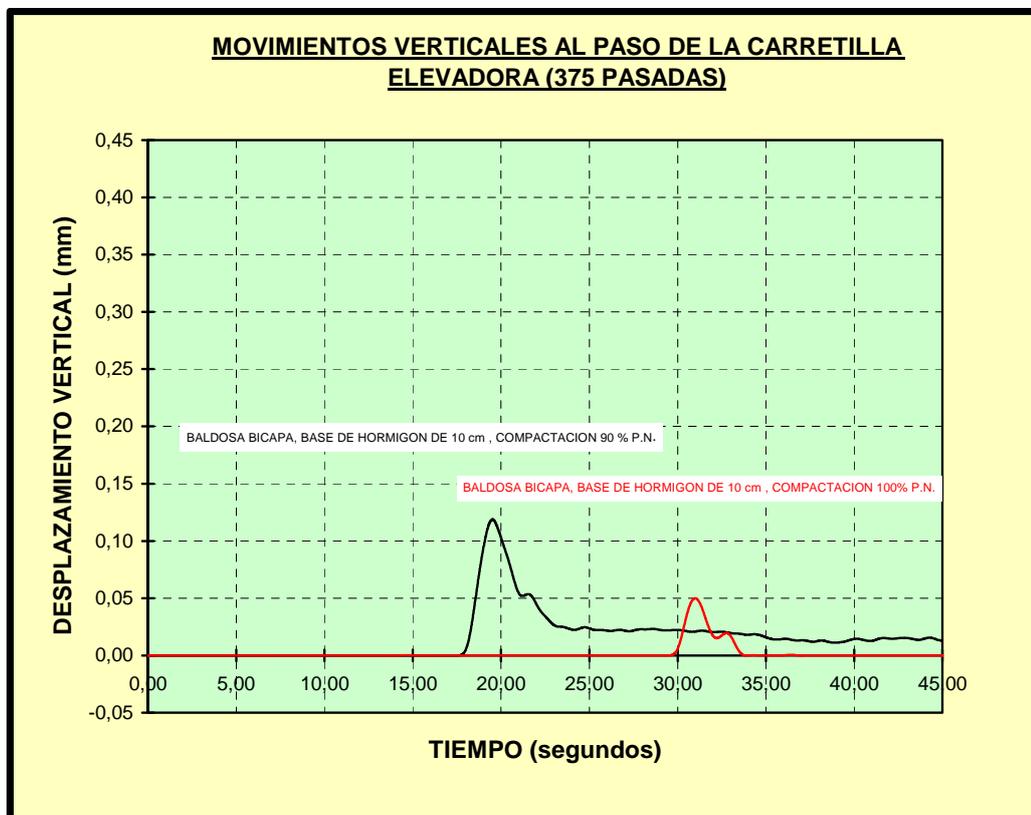
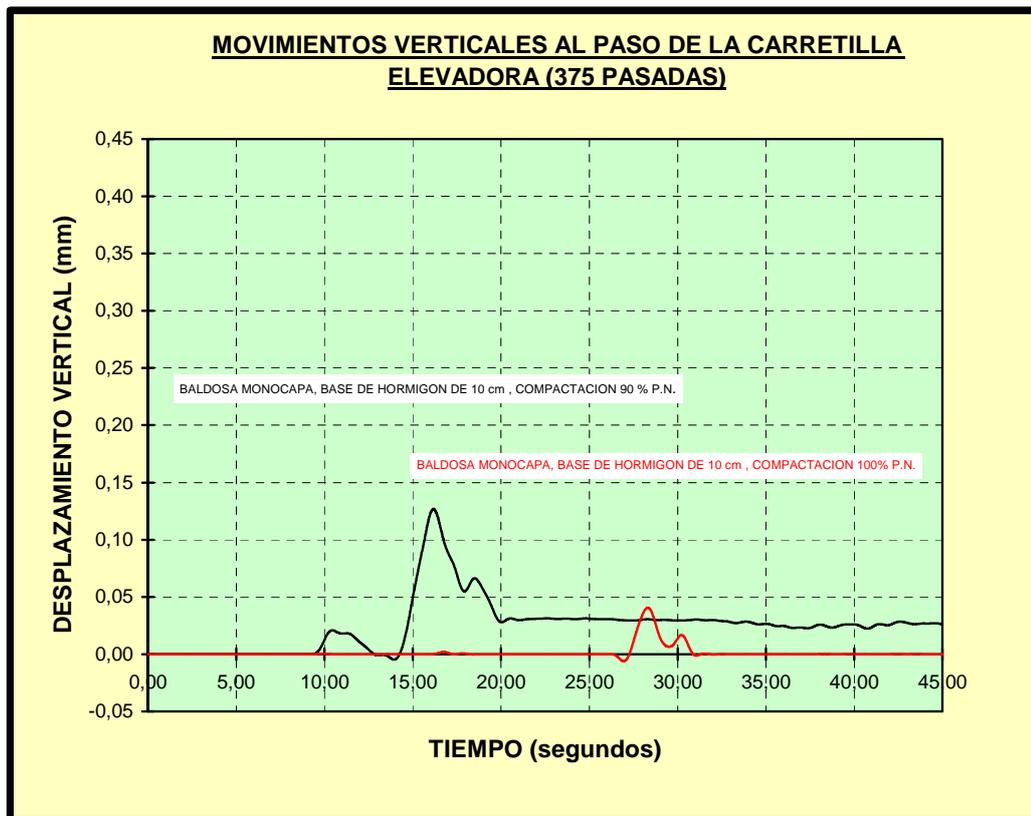


**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA
ELEVADORA (375 PASADAS)**

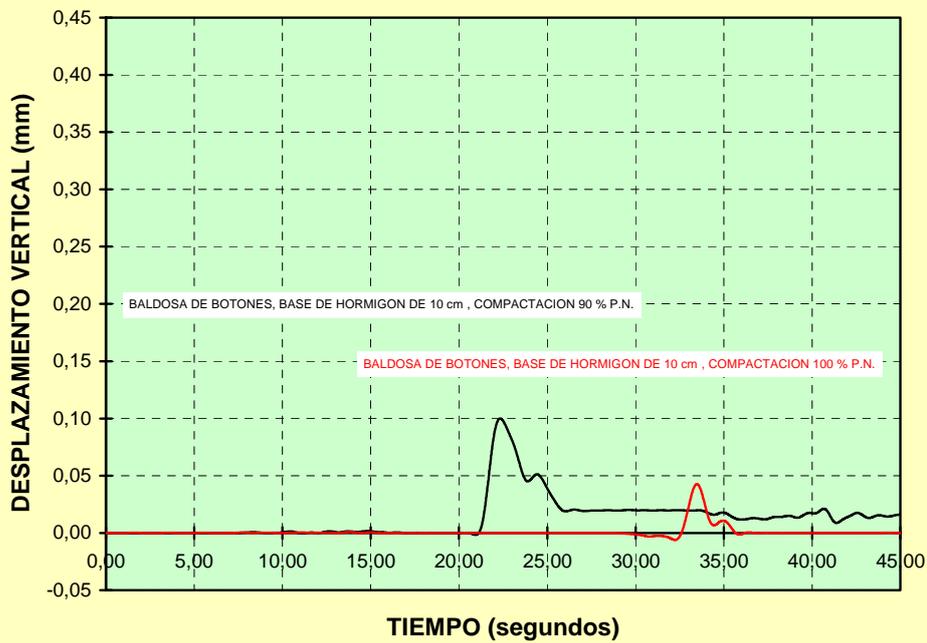


**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA
ELEVADORA (375 PASADAS)**

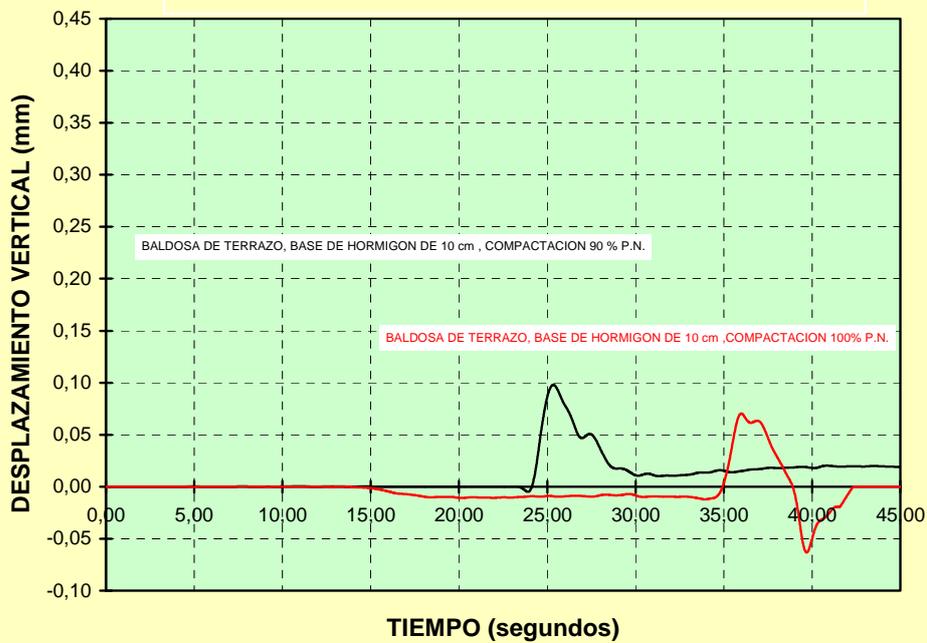


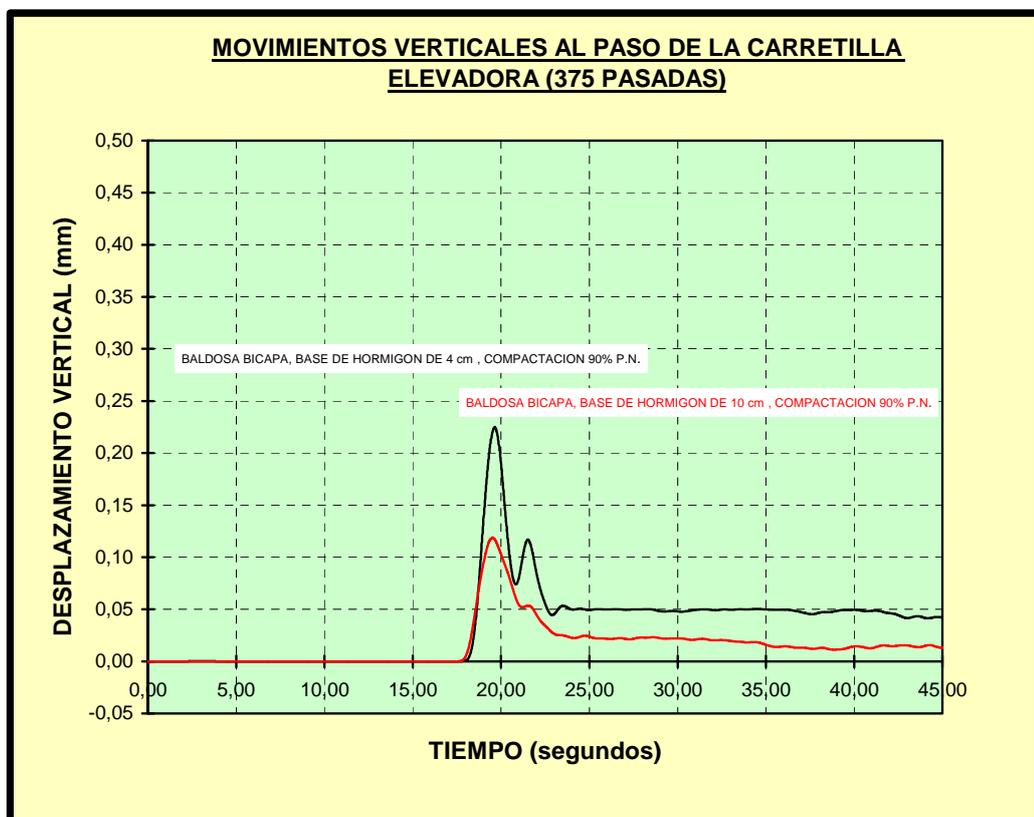
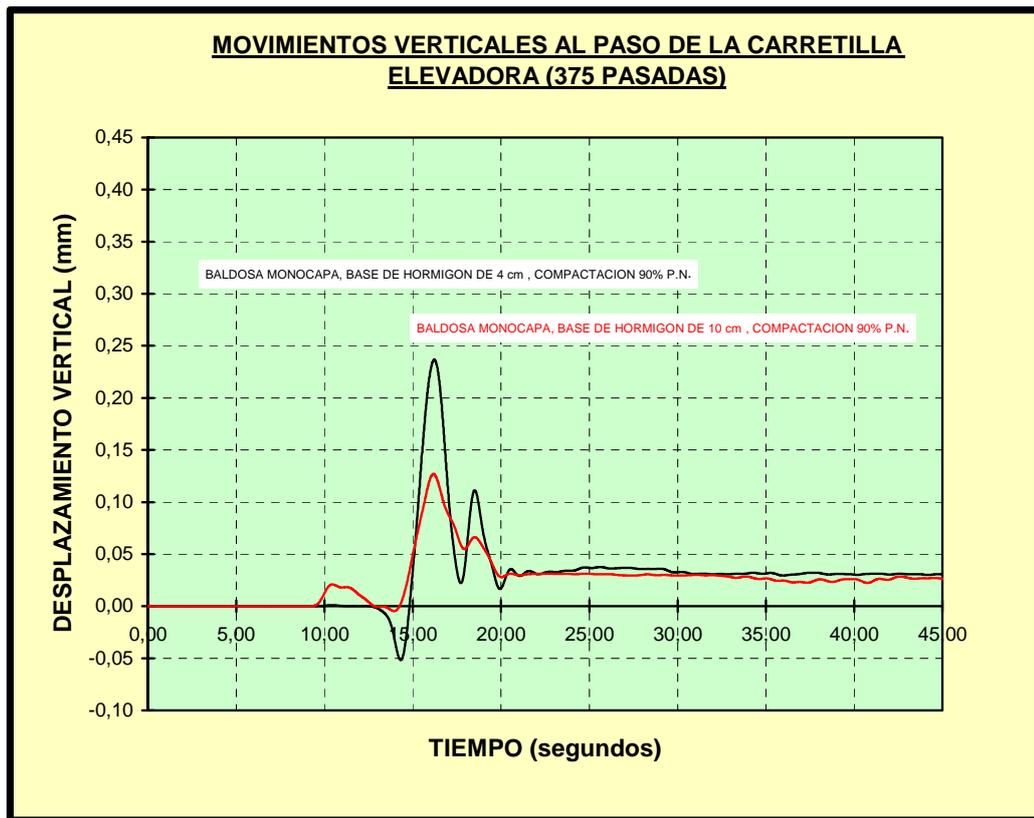


**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA
ELEVADORA (375 PASADAS)**

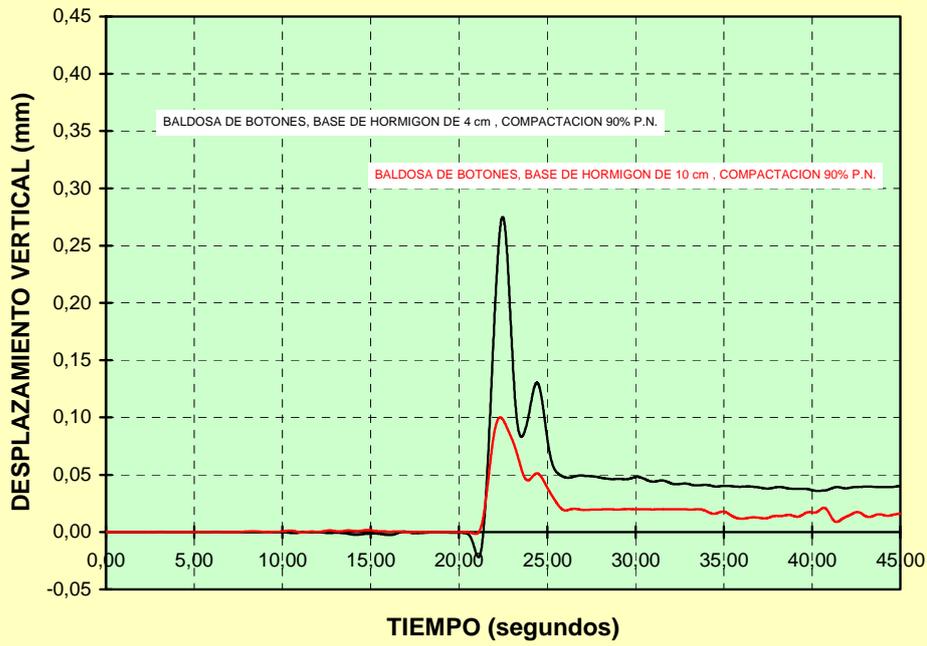


**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA
ELEVADORA (375 PASADAS)**

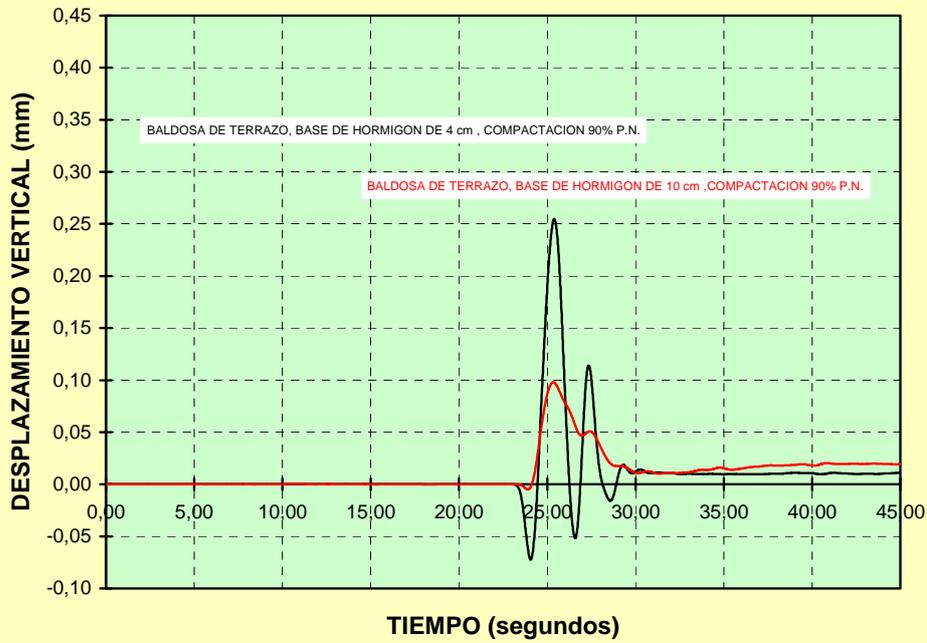


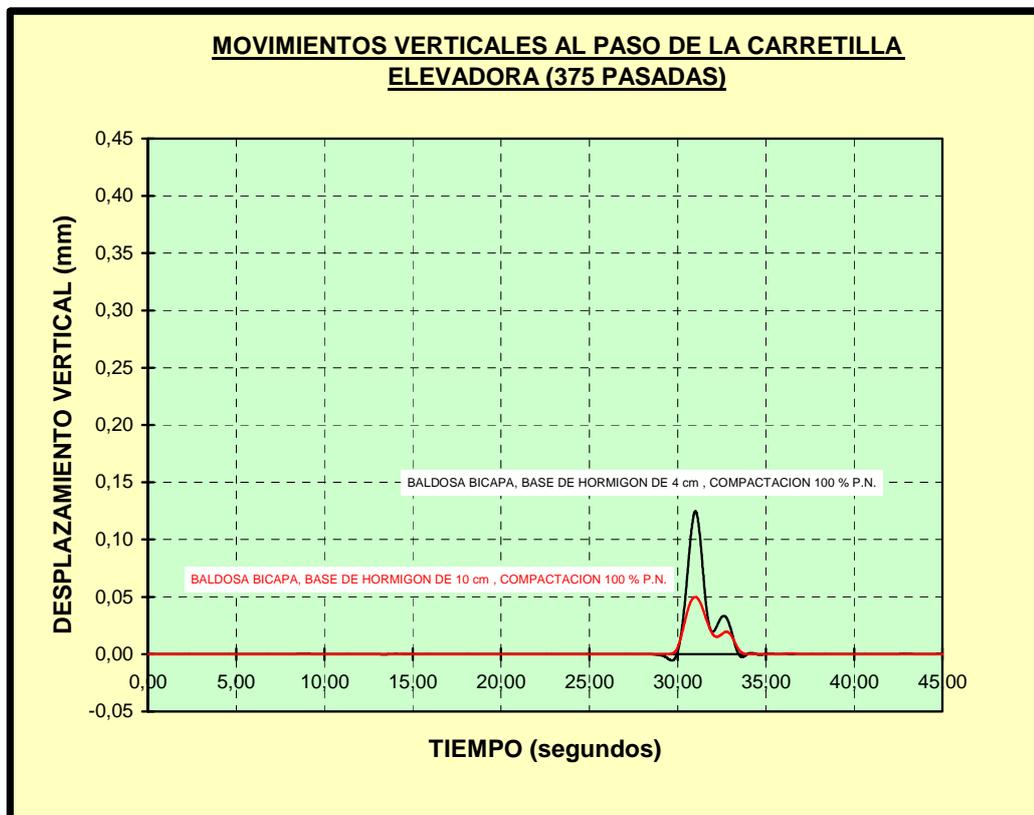
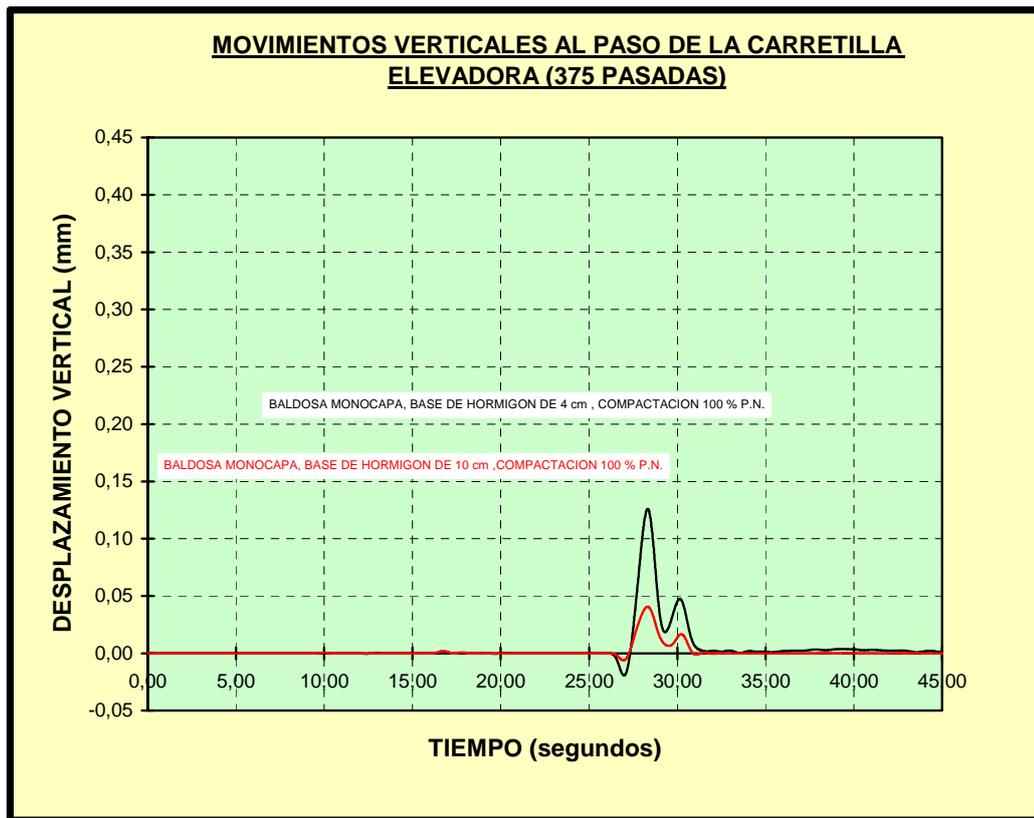


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (375 PASADAS)

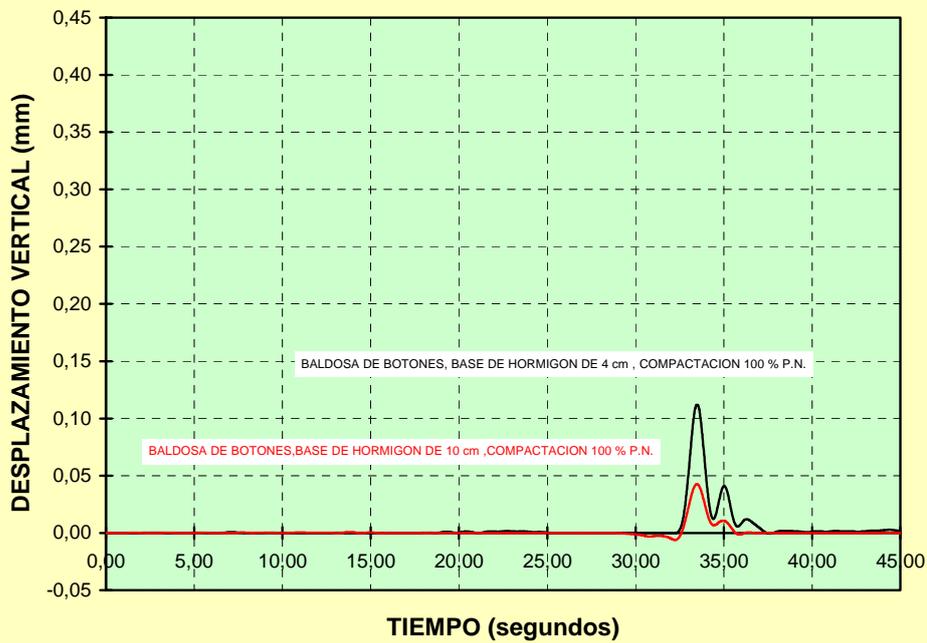


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (375 PASADAS)

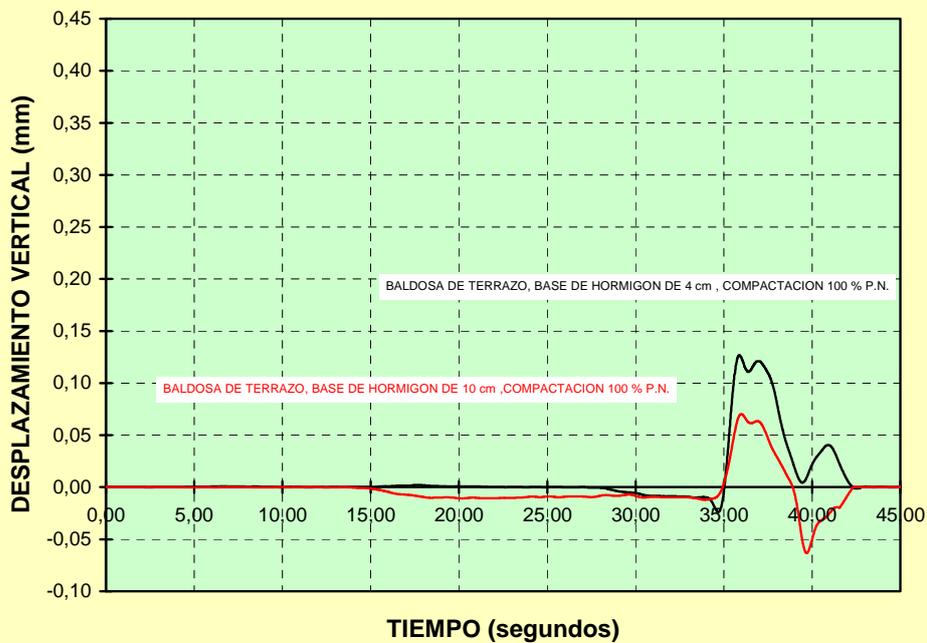


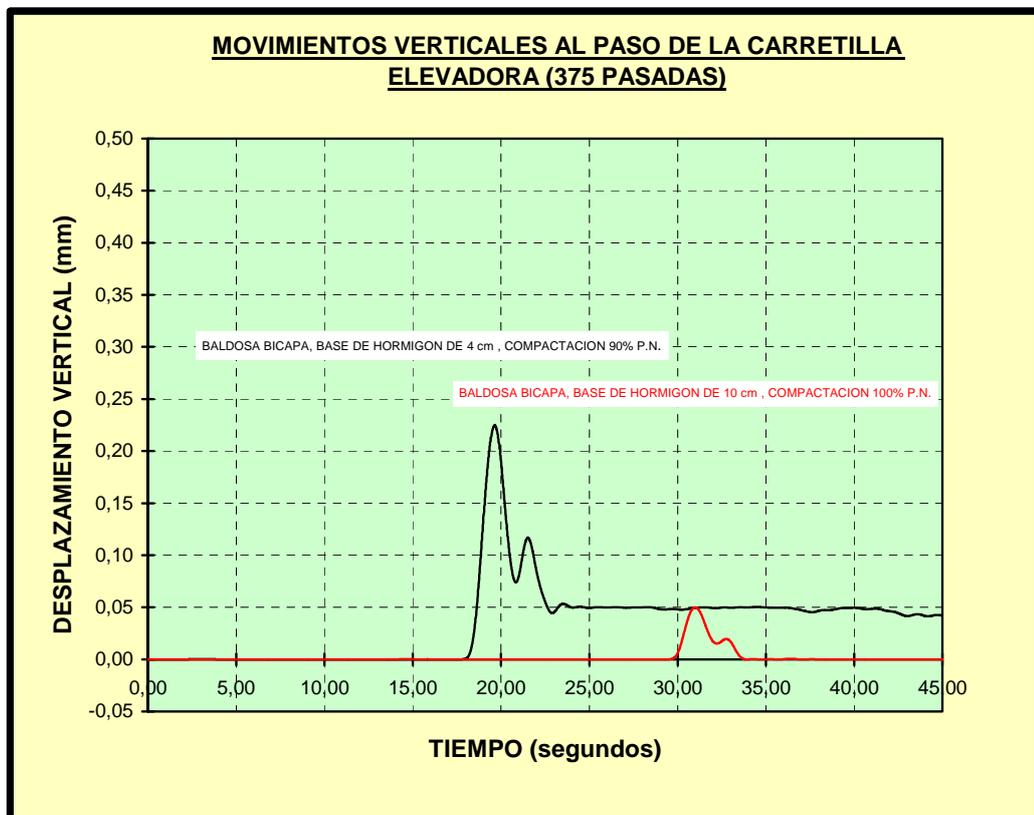
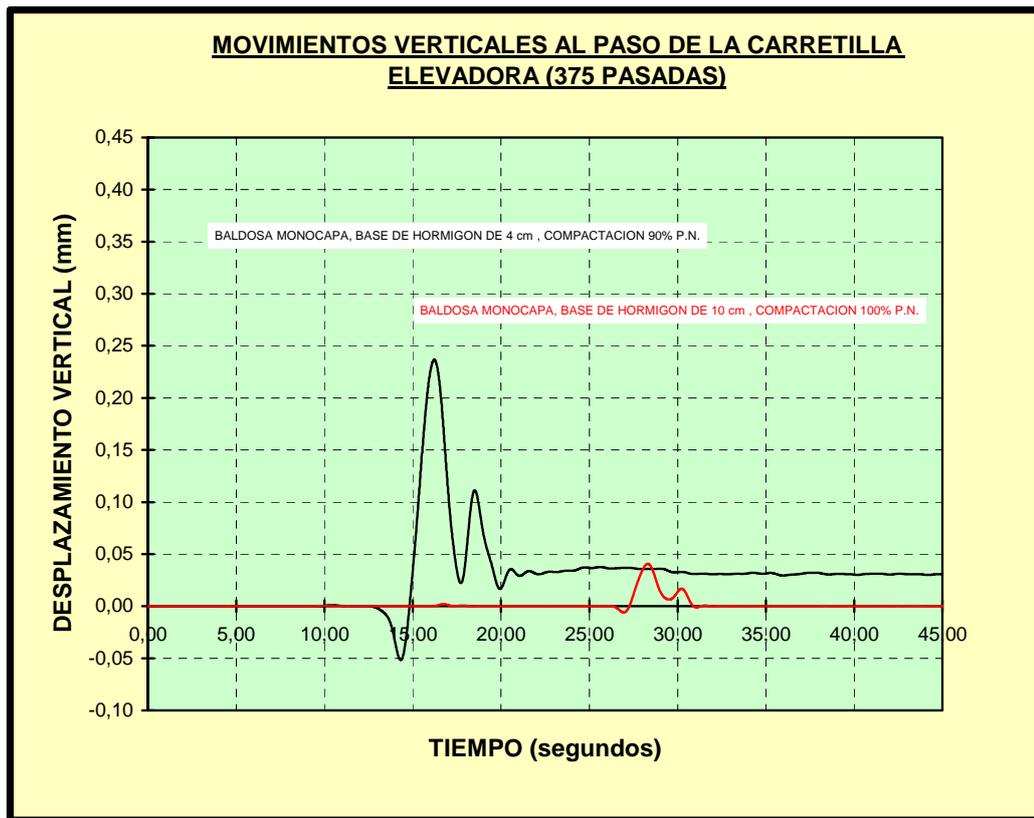


**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA
ELEVADORA (375 PASADAS)**

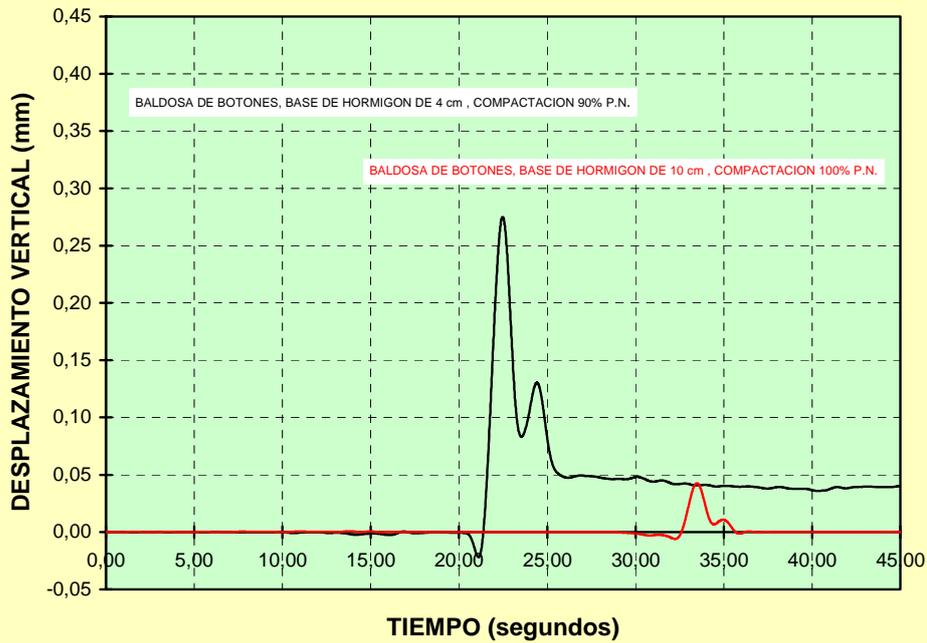


**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA
ELEVADORA (375 PASADAS)**

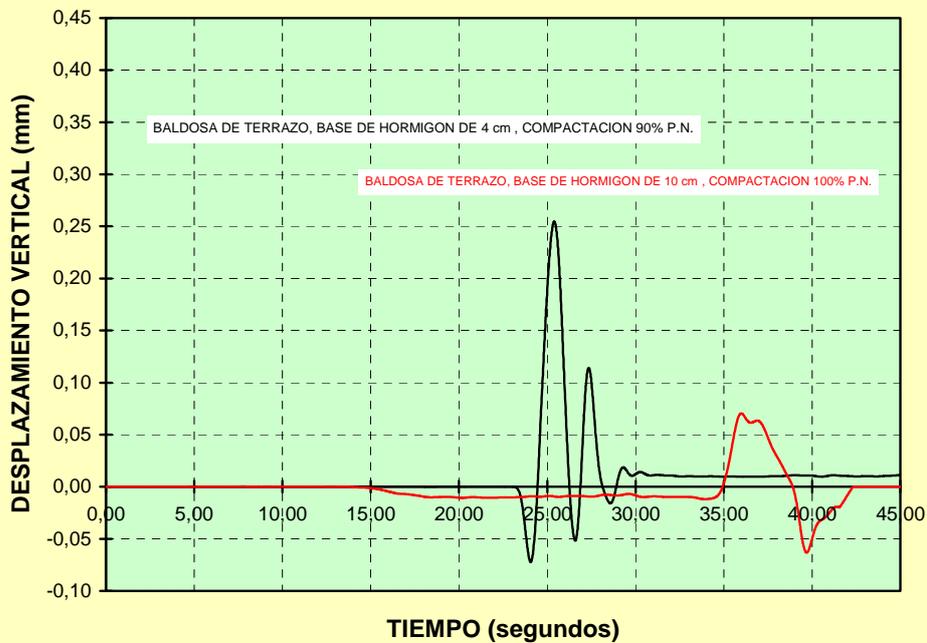


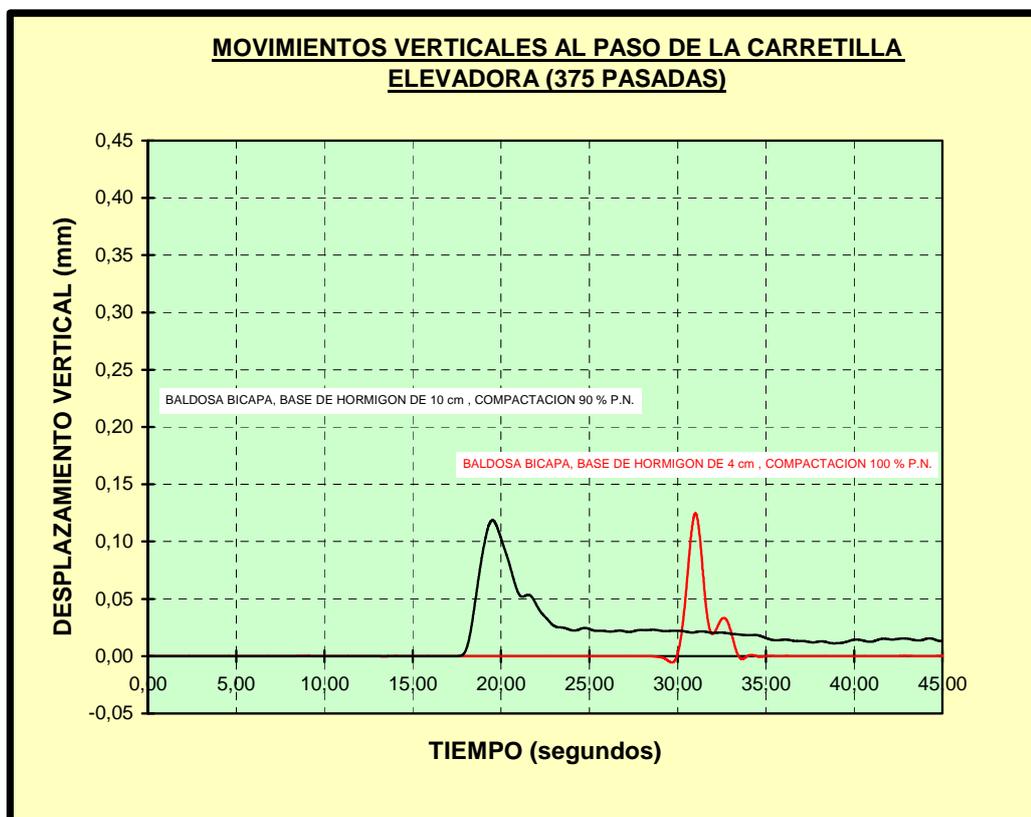
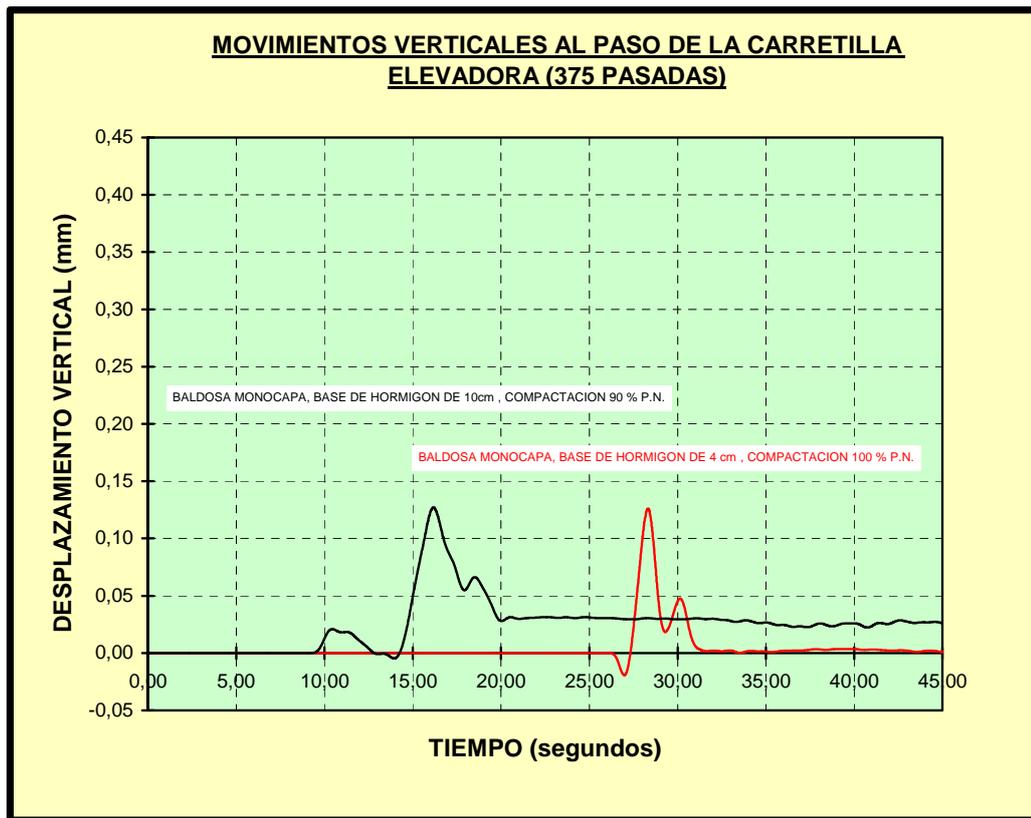


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (375 PASADAS)

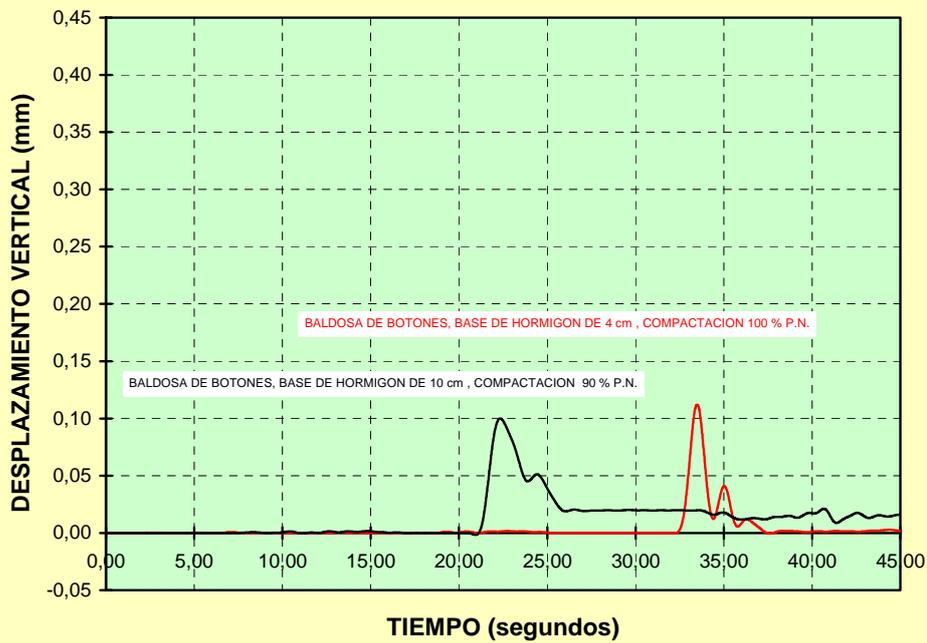


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (375 PASADAS)

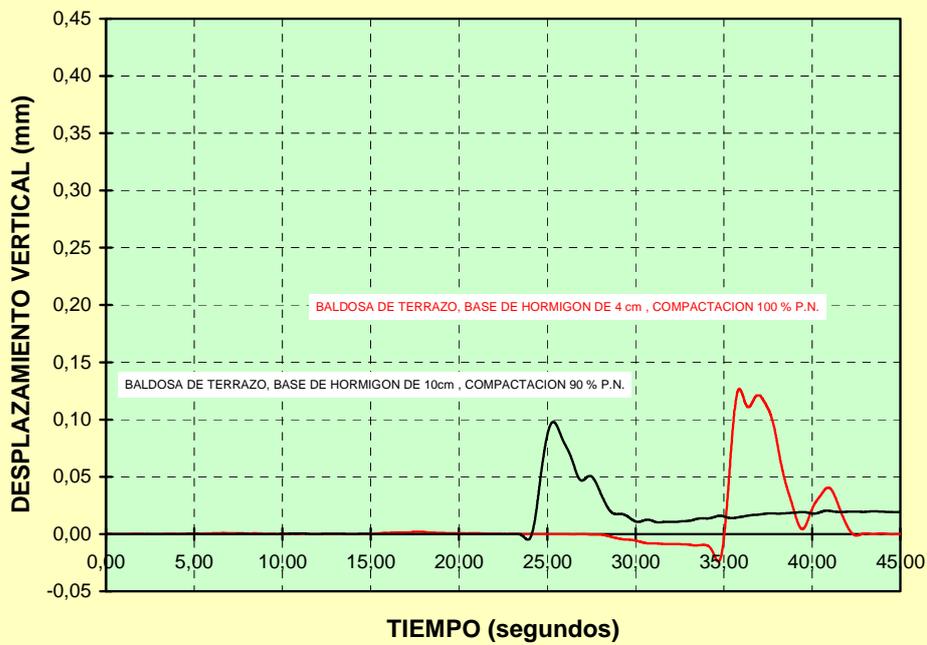


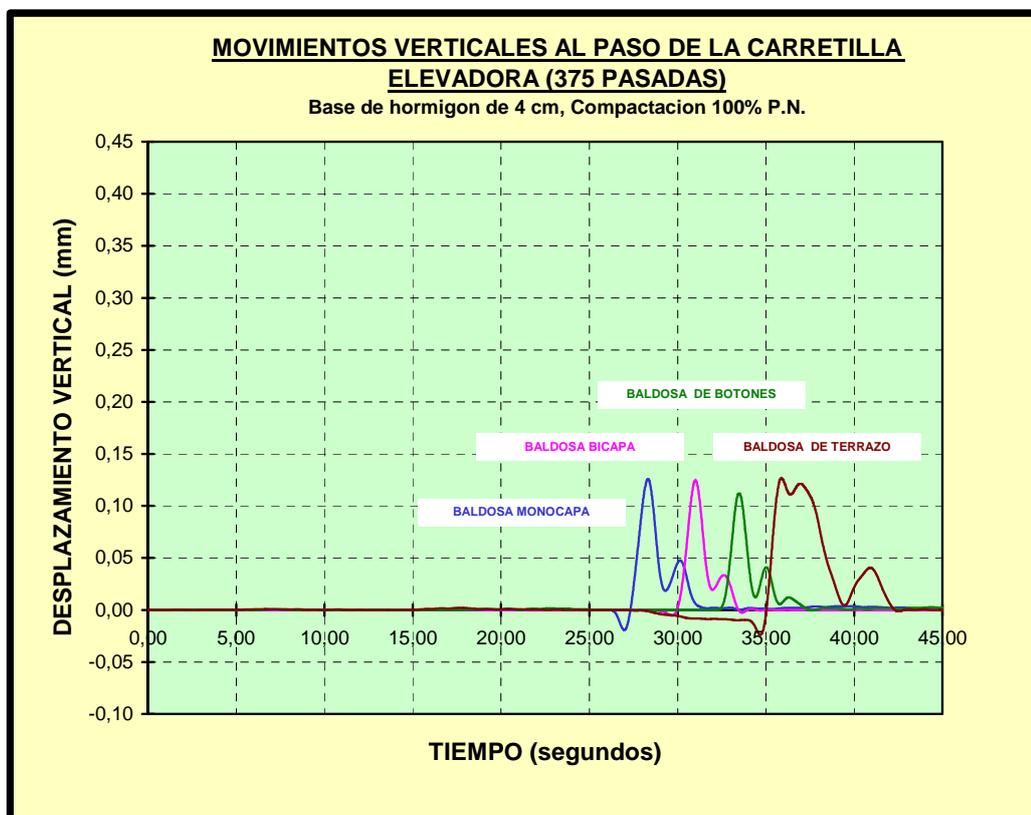
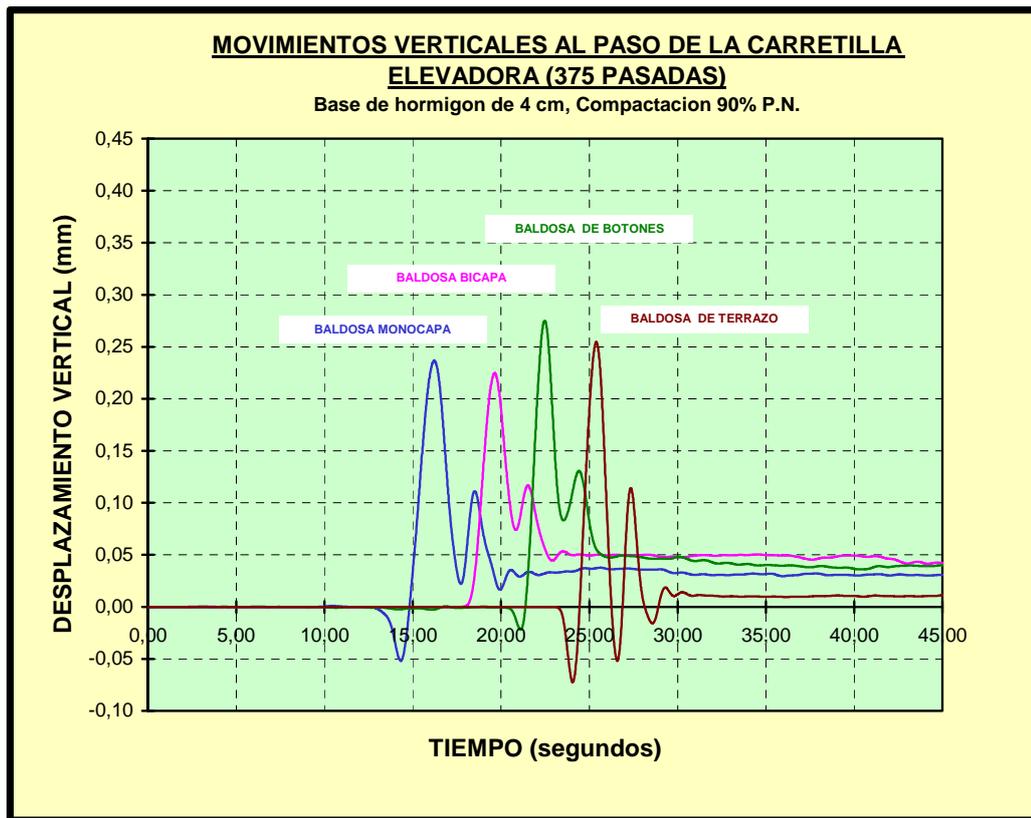


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (375 PASADAS)



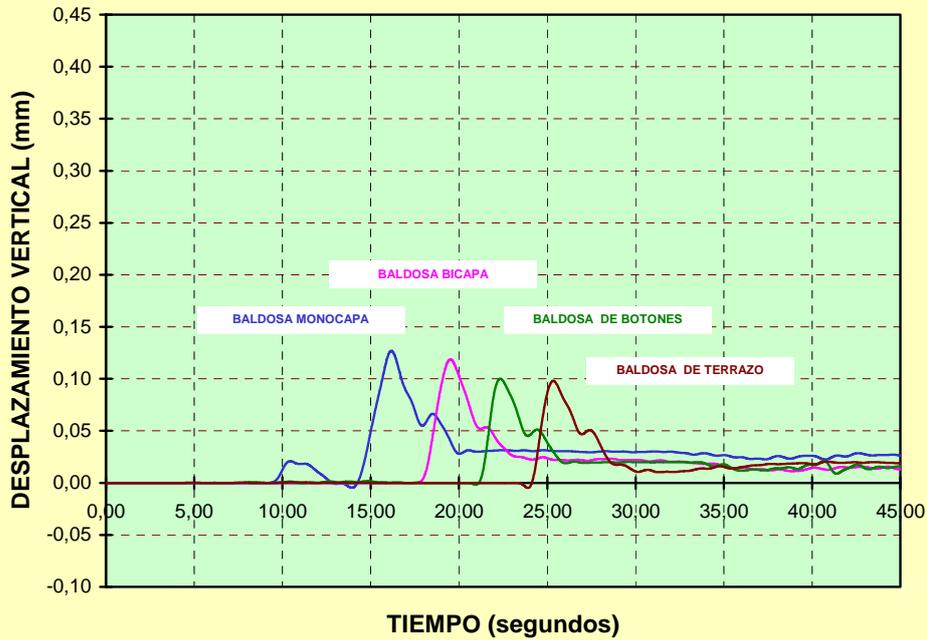
MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (375 PASADAS)





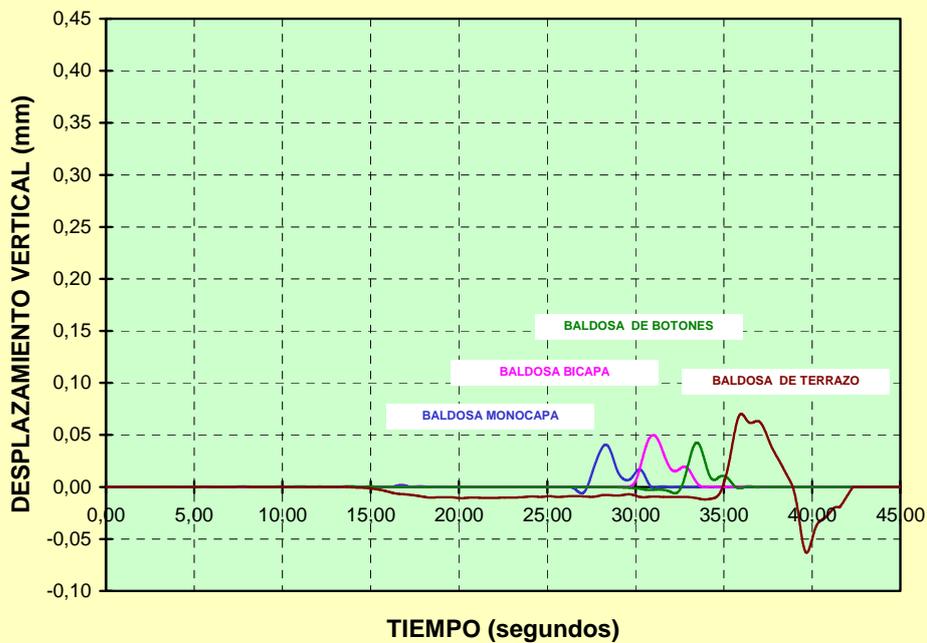
**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA
ELEVADORA (375 PASADAS)**

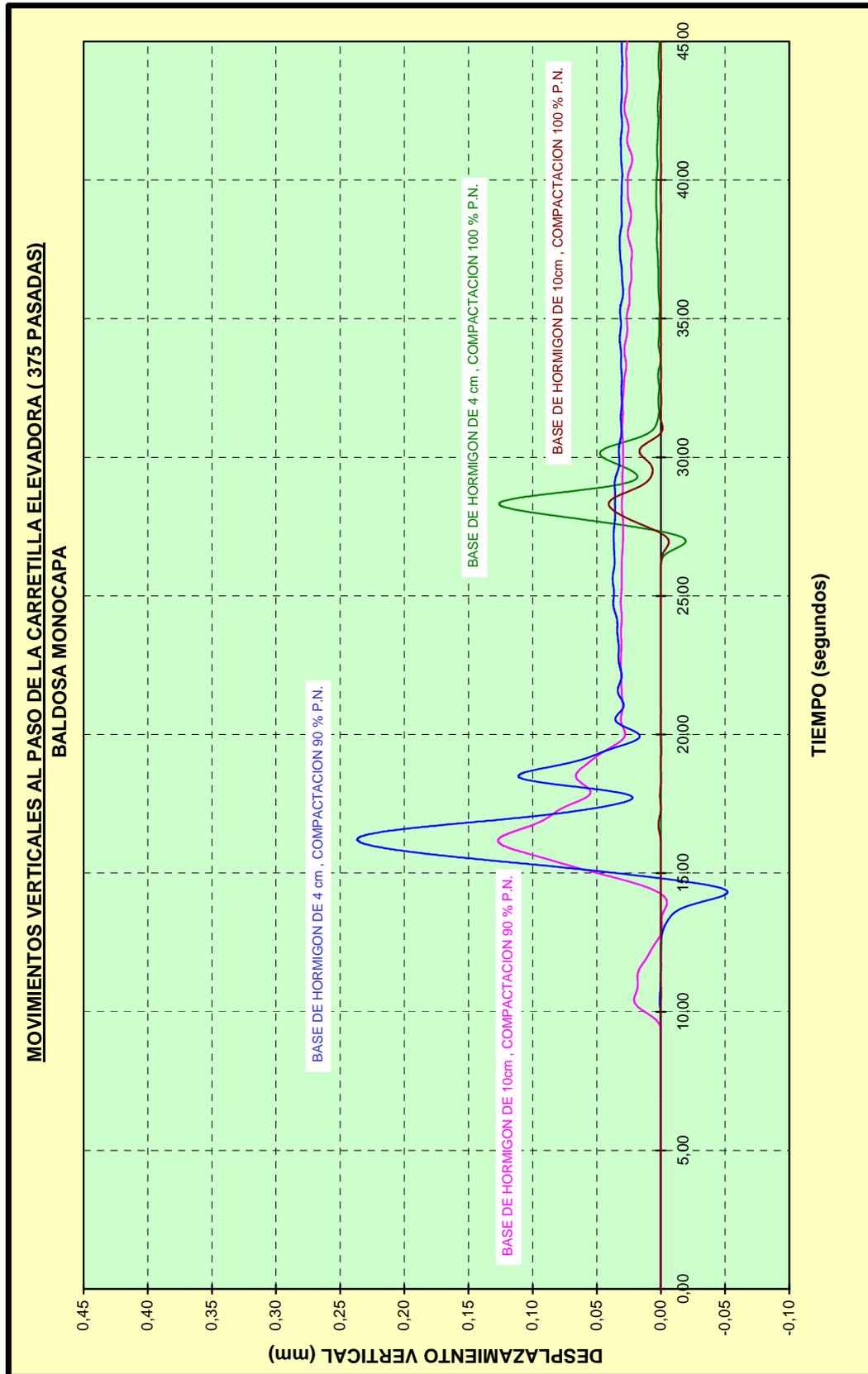
Base de hormigon de 10 cm, Compactacion 90% P.N.



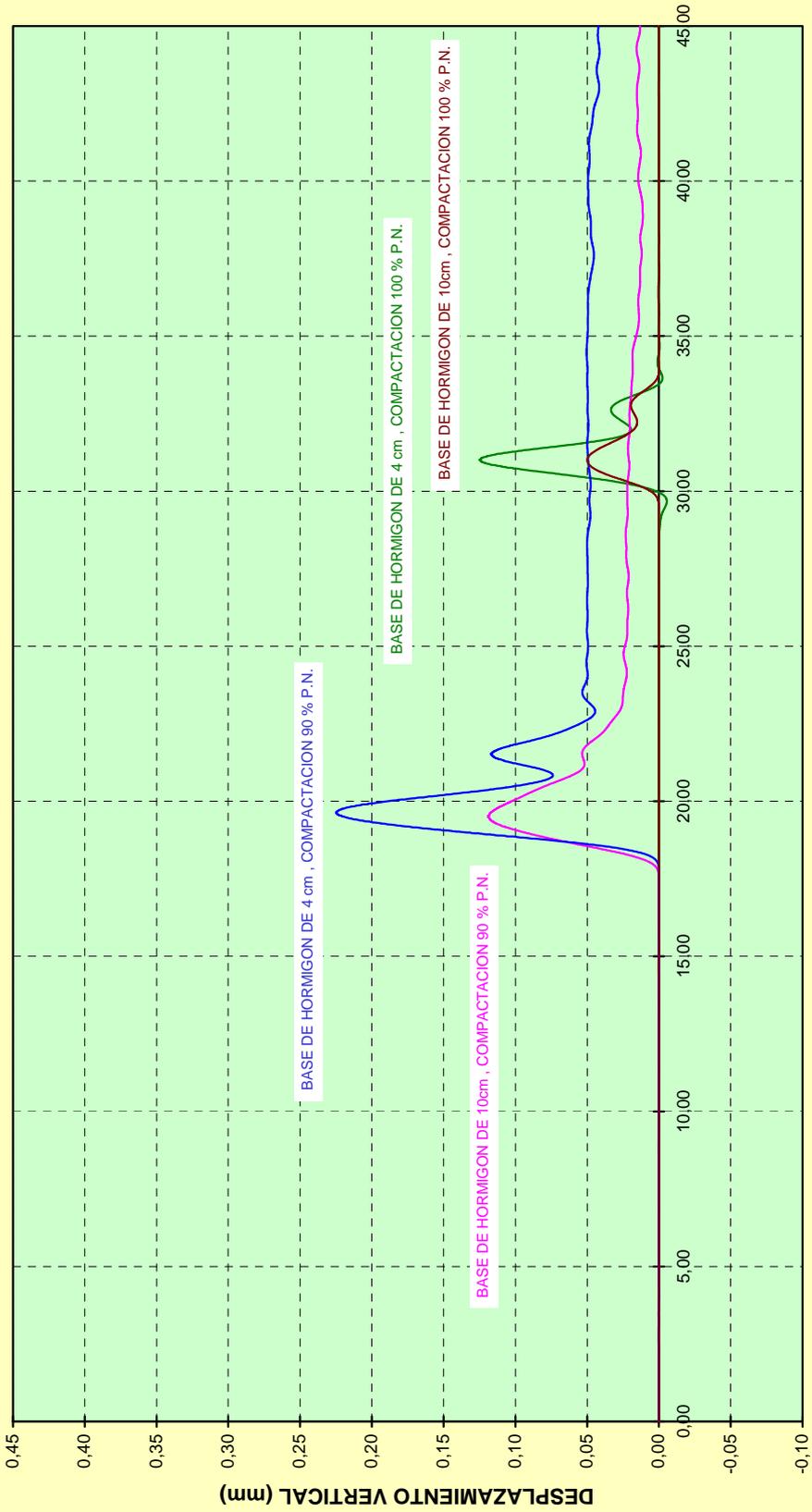
**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA
ELEVADORA (375 PASADAS)**

Base de hormigon de 10 cm, Compactacion 100% P.N.

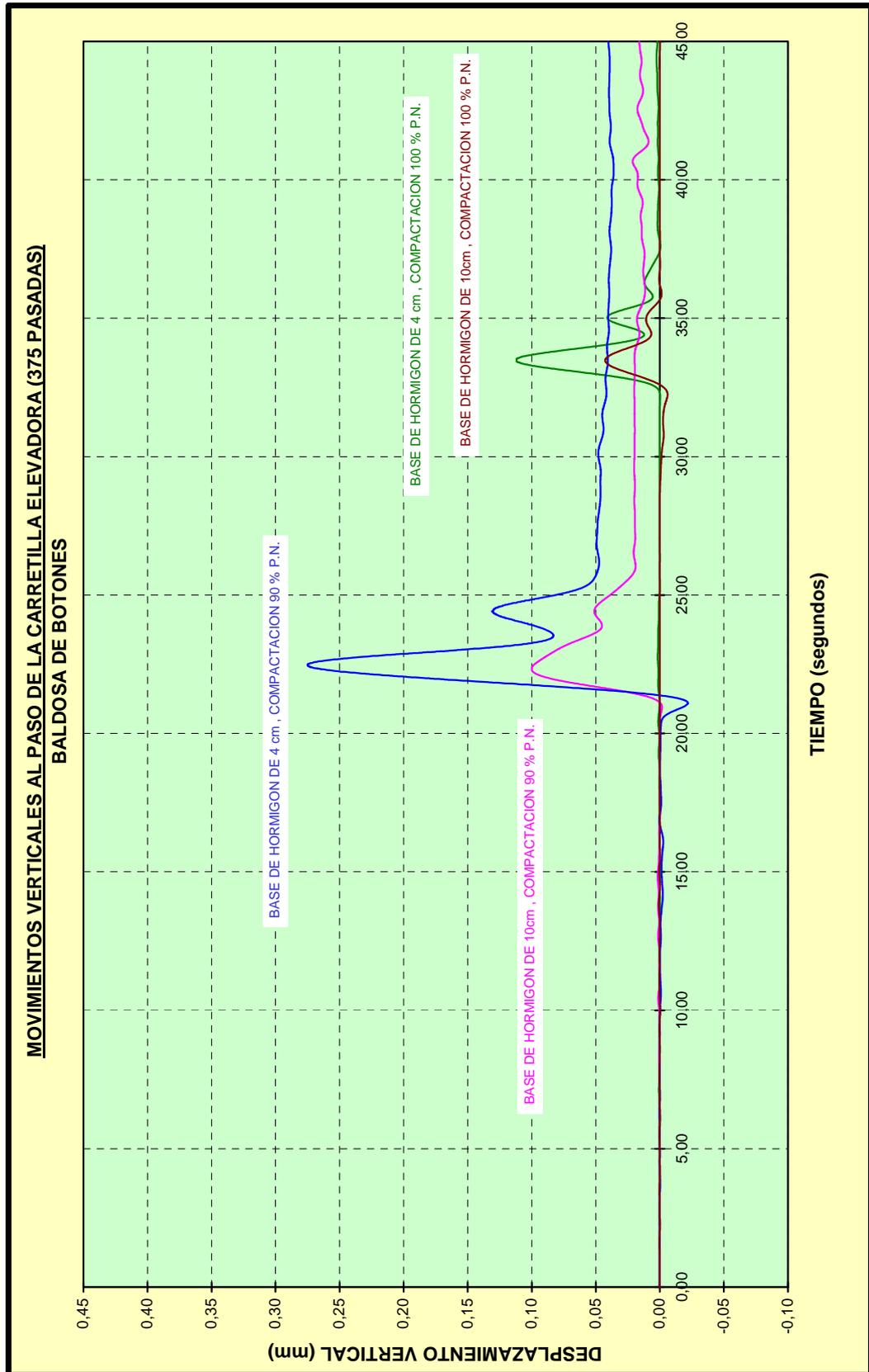




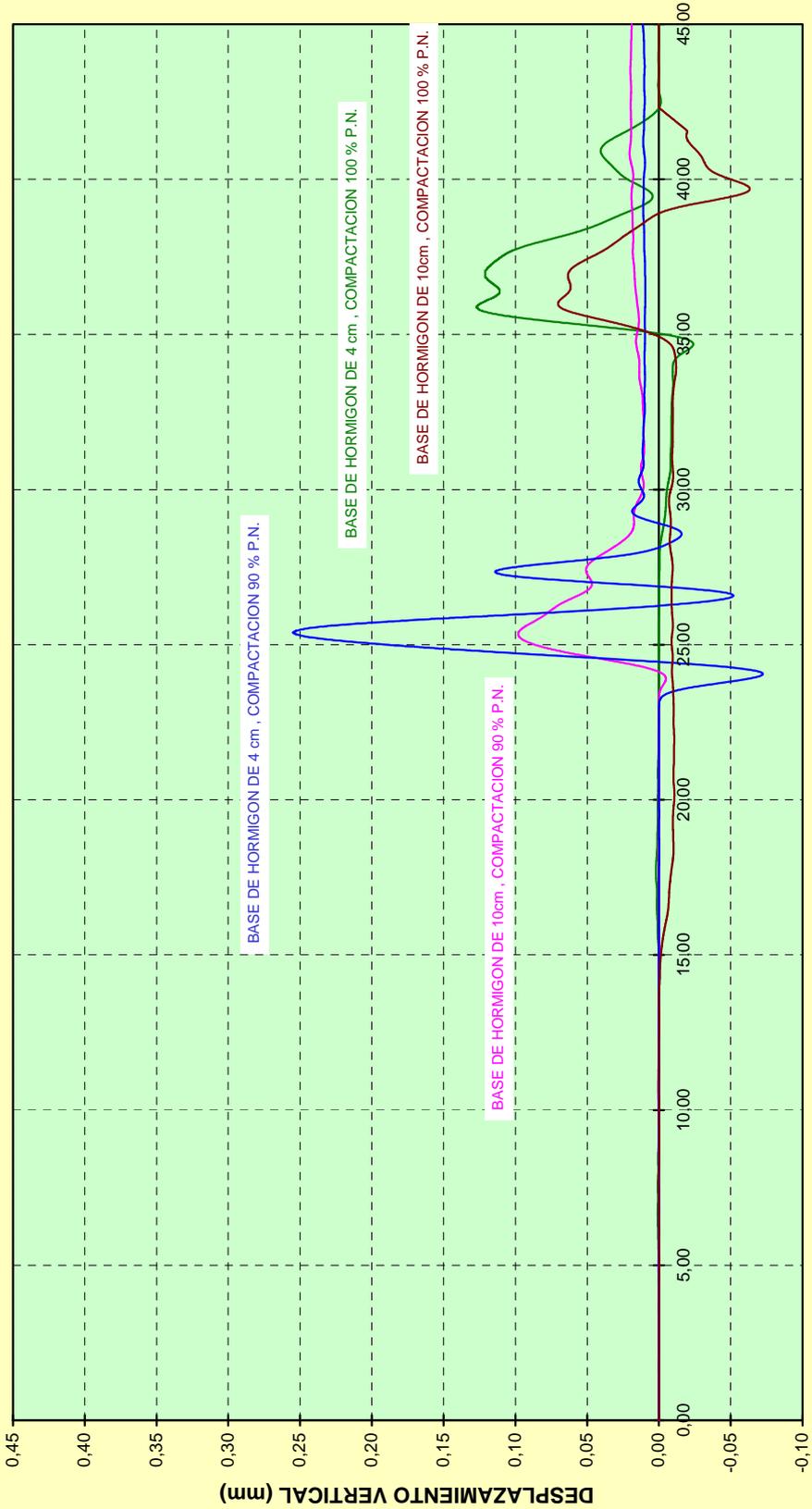
**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (375 PASADAS)
BALDOSA BICAPA**



TIEMPO (segundos)



**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (375 PASADAS)
BALDOSA DE TERRAZO**

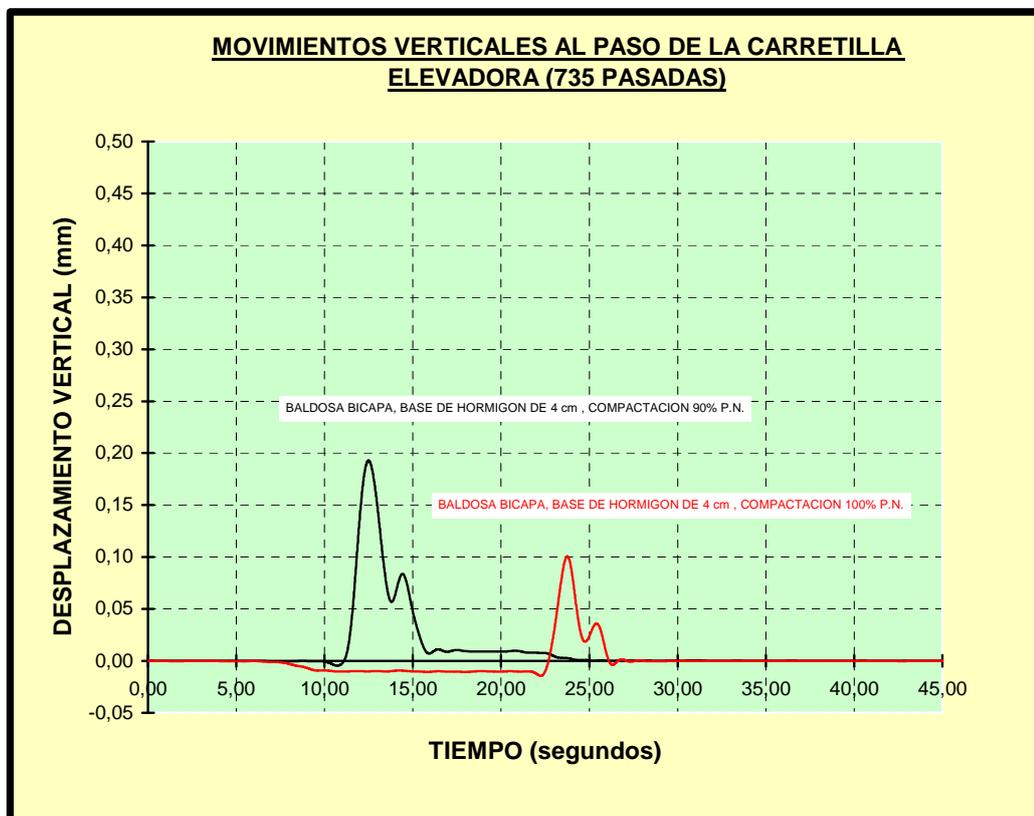
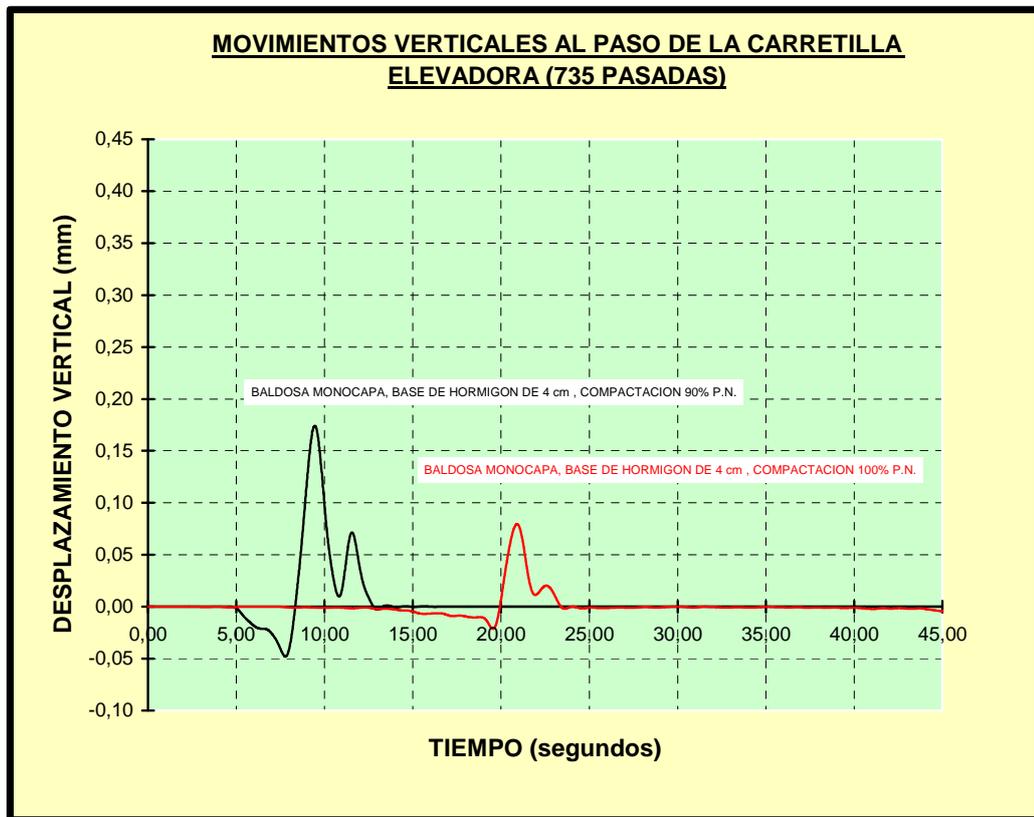


TIEMPO (segundos)

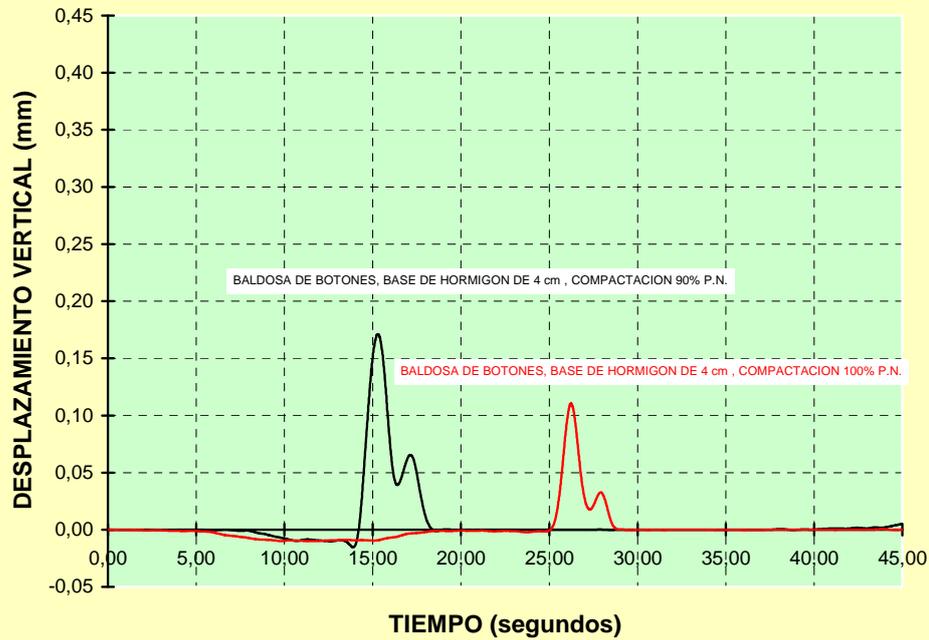
**GRÁFICOS 735 PASADAS DE CARRETILLA
MOVIMIENTOS AL PASO DE UNA CARRETILLA CARGADA**

**GRÁFICOS COMBINANDO MISMO TIPO DE
BALDOSA DISTINTO TIPO DE COMPACTACIÓN Y DISTINTO TIPO
ESPESOR DE LOSA**

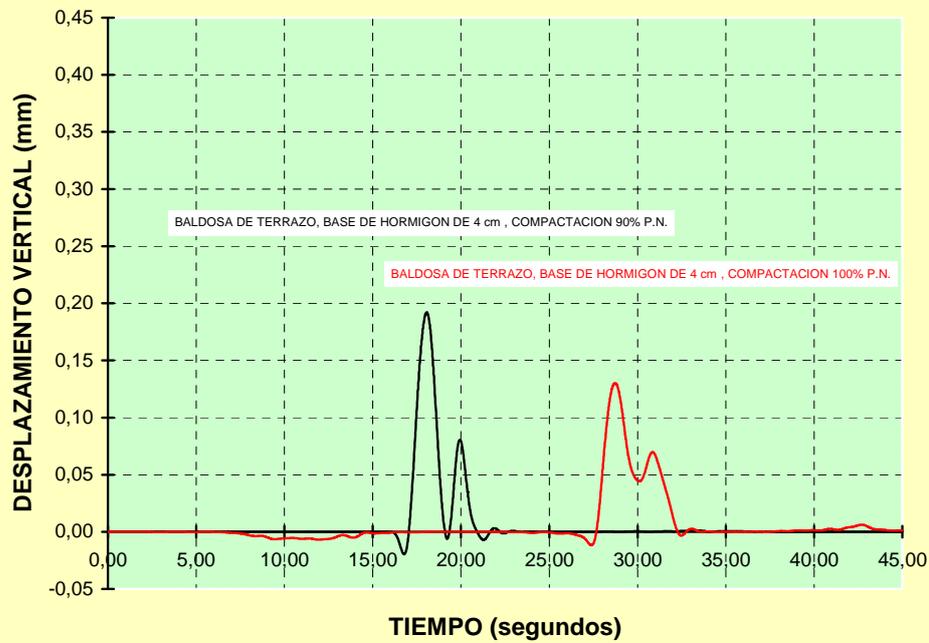
NOTA: El origen de tiempos del eje x de las diagramas que a continuación se muestran corresponde al momento en que se ordena que la carretilla entre en la "losa de ensayo". Obviamente la "flecha" máxima se obtiene simultáneamente sólo en aquellos módulos que se encuentran a igual distancia del borde de la losa. Se recuerda que se construyeron en paralelo siempre con el mismo tipo de baldosa pero diferente espesor de losa.

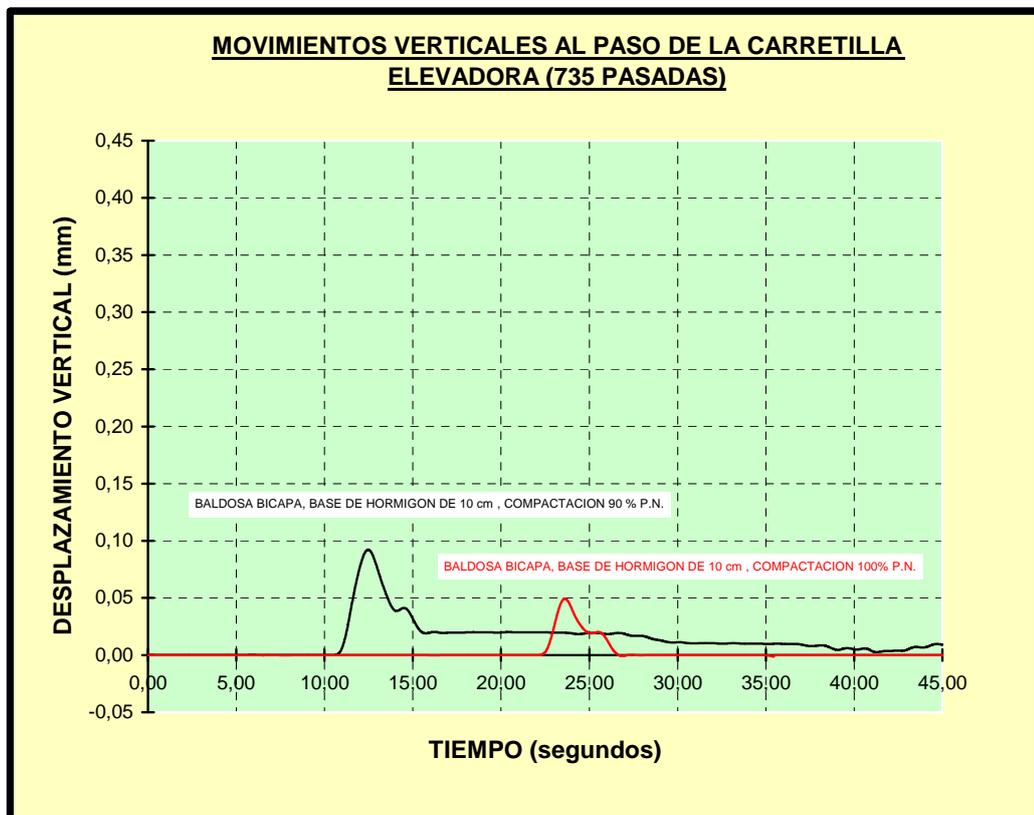
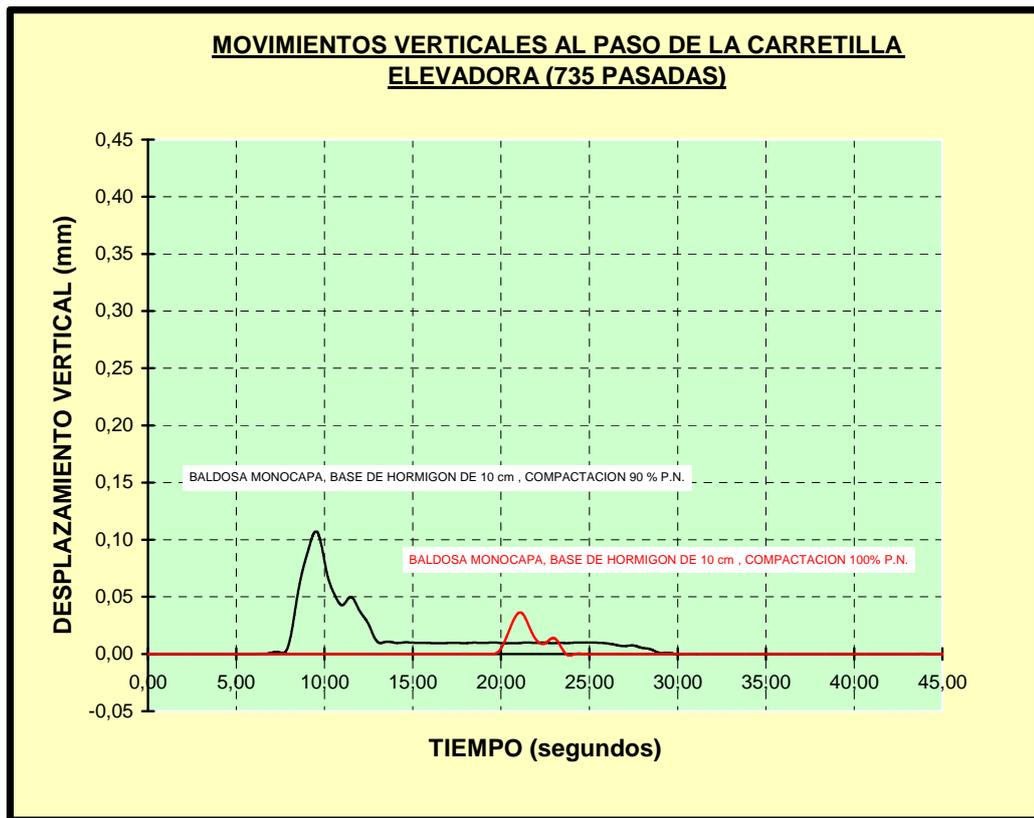


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (735 PASADAS)

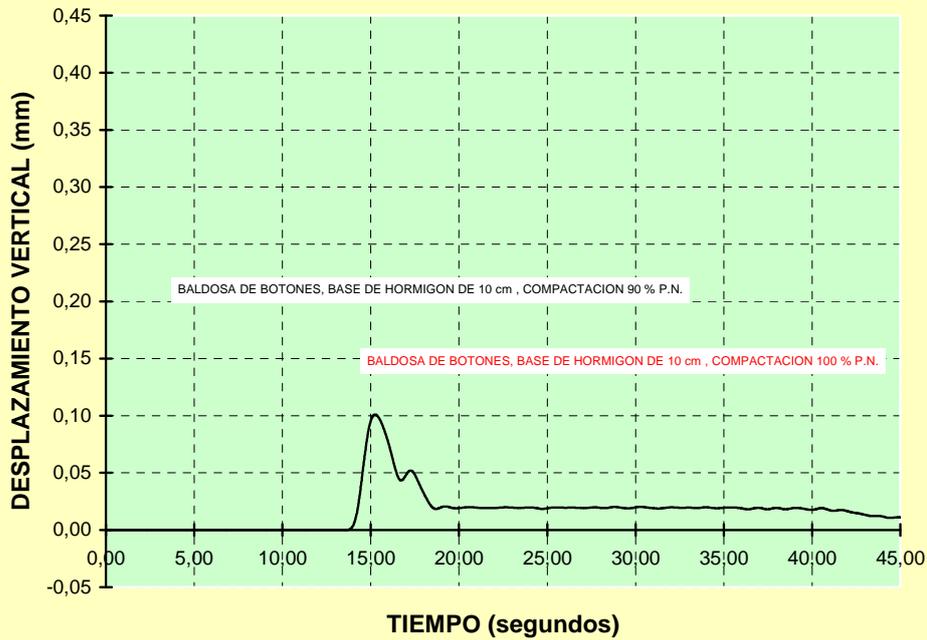


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (735 PASADAS)

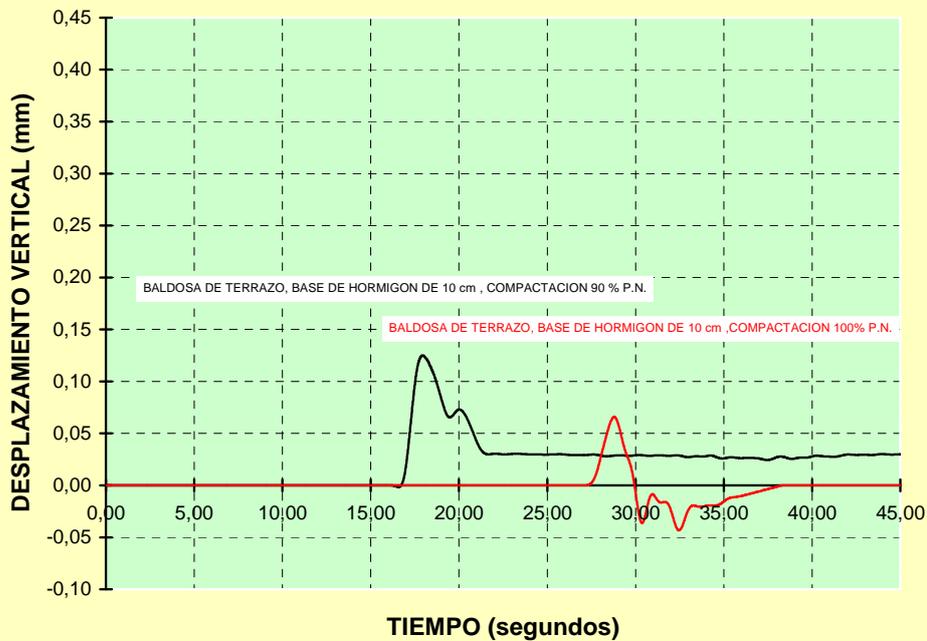


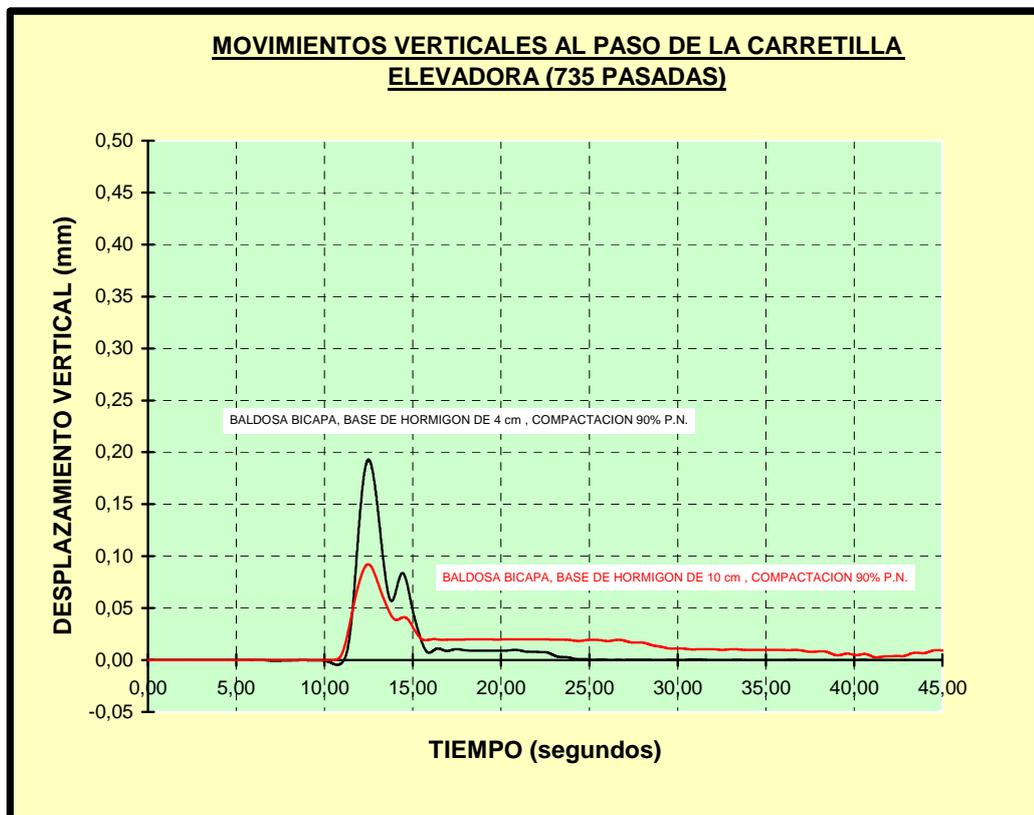
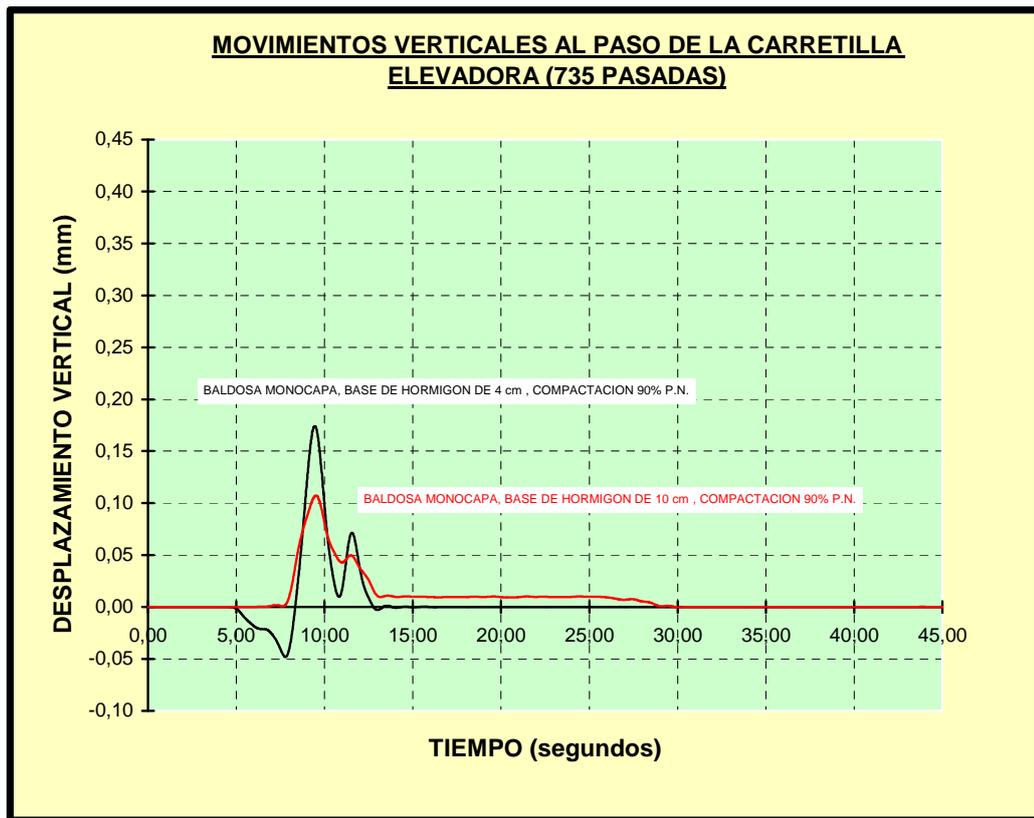


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (735 PASADAS)

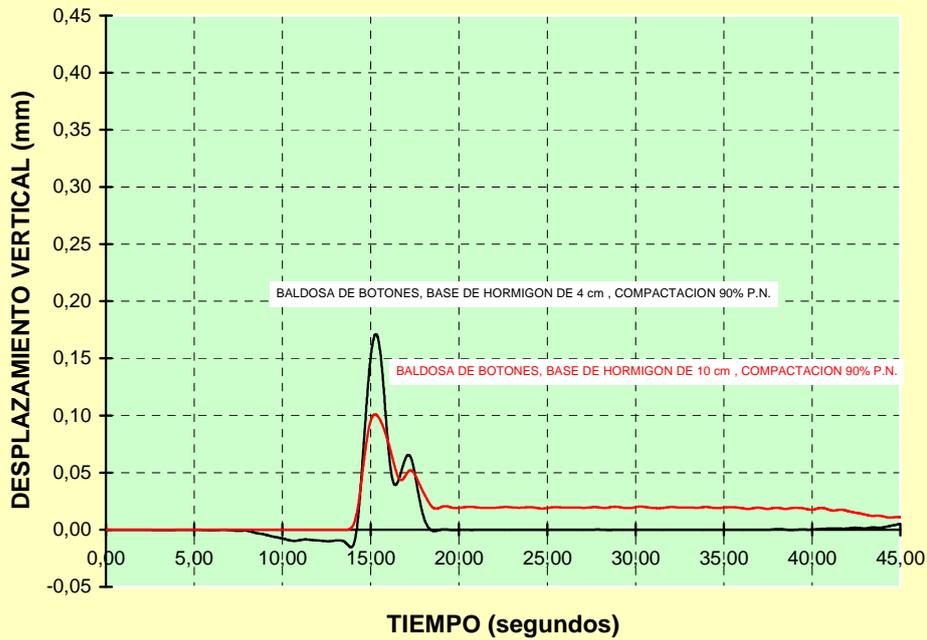


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (735 PASADAS)

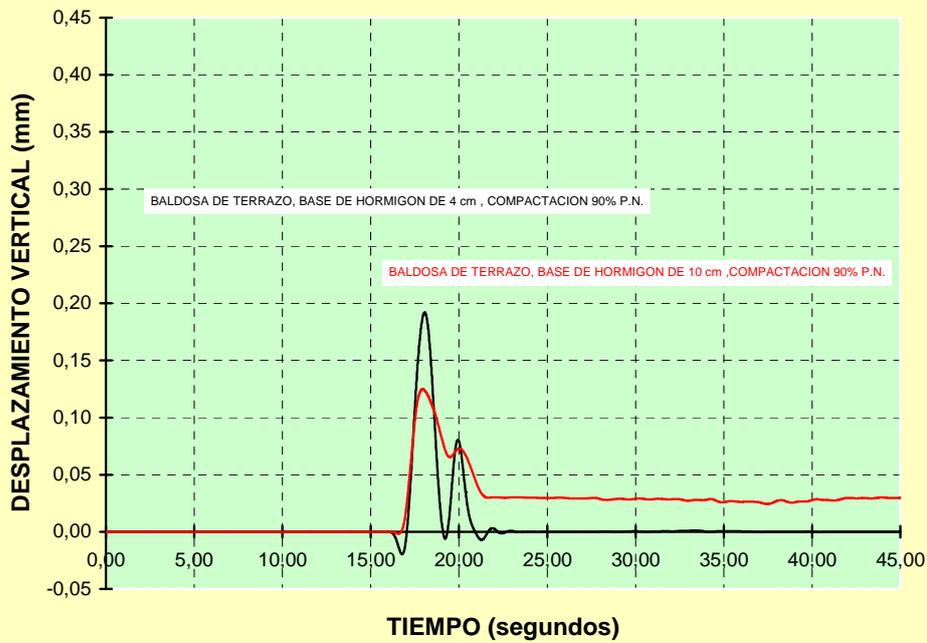


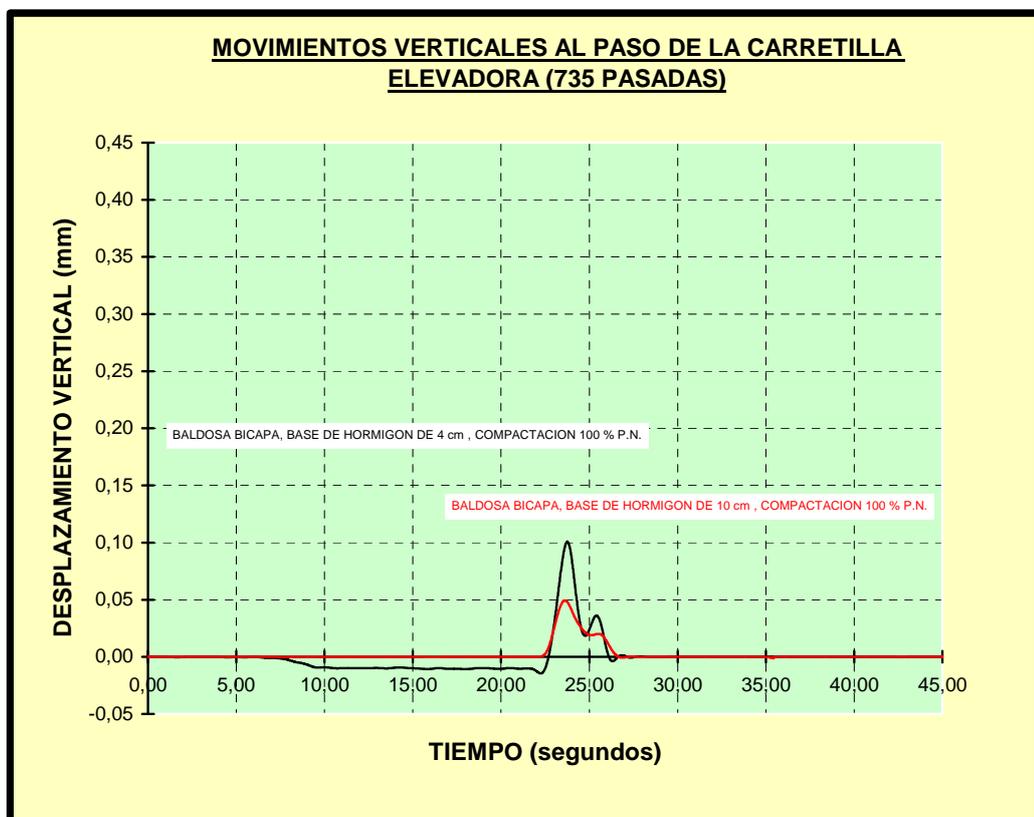
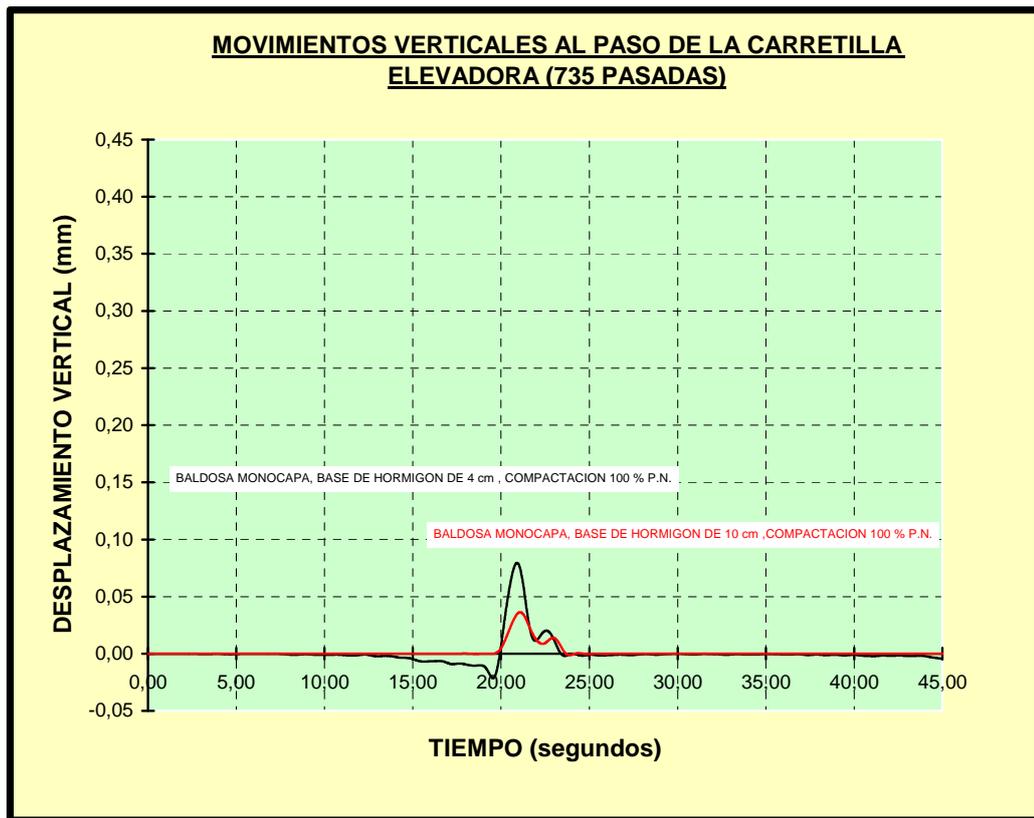


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (735 PASADAS)

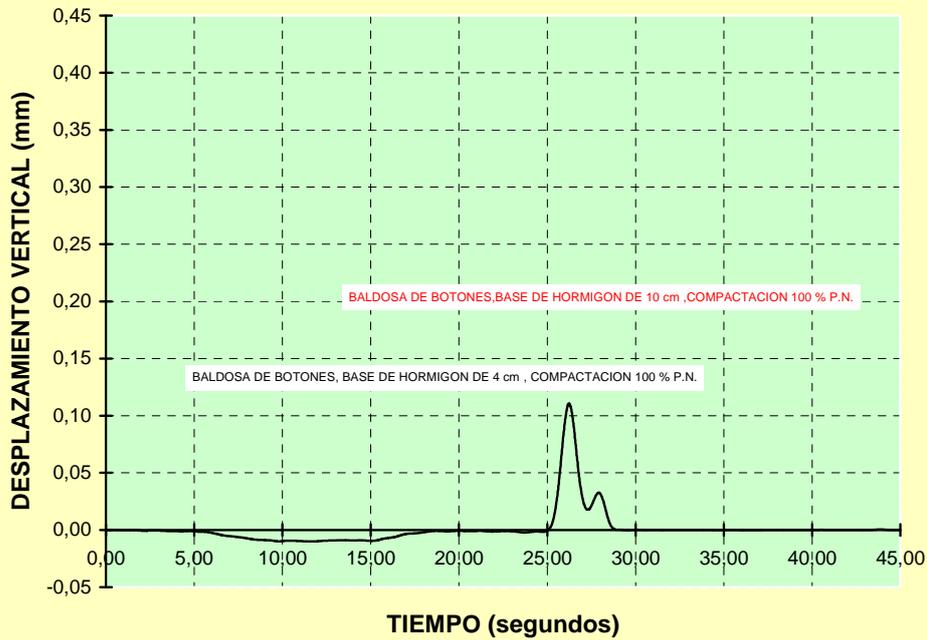


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (735 PASADAS)

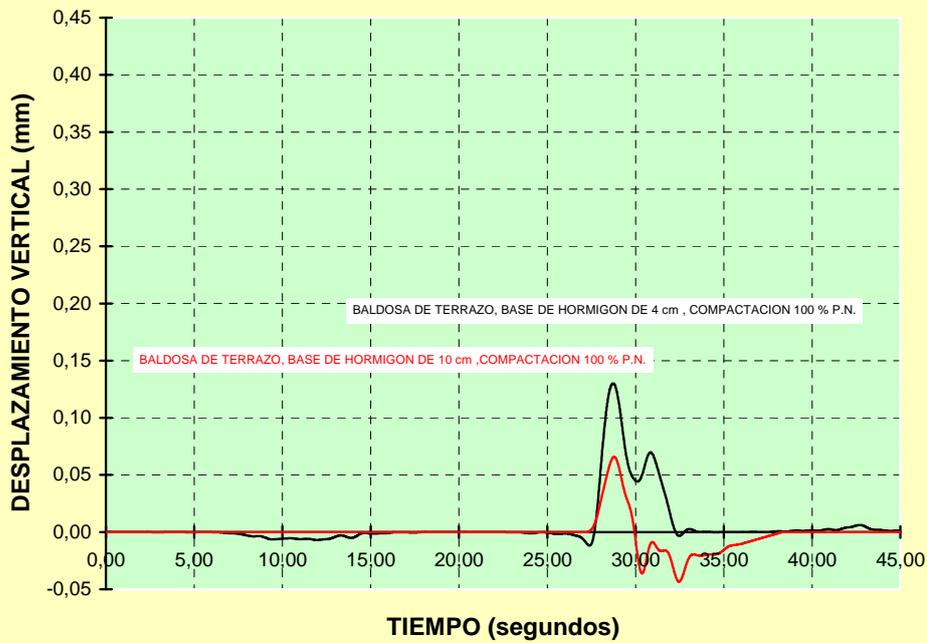


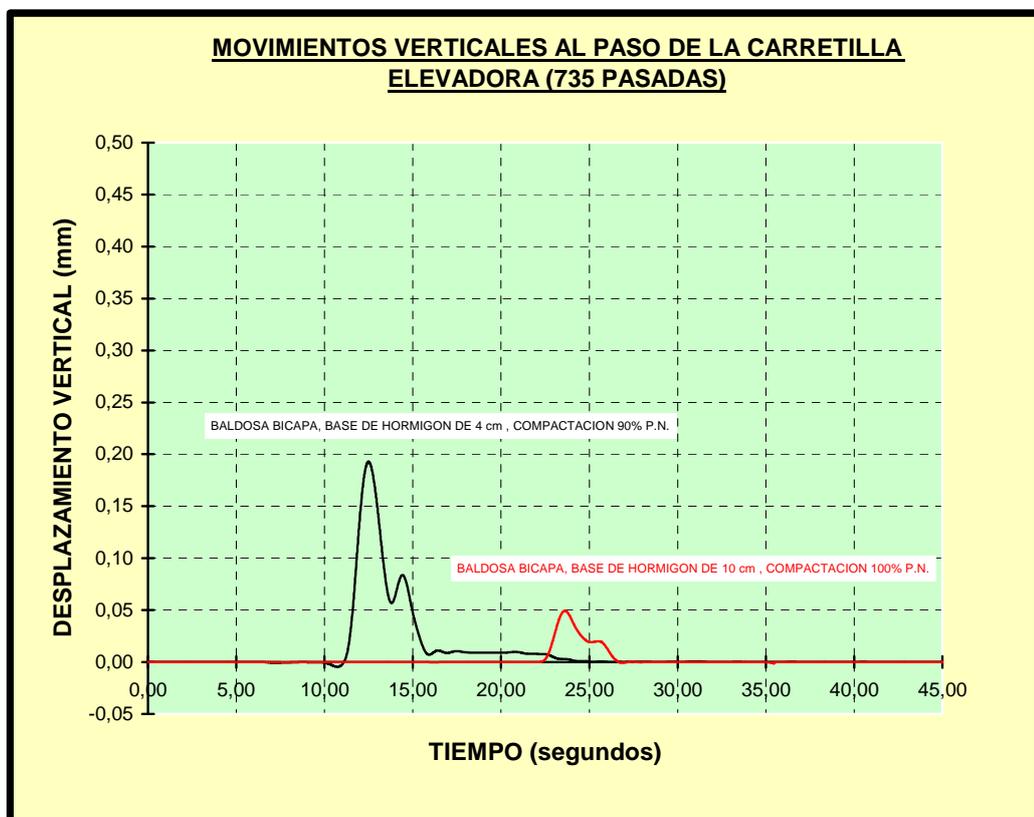
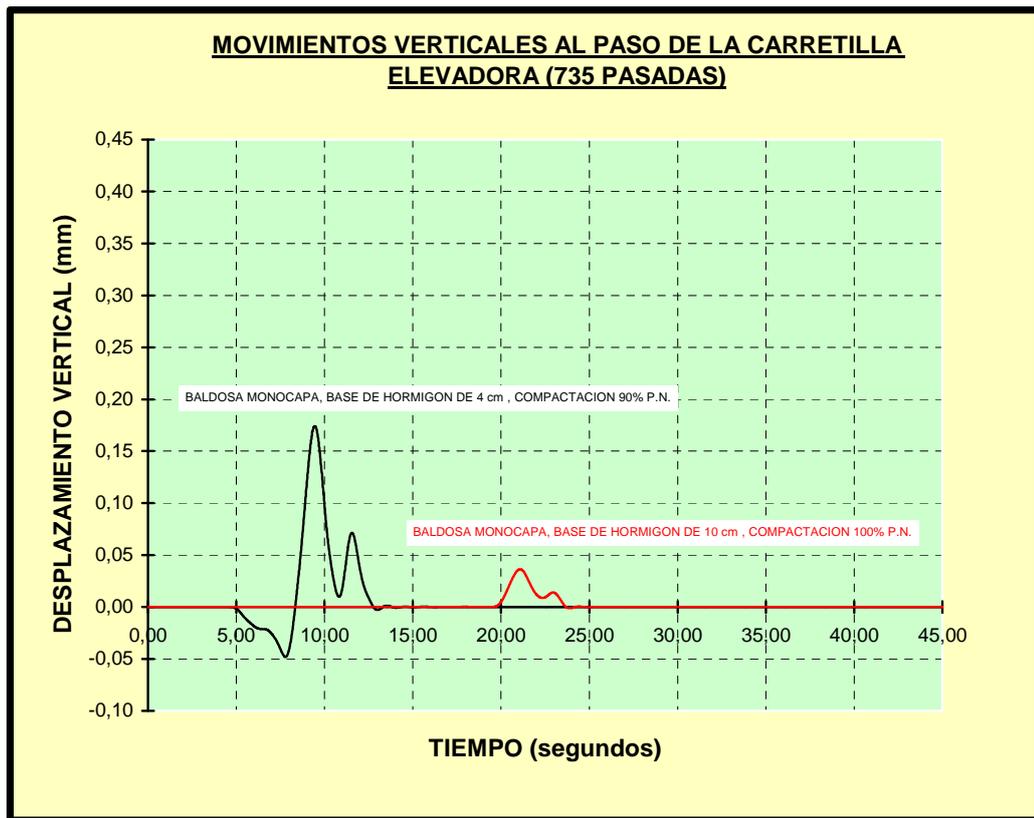


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (735 PASADAS)

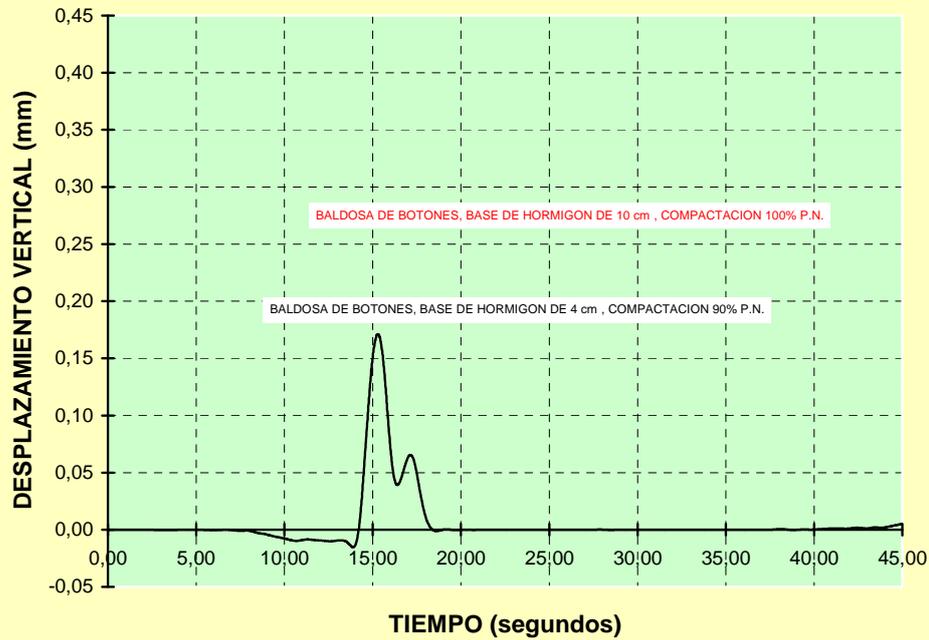


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (735 PASADAS)

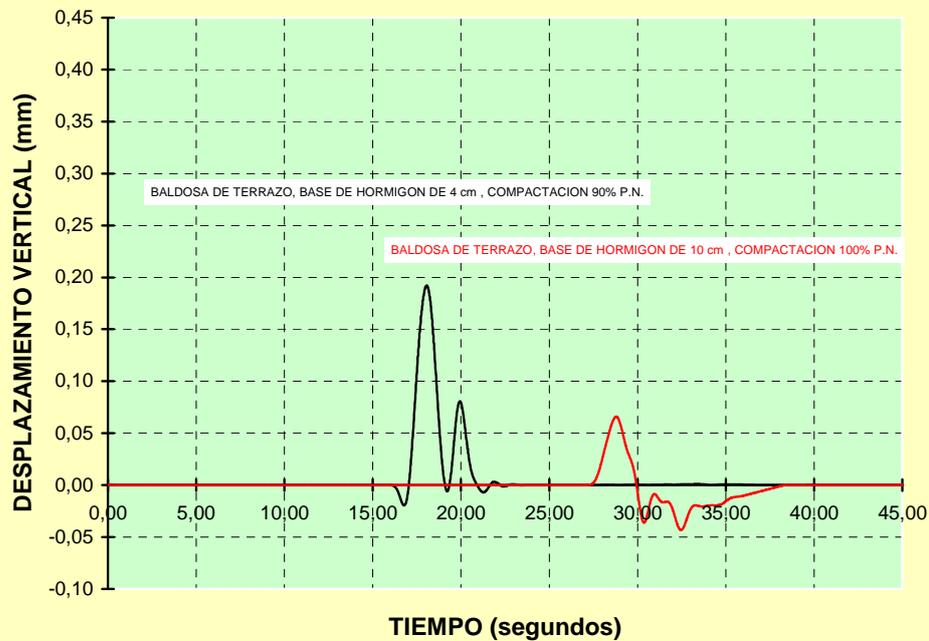


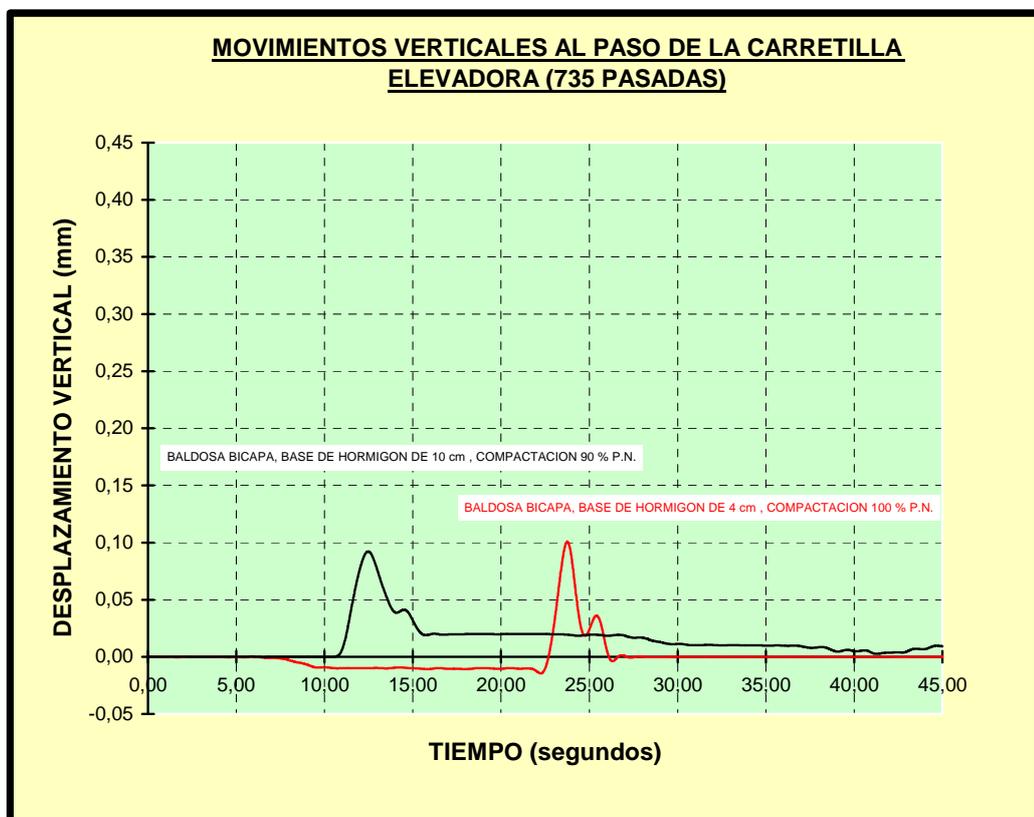
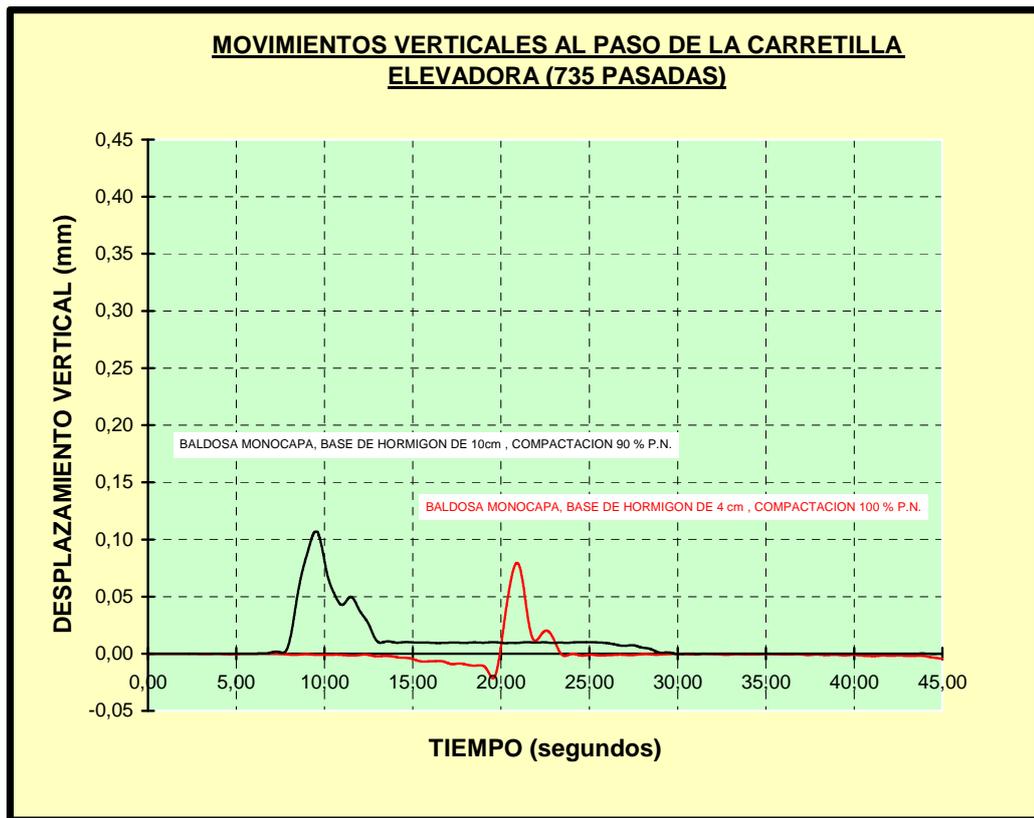


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (735 PASADAS)

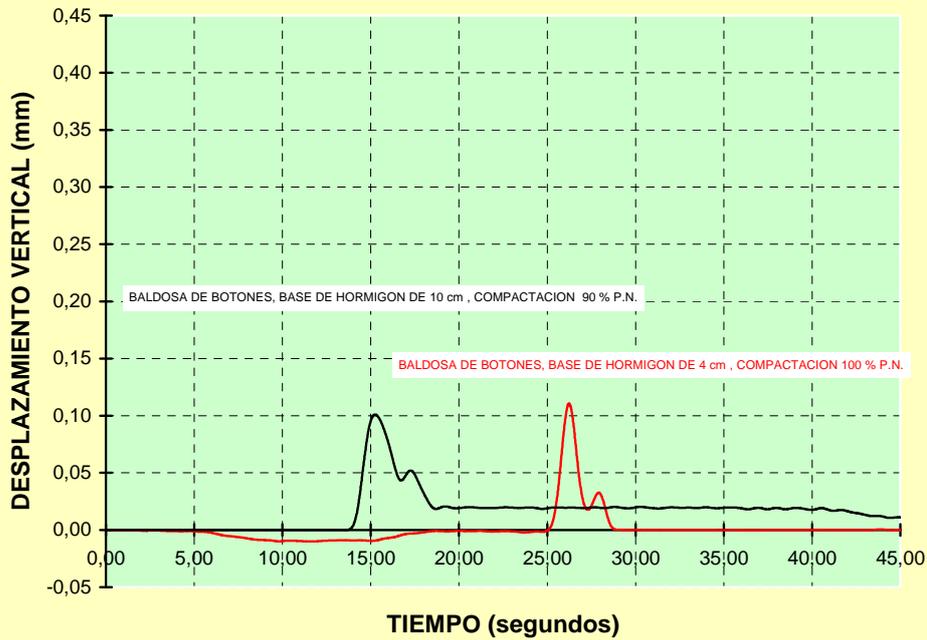


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (735 PASADAS)

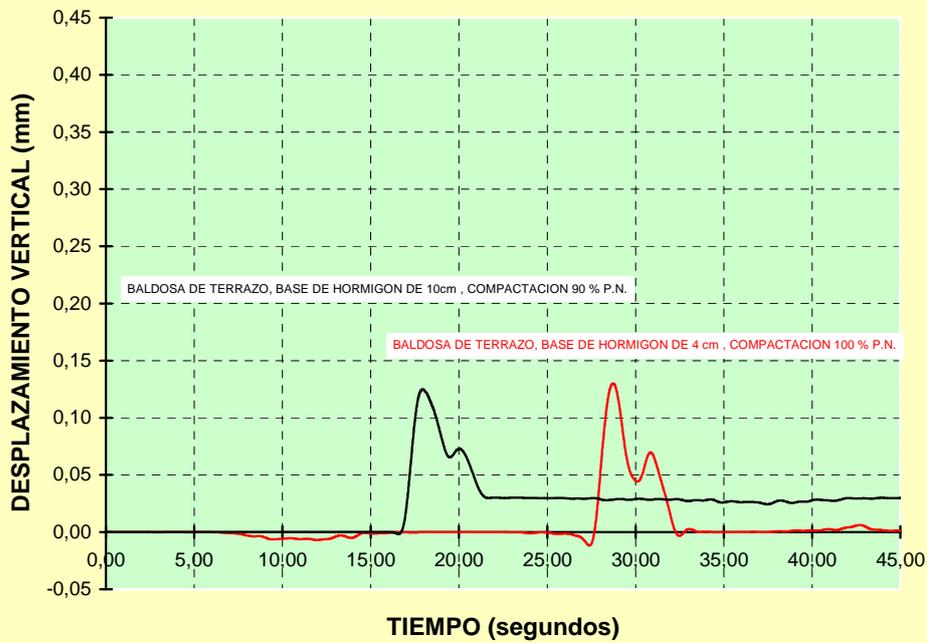


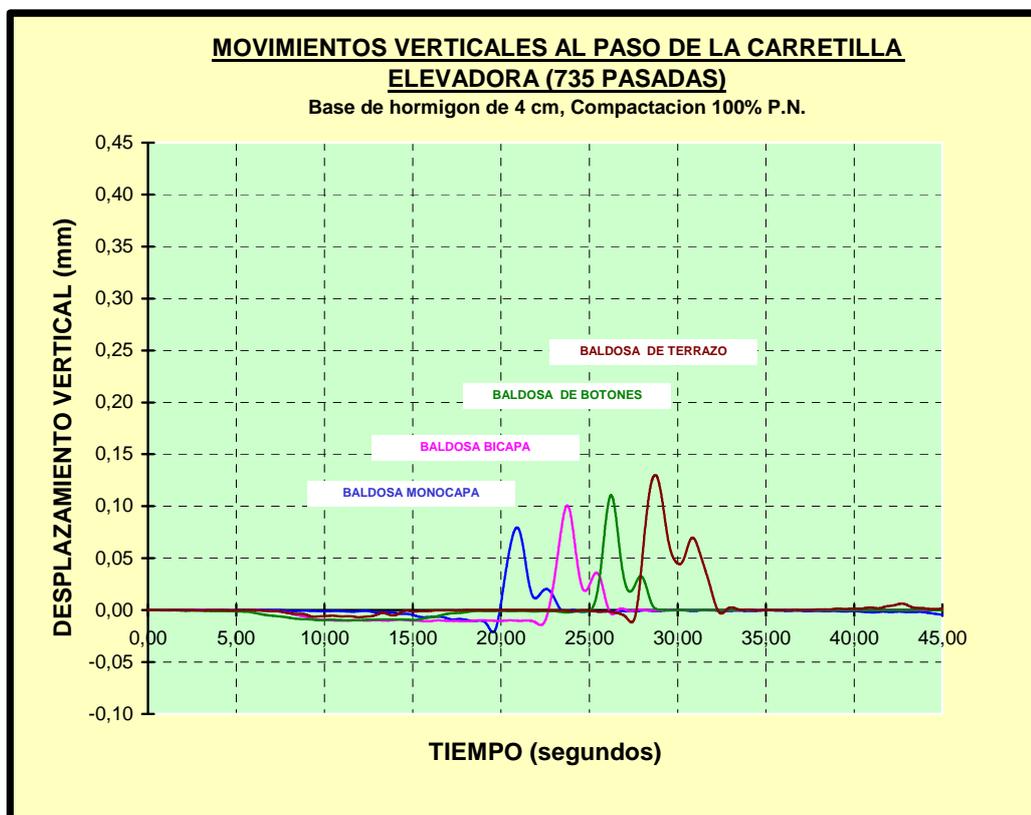
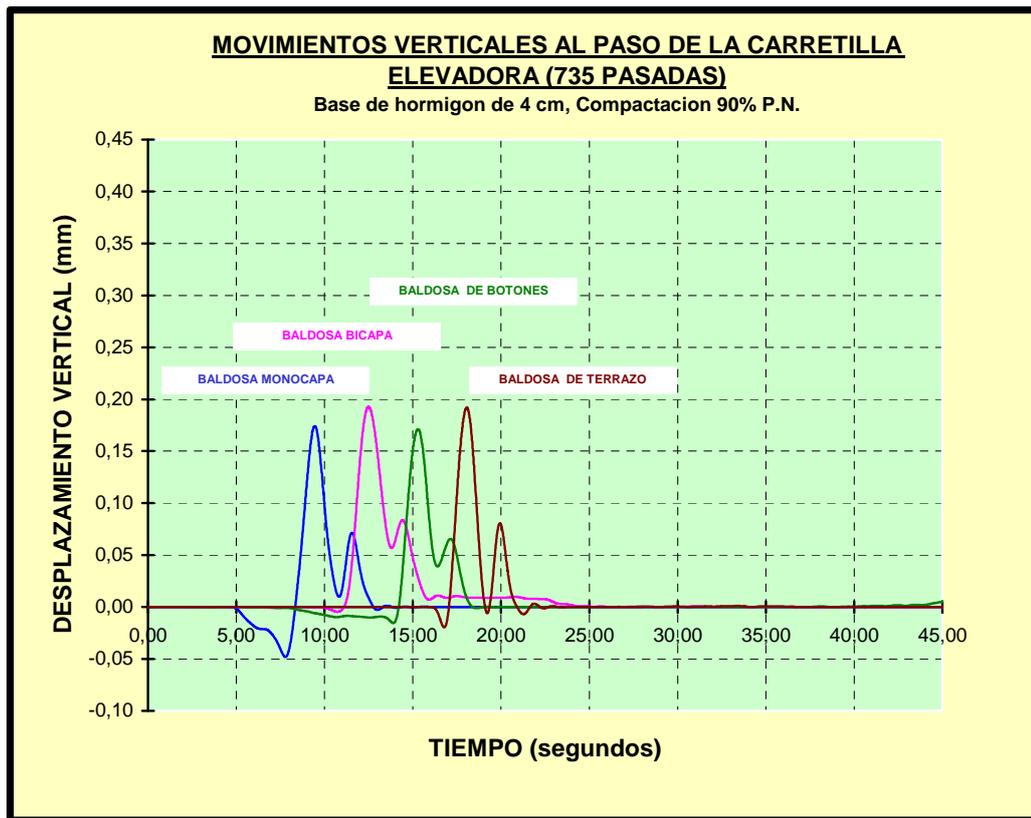


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (735 PASADAS)



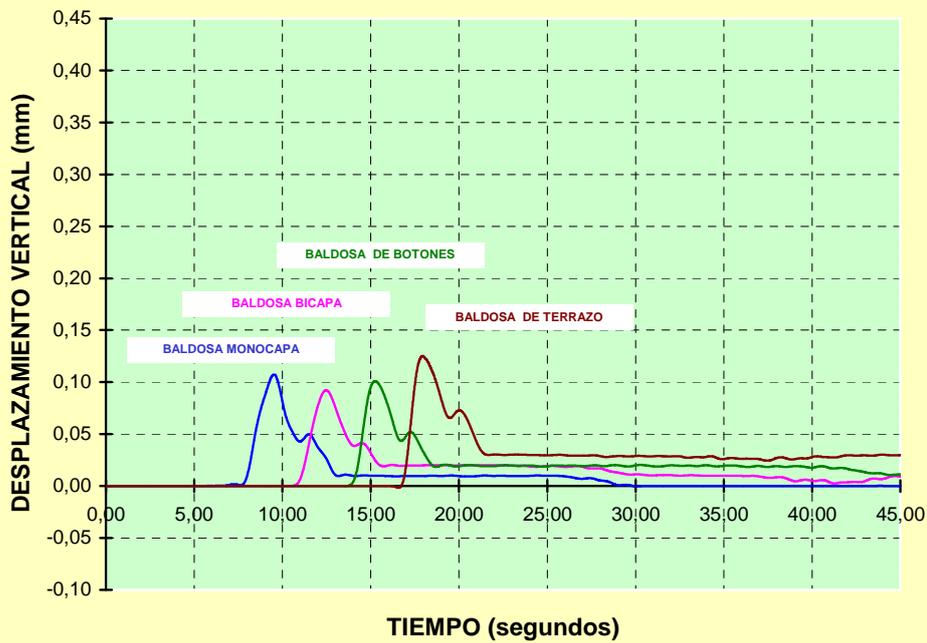
MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (735 PASADAS)





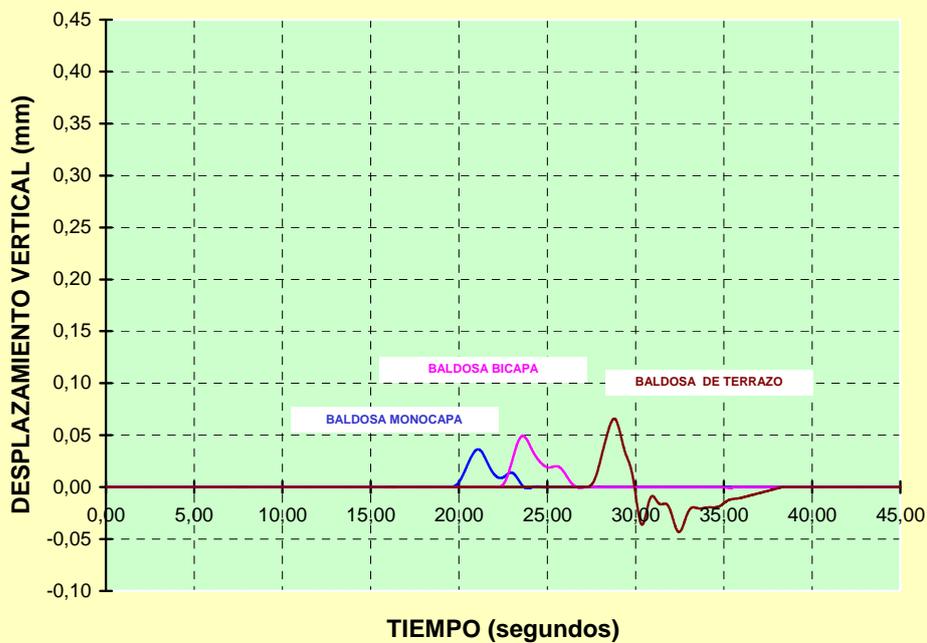
**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA
ELEVADORA (735 PASADAS)**

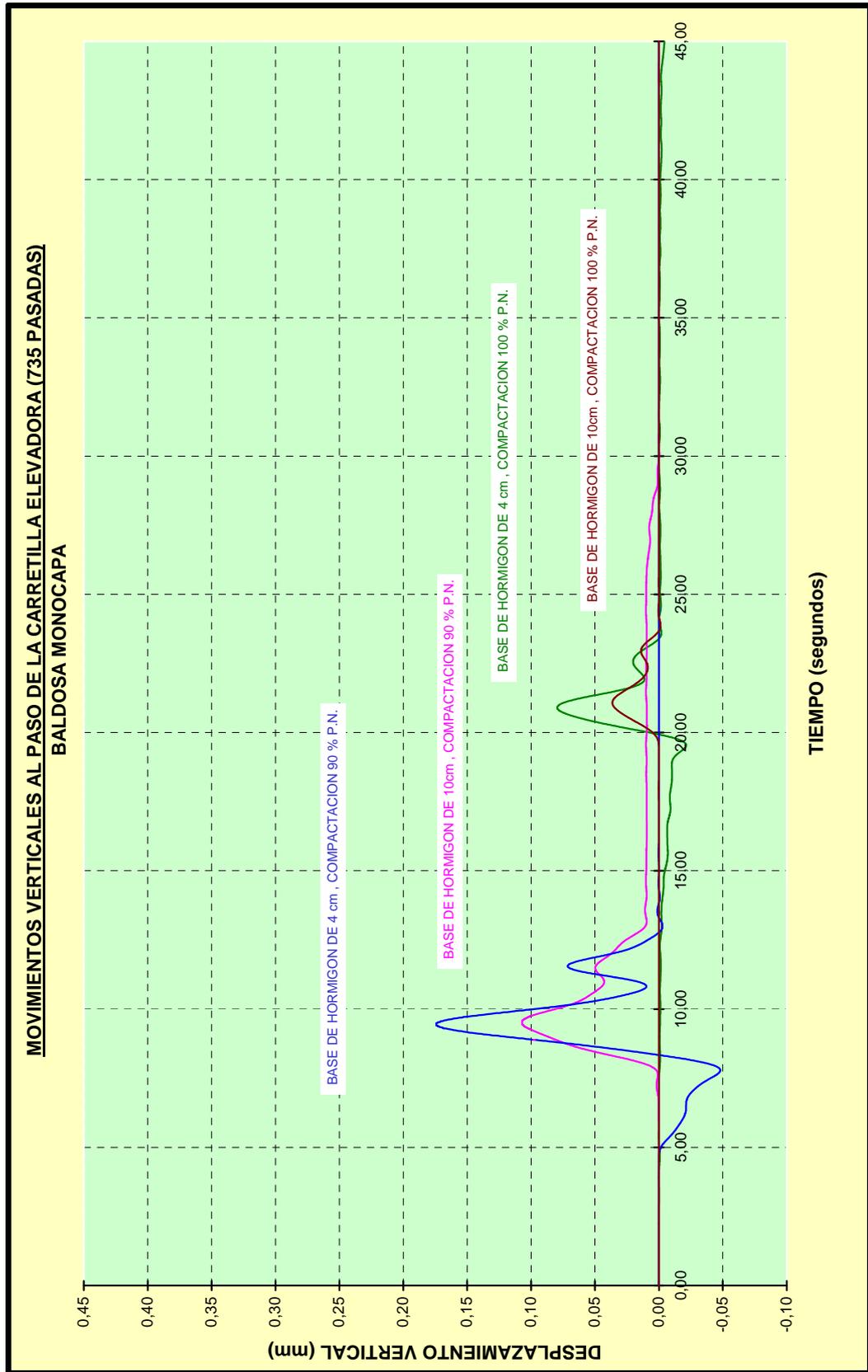
Base de hormigon de 10 cm, Compactacion 90% P.N.



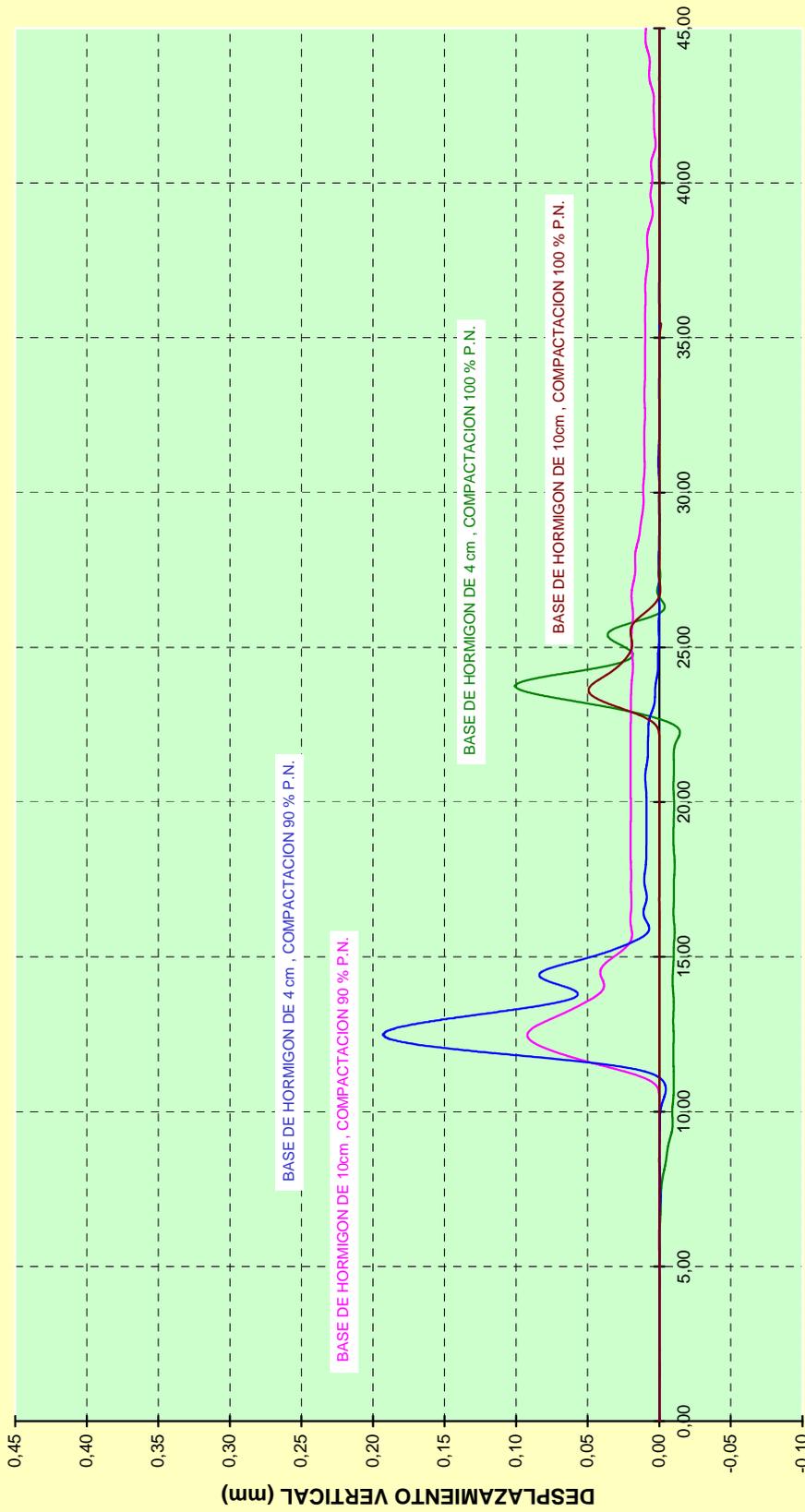
**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA
ELEVADORA (735 PASADAS)**

Base de hormigon de 10 cm, Compactacion 100% P.N.

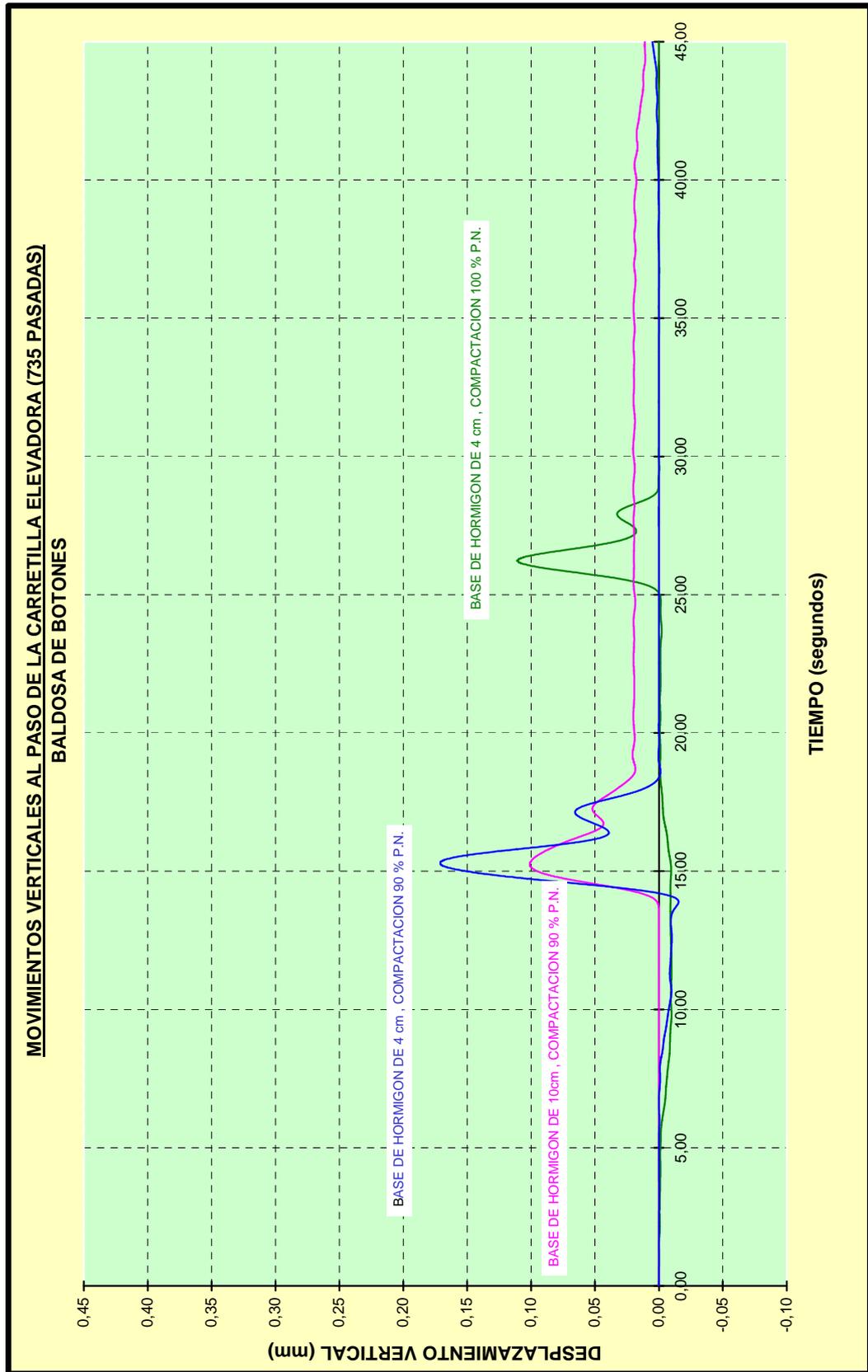




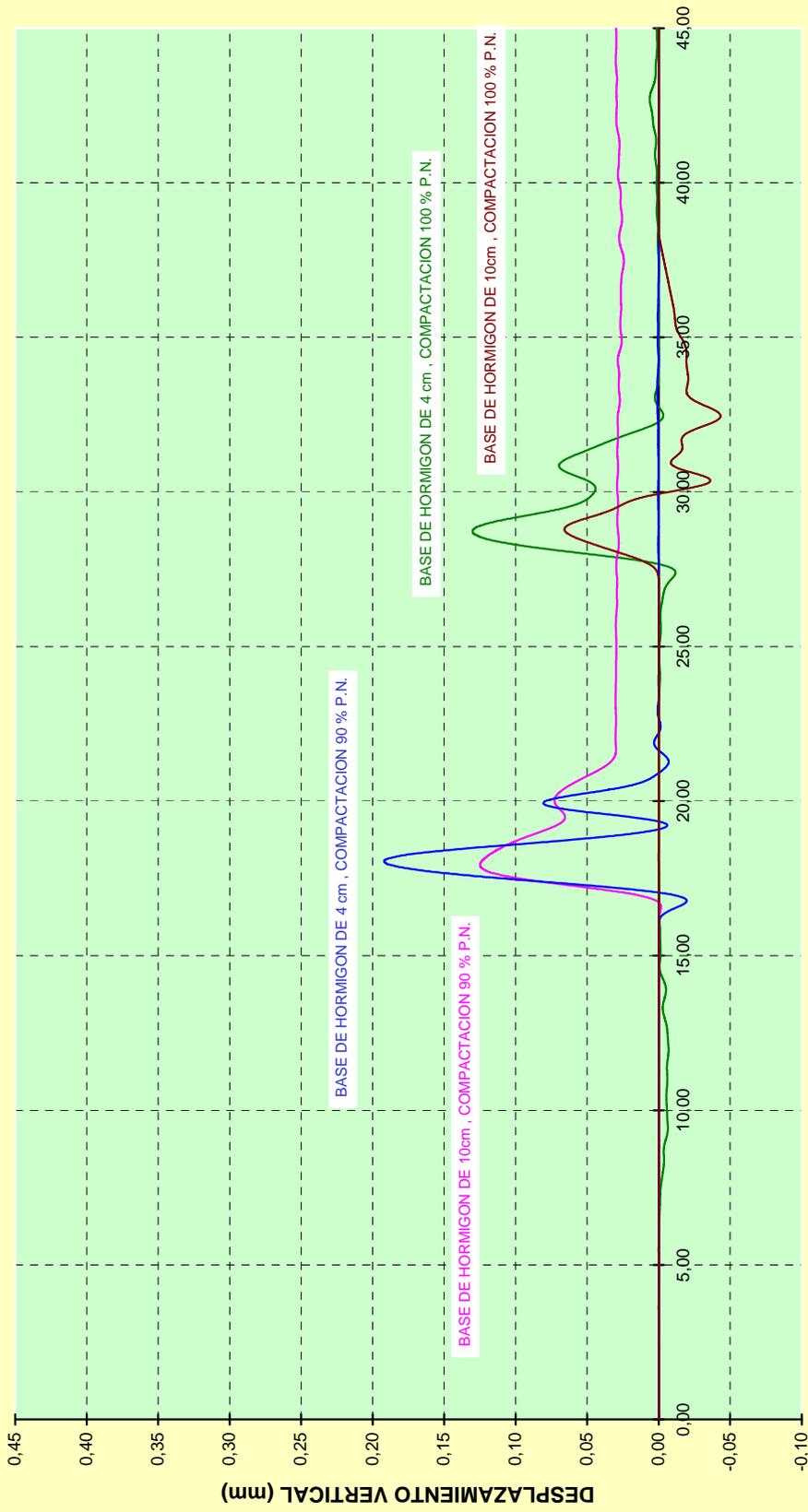
**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (735 PASADAS)
BALDOSA BICAPA**



TIEMPO (segundos)



**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (735 PASADAS)
BALDOSAS DE TERRAZO**

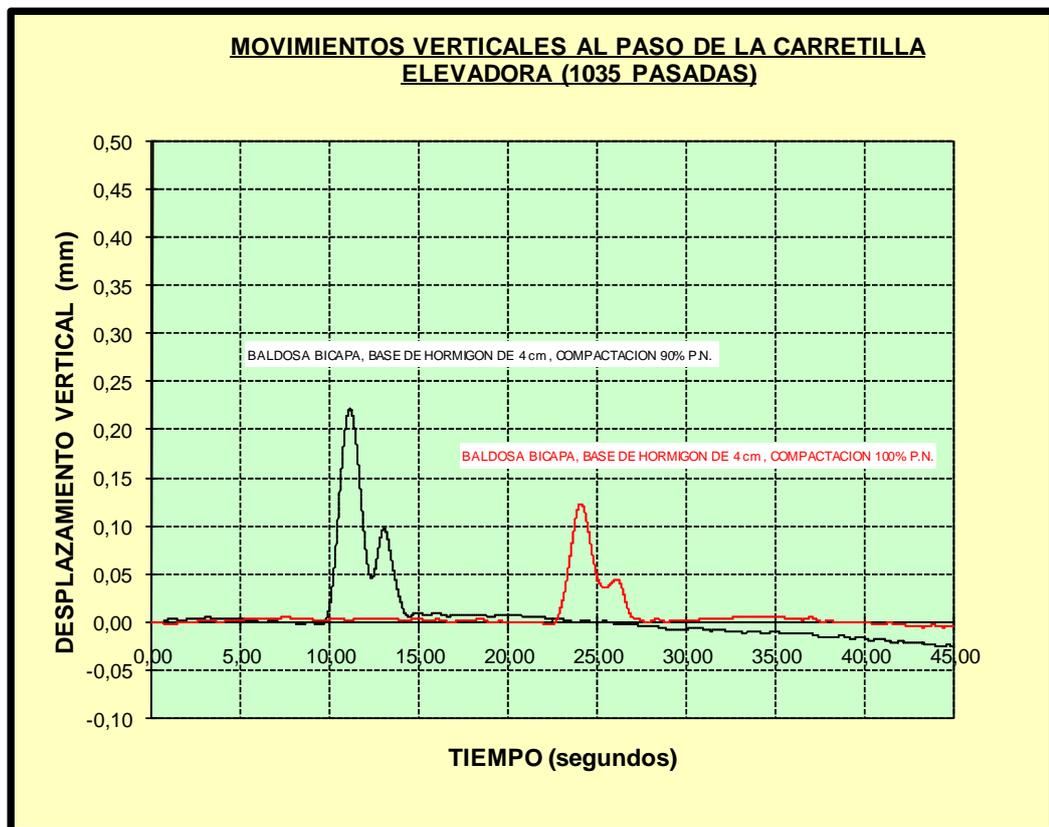
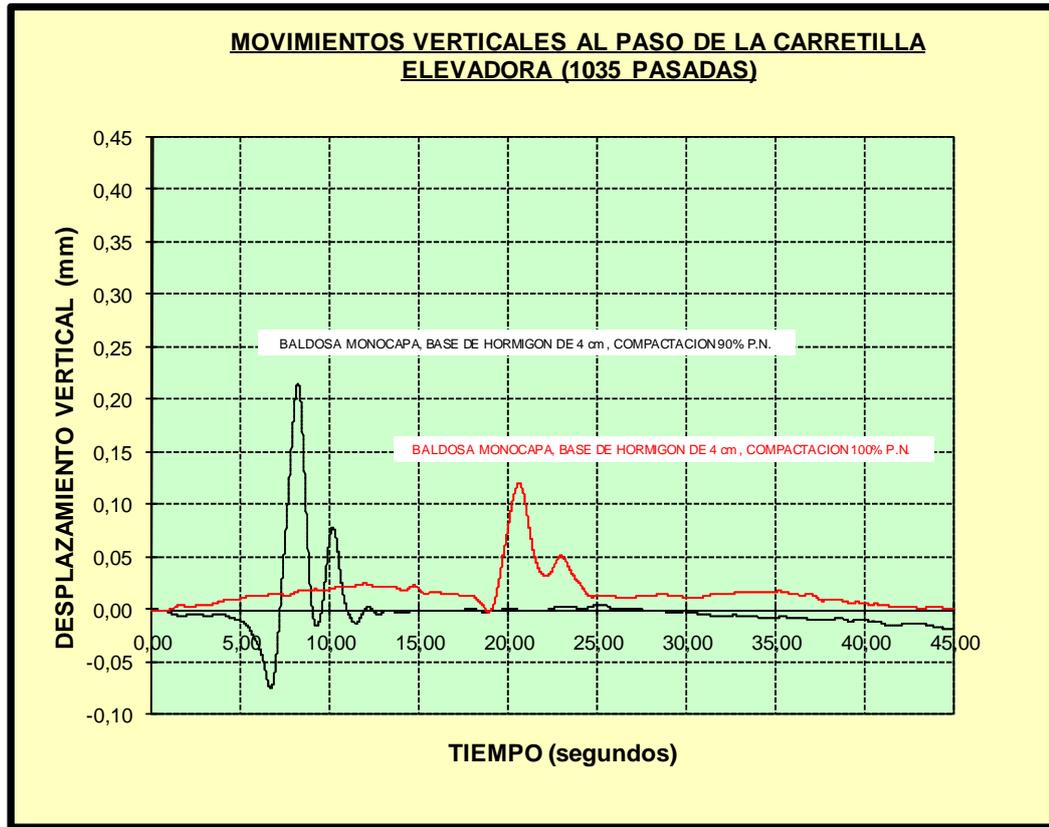


TIEMPO (segundos)

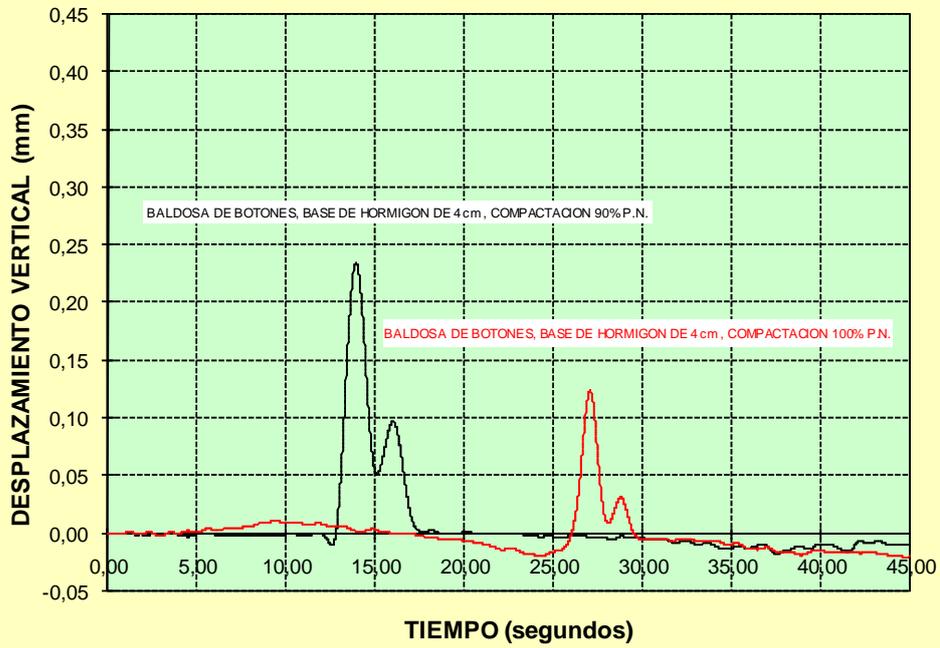
**GRÁFICOS 1035 PASADAS DE CARRETILLA
MOVIMIENTOS AL PASO DE UNA CARRETILLA CARGADA**

**GRÁFICOS COMBINANDO MISMO TIPO DE
BALDOSA DISTINTO TIPO DE COMPACTACIÓN Y DISTINTO
ESPESOR DE LOSA**

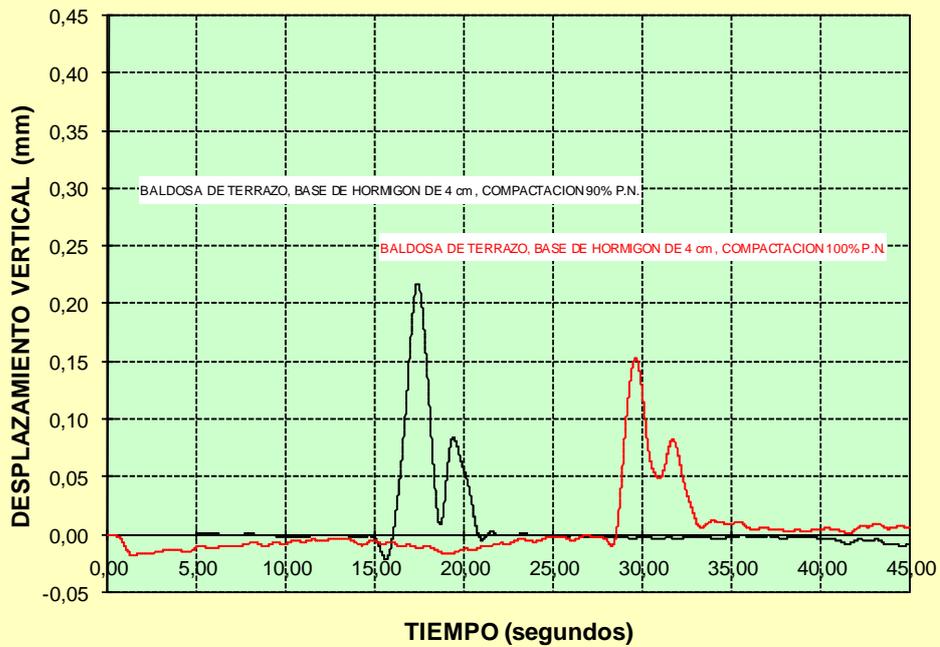
NOTA: El origen de tiempos del eje x de las diagramas que a continuación se muestran corresponde al momento en que se ordena que la carretilla entre en la "losa de ensayo". Obviamente la "flecha" máxima se obtiene simultáneamente sólo en aquellos módulos que se encuentran a igual distancia del borde de la losa. Se recuerda que se construyeron en paralelo siempre con el mismo tipo de baldosa pero diferente espesor de losa.



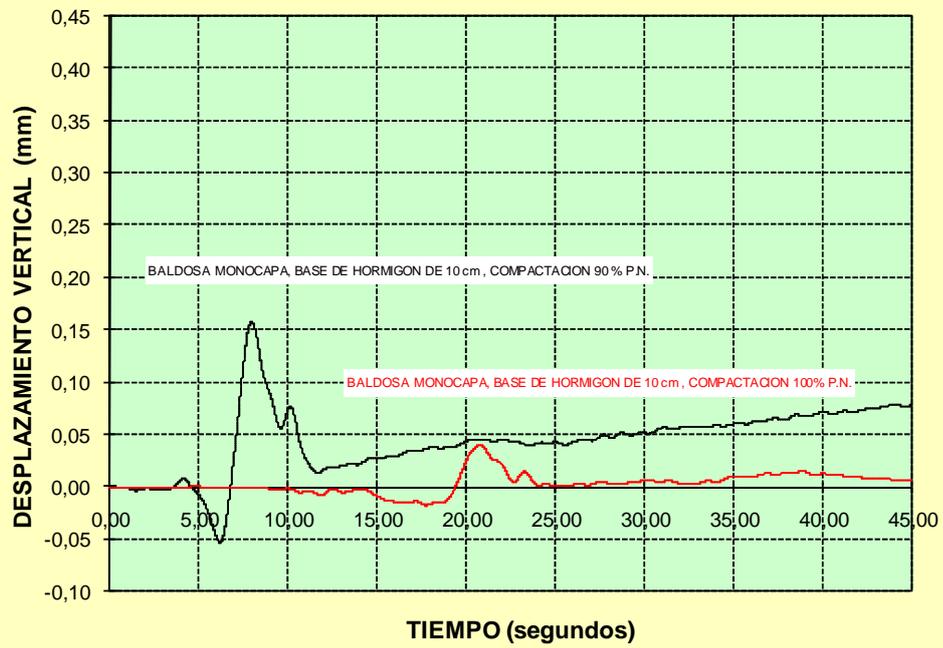
MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (1035 PASADAS)



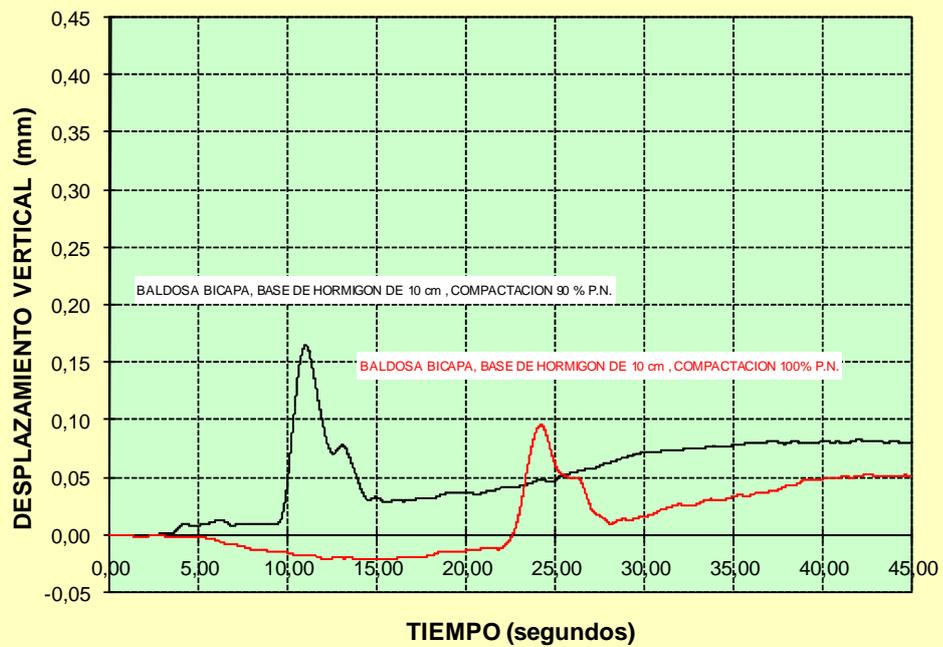
MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (1035 PASADAS)



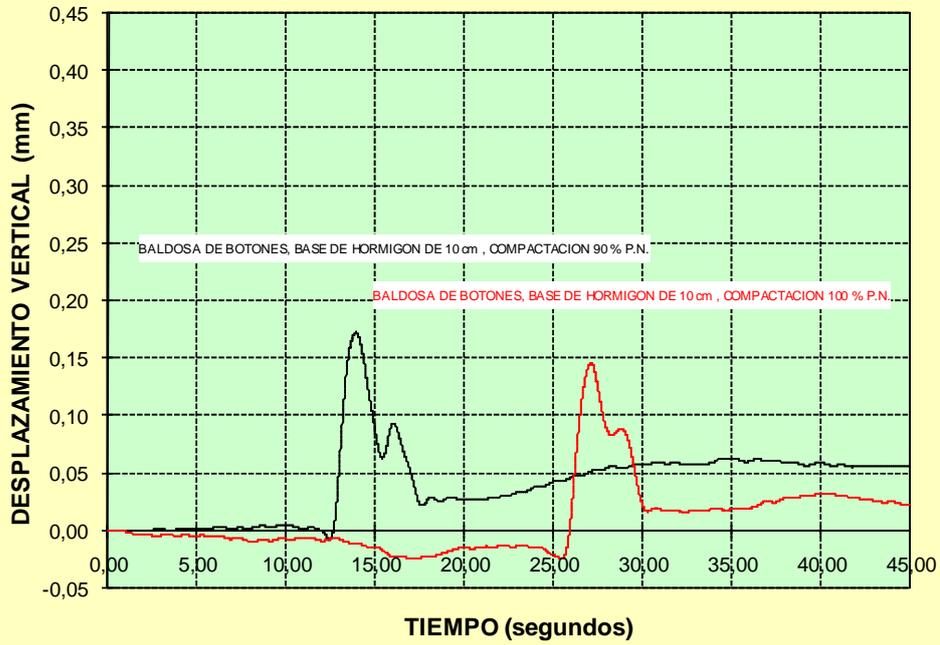
MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (1035 PASADAS)



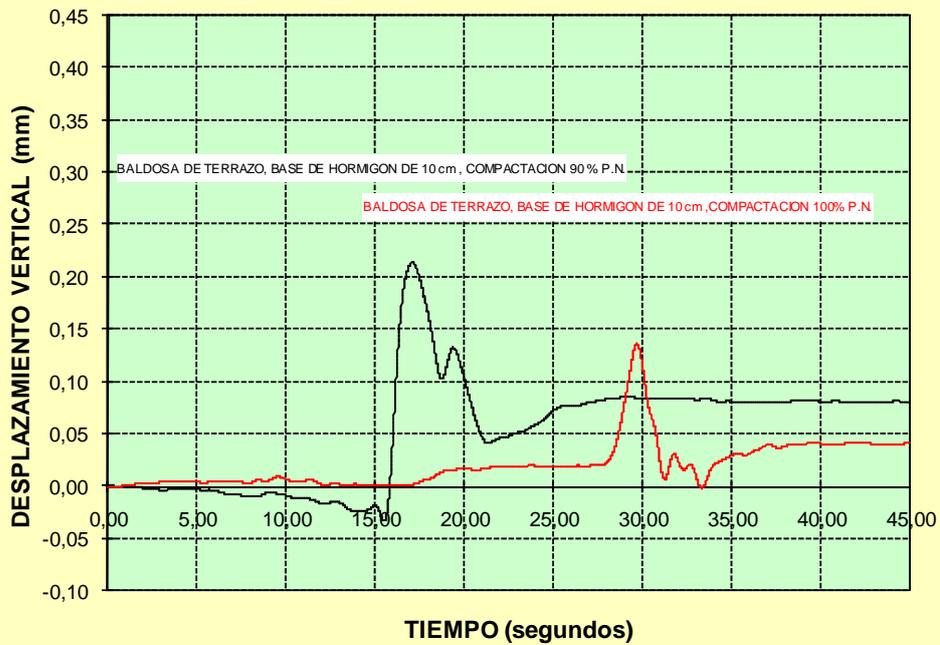
MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (1035 PASADAS)



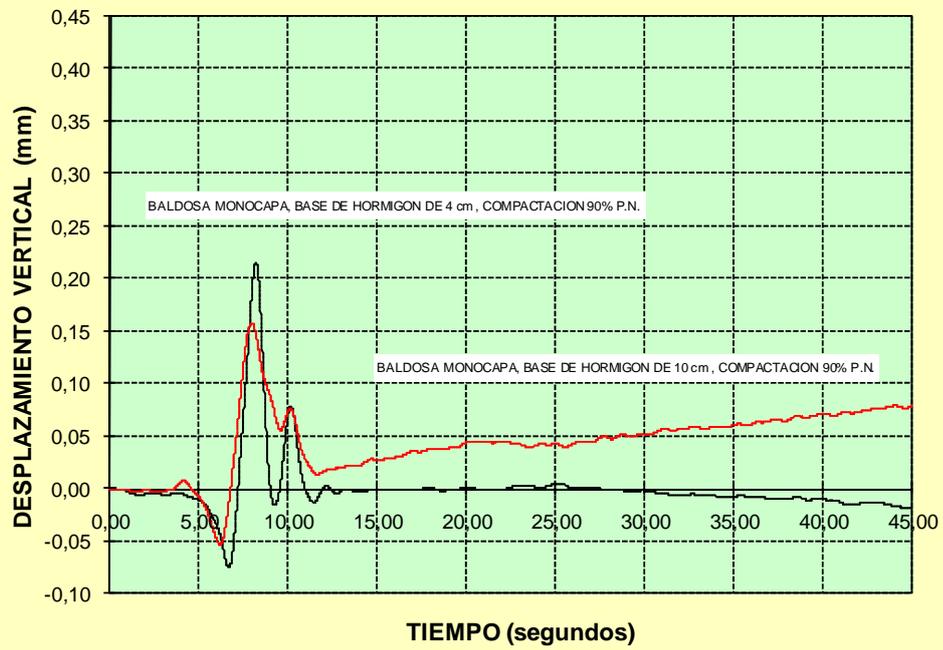
**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA
ELEVADORA (1035 PASADAS)**



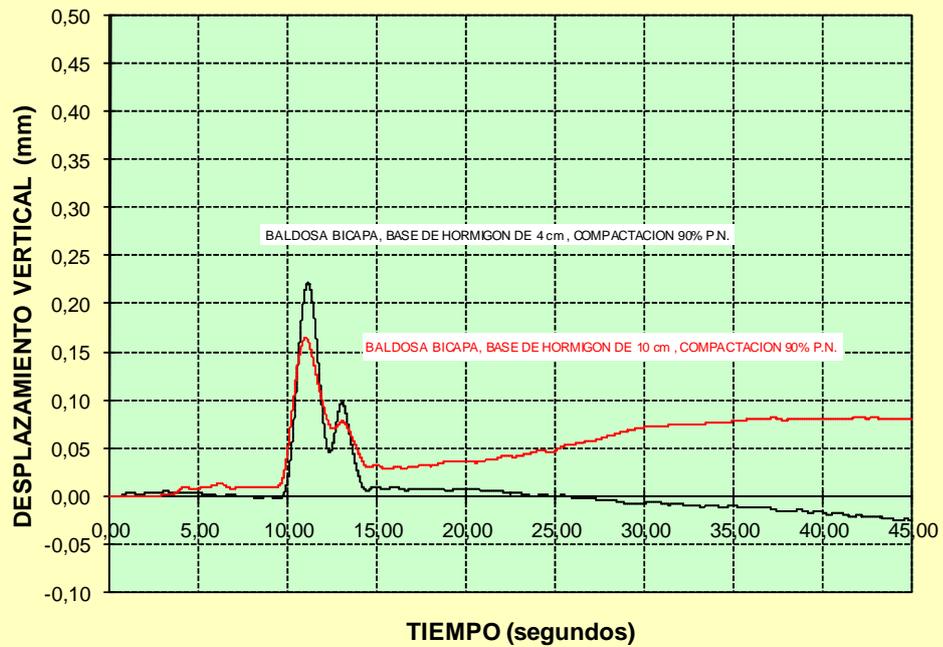
**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA
ELEVADORA (1035 PASADAS)**



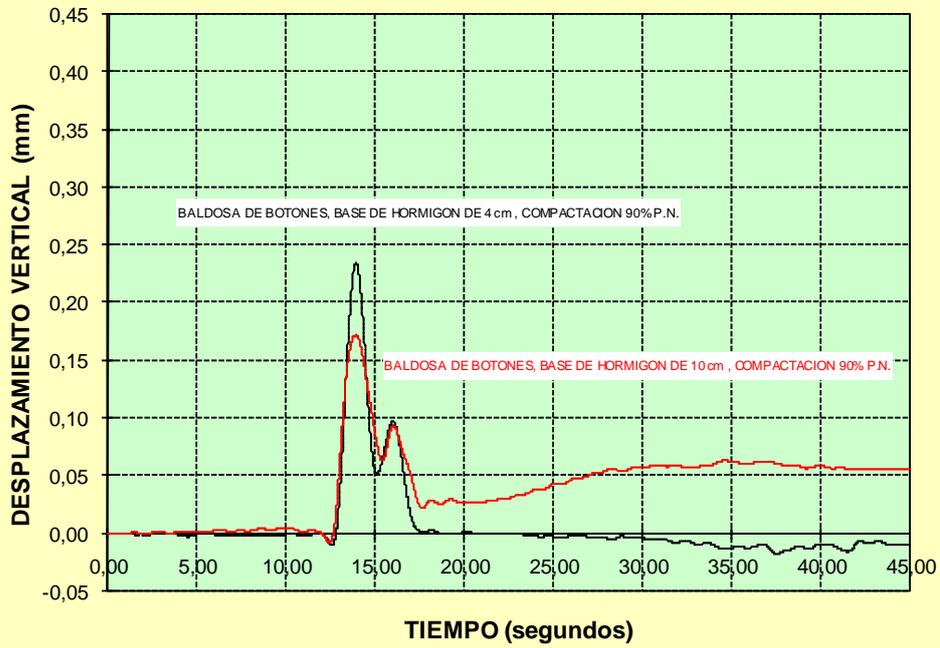
MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (1035 PASADAS)



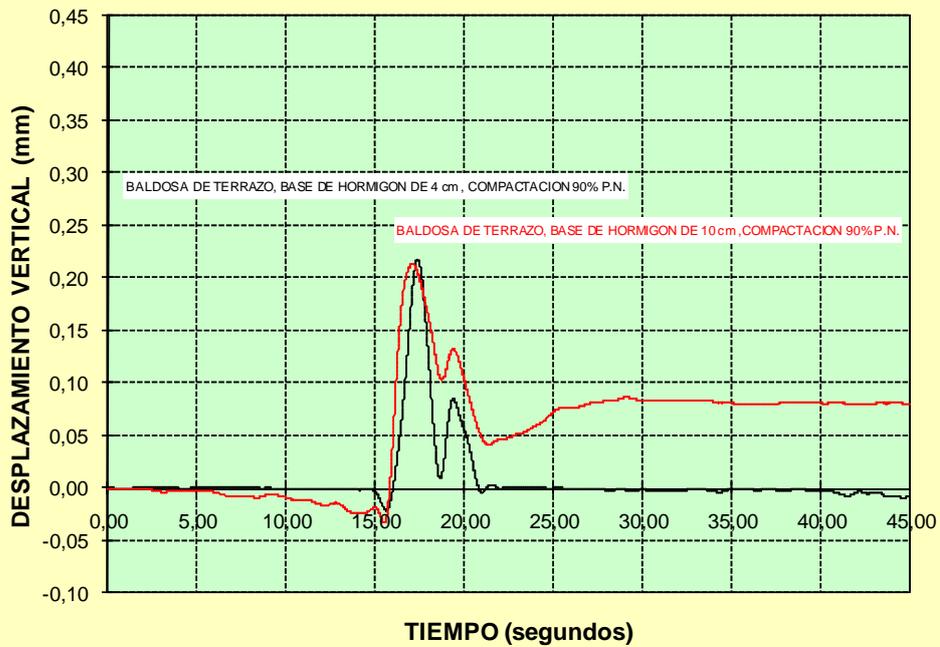
MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (1035 PASADAS)



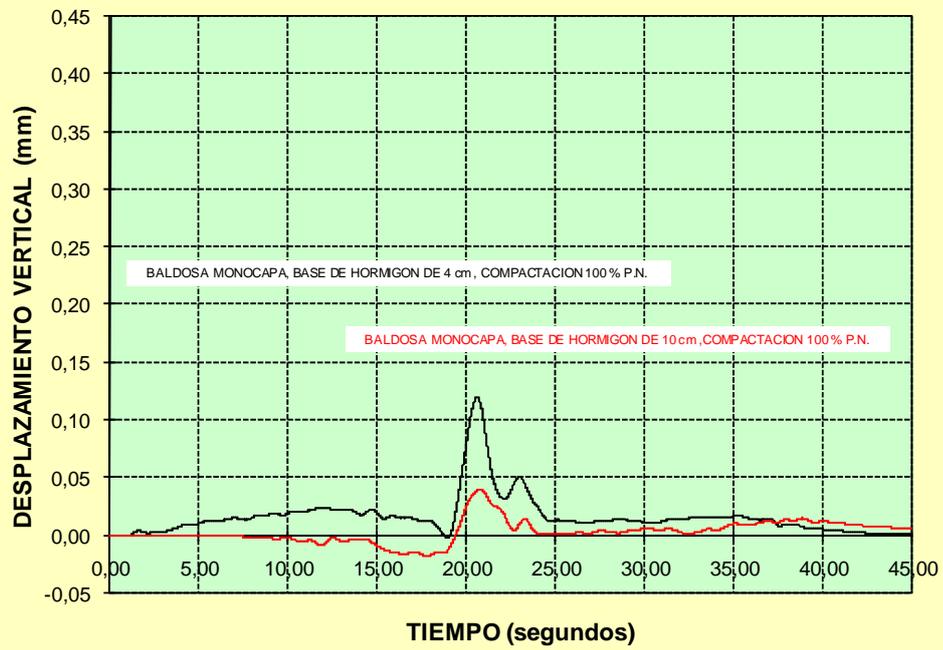
**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA
ELEVADORA (1035 PASADAS)**



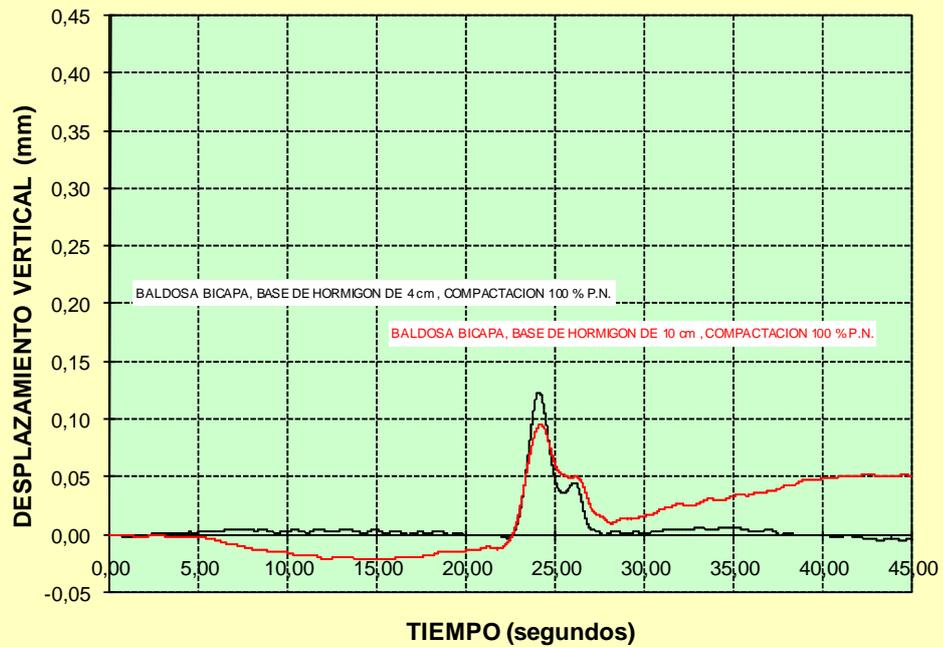
**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA
ELEVADORA (1035 PASADAS)**



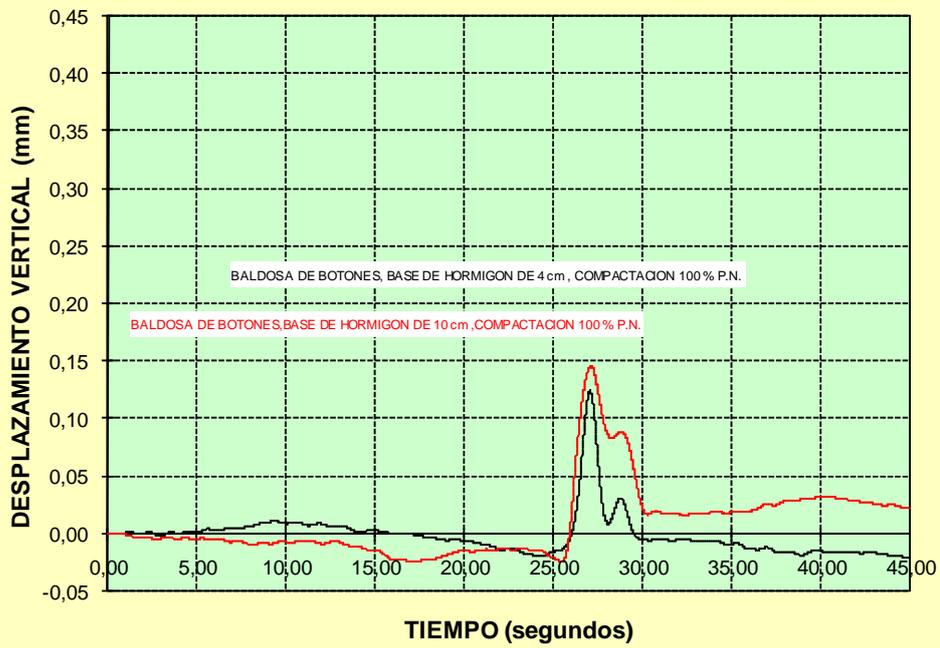
MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (1035 PASADAS)



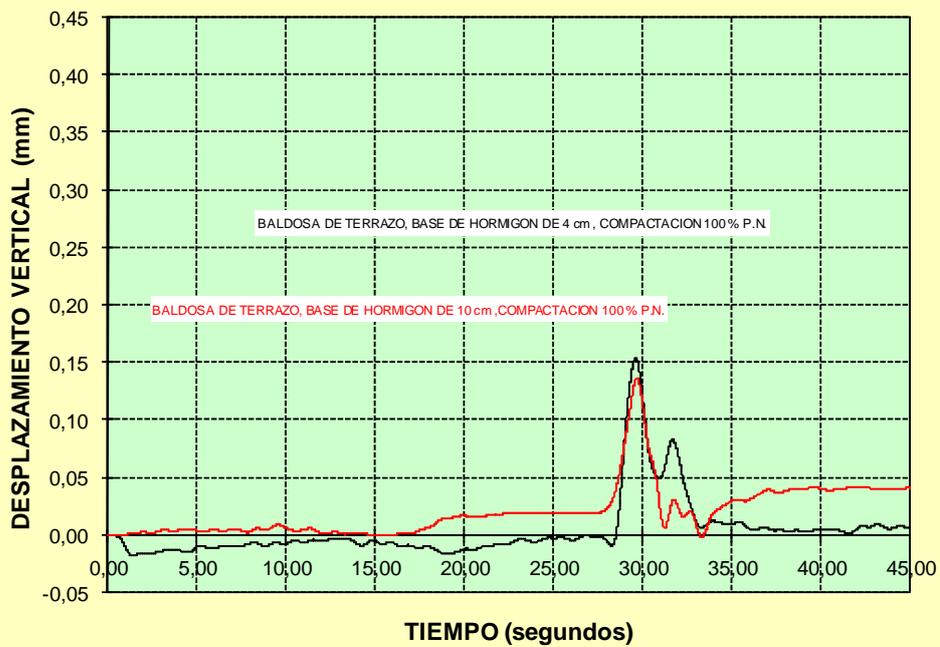
MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (1035 PASADAS)



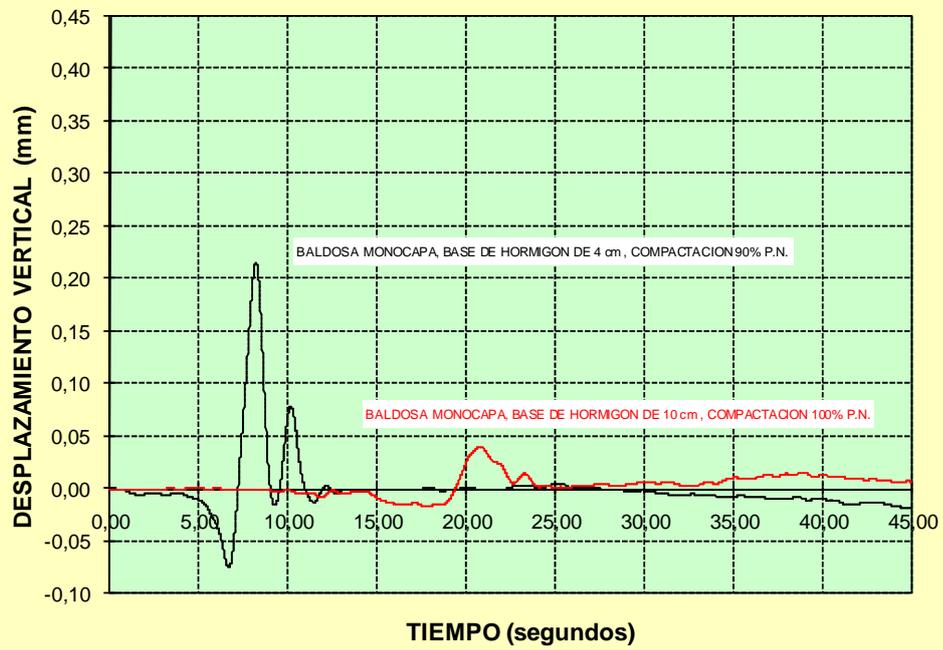
MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (1035 PASADAS)



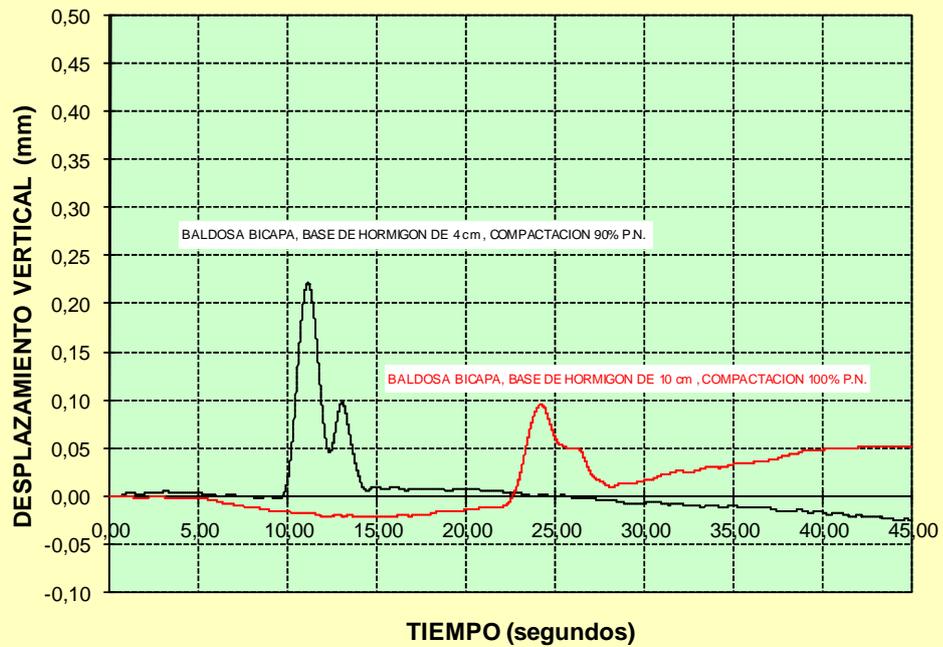
MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (1035 PASADAS)



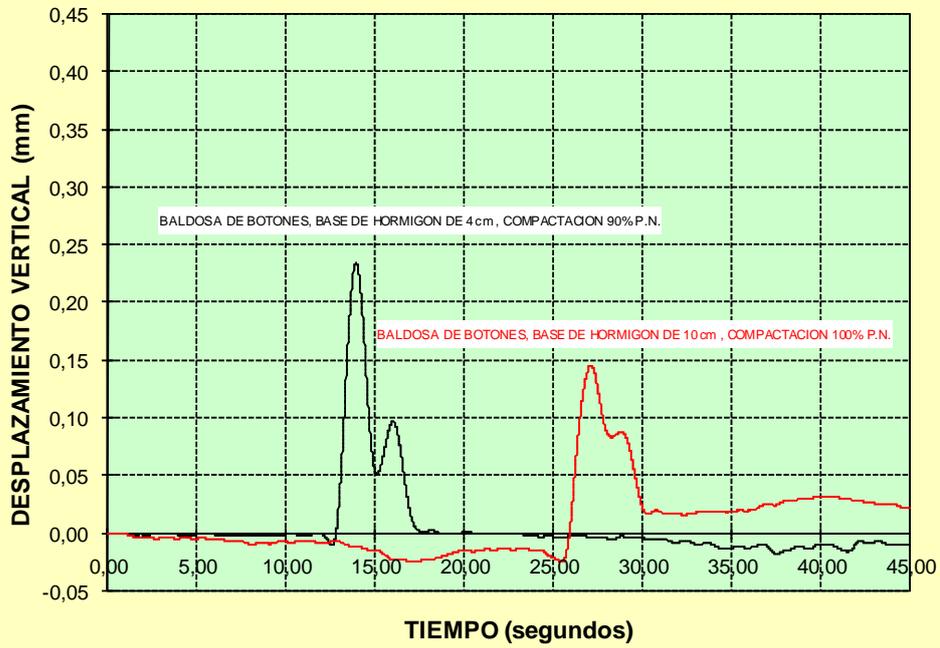
MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (1035 PASADAS)



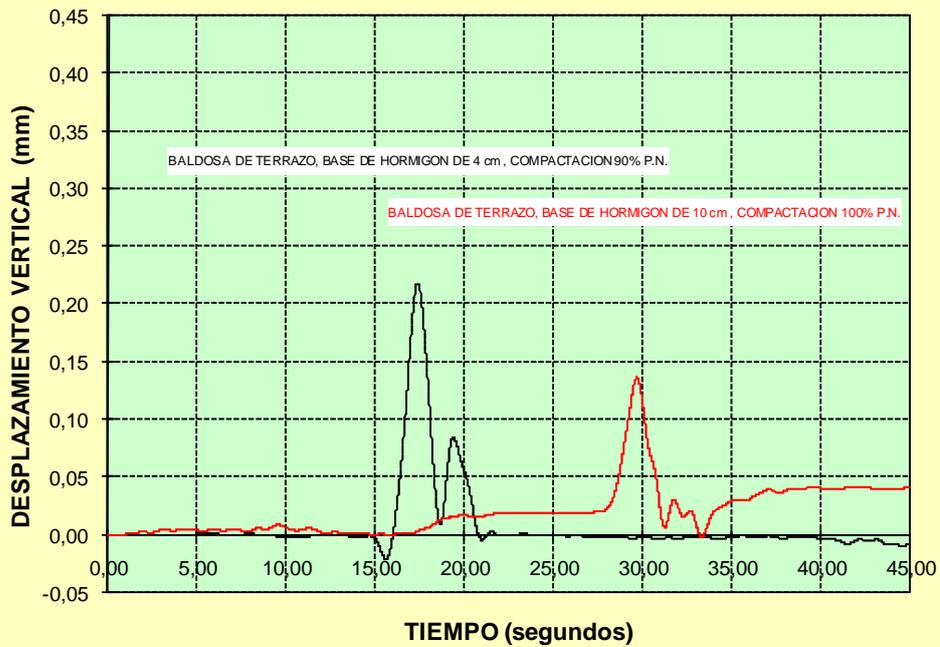
MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (1035 PASADAS)



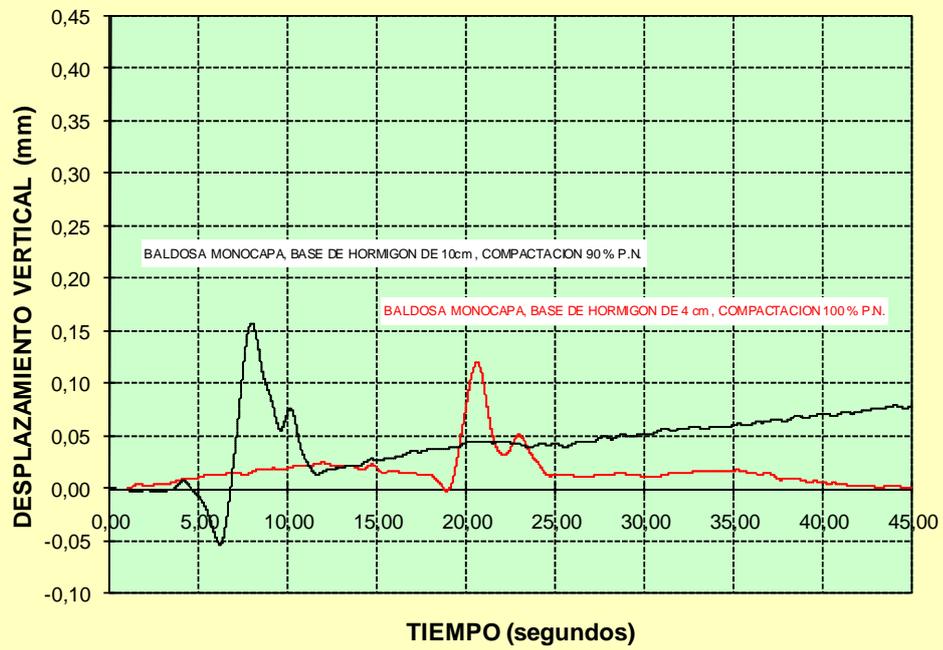
MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (1035 PASADAS)



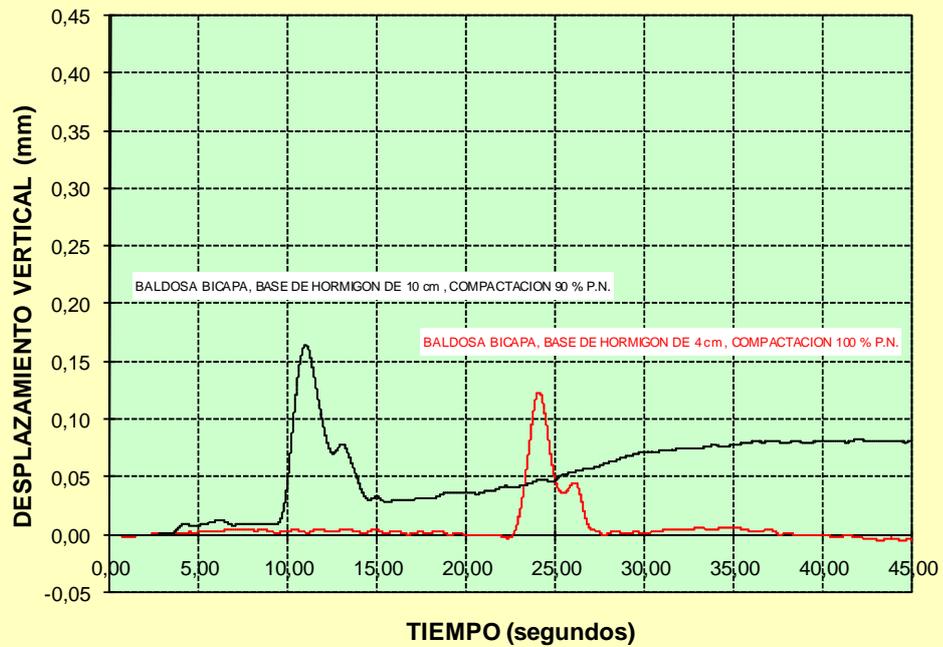
MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (1035 PASADAS)



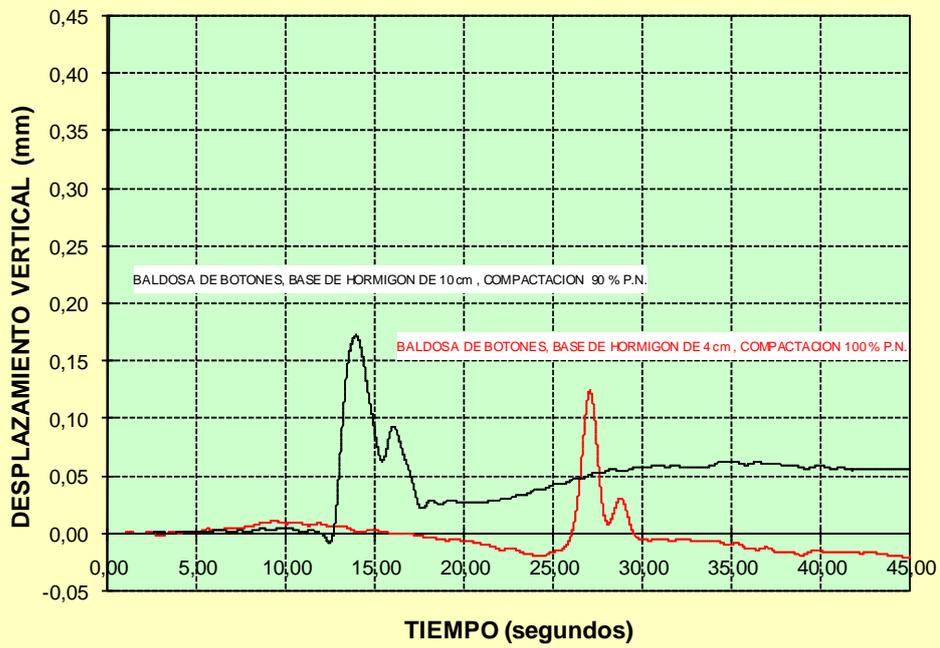
MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (1035 PASADAS)



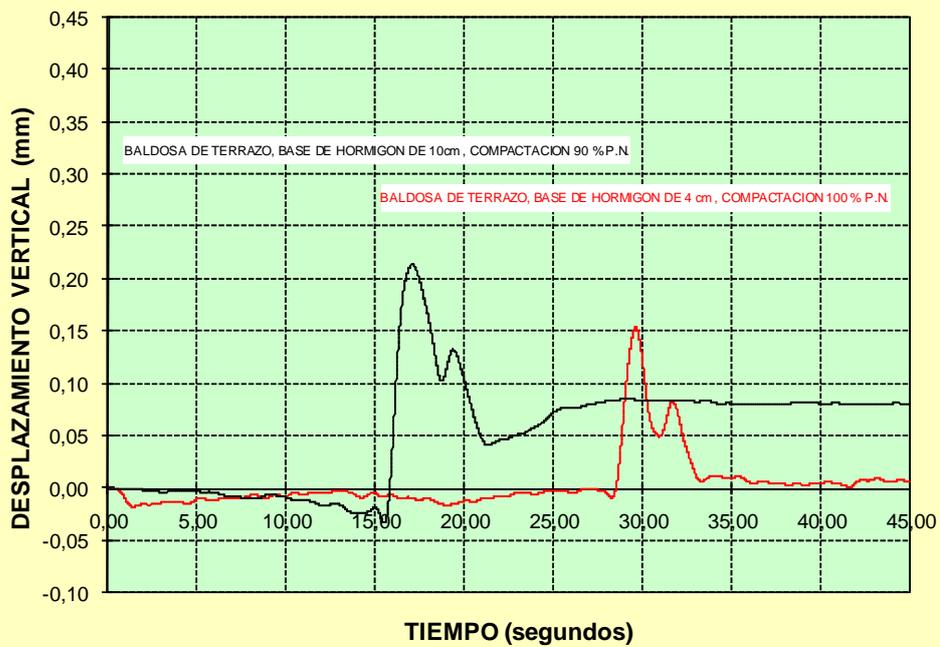
MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (1035 PASADAS)

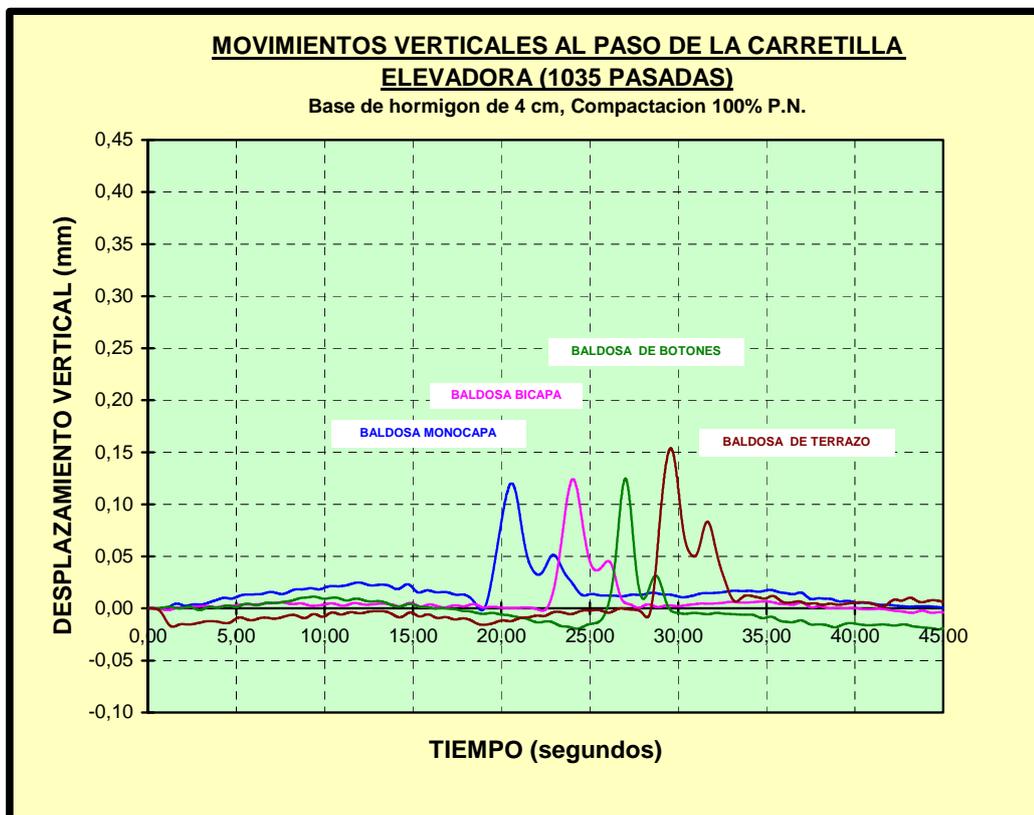
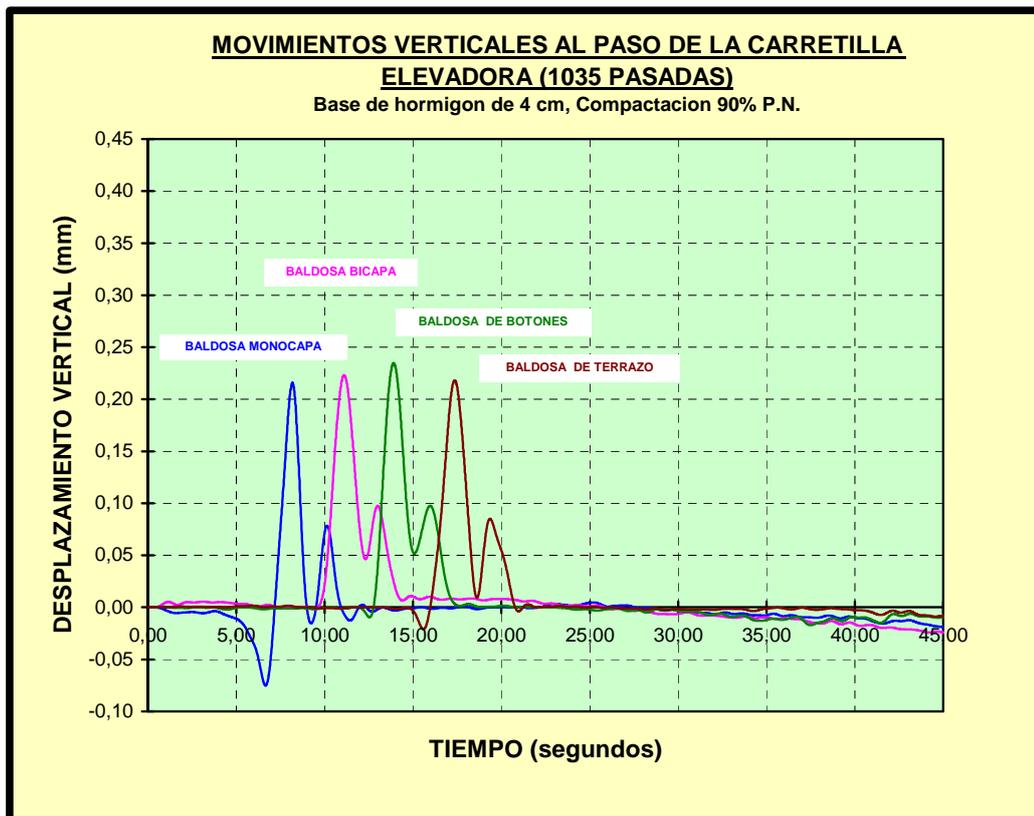


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (1035 PASADAS)



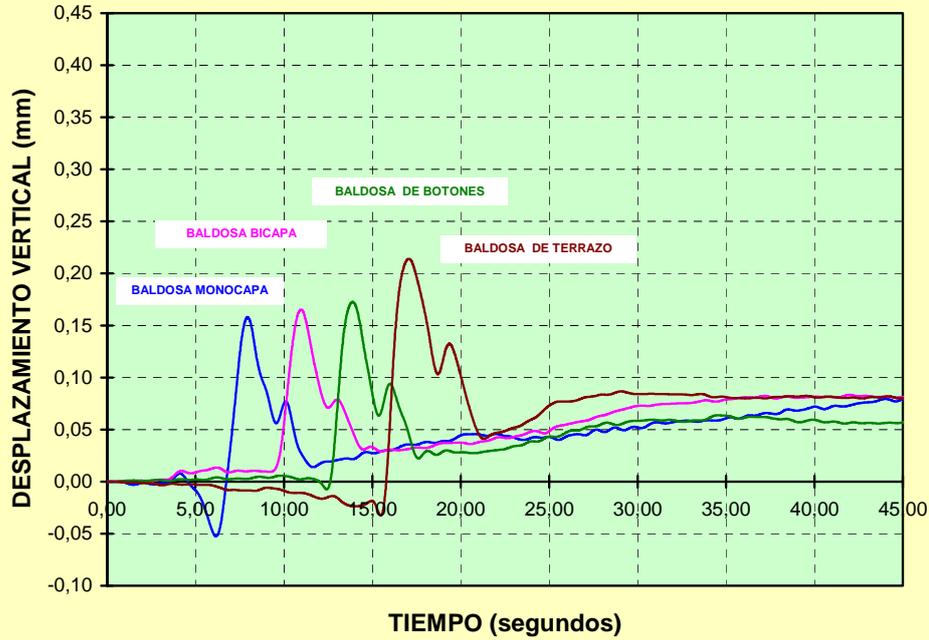
MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (1035 PASADAS)





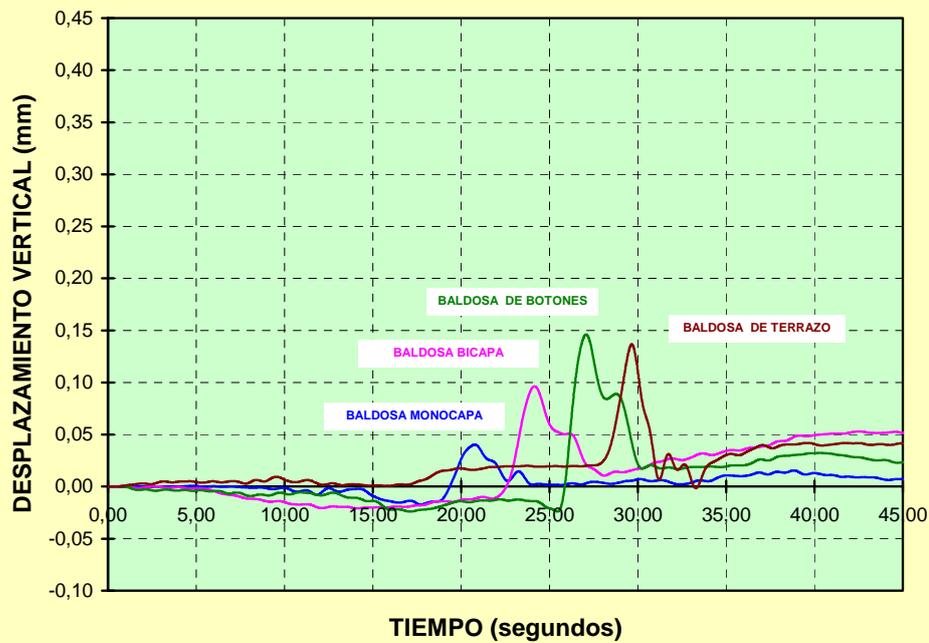
**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA
ELEVADORA (1035 PASADAS)**

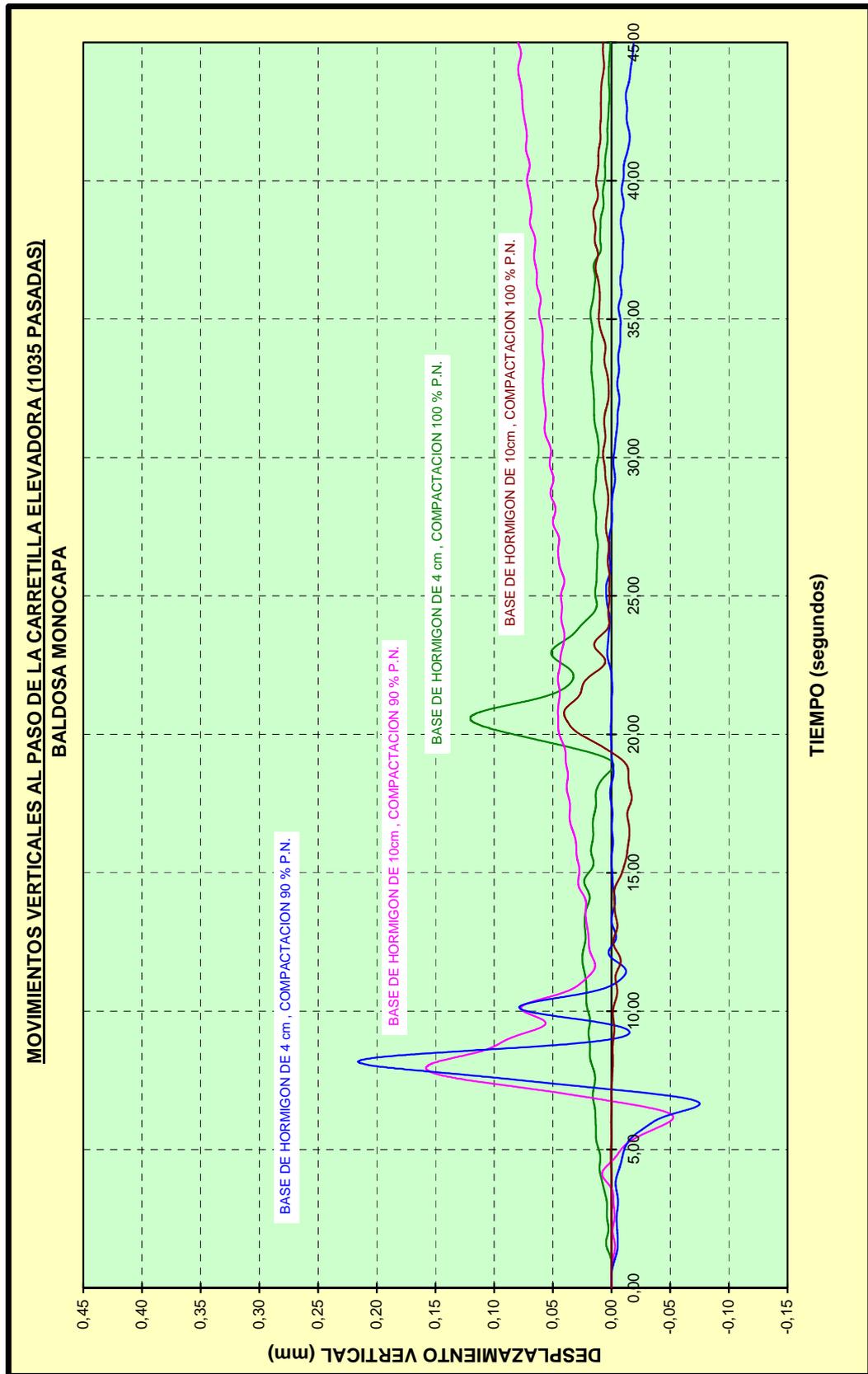
Base de hormigon de 10 cm, Compactacion 90% P.N.



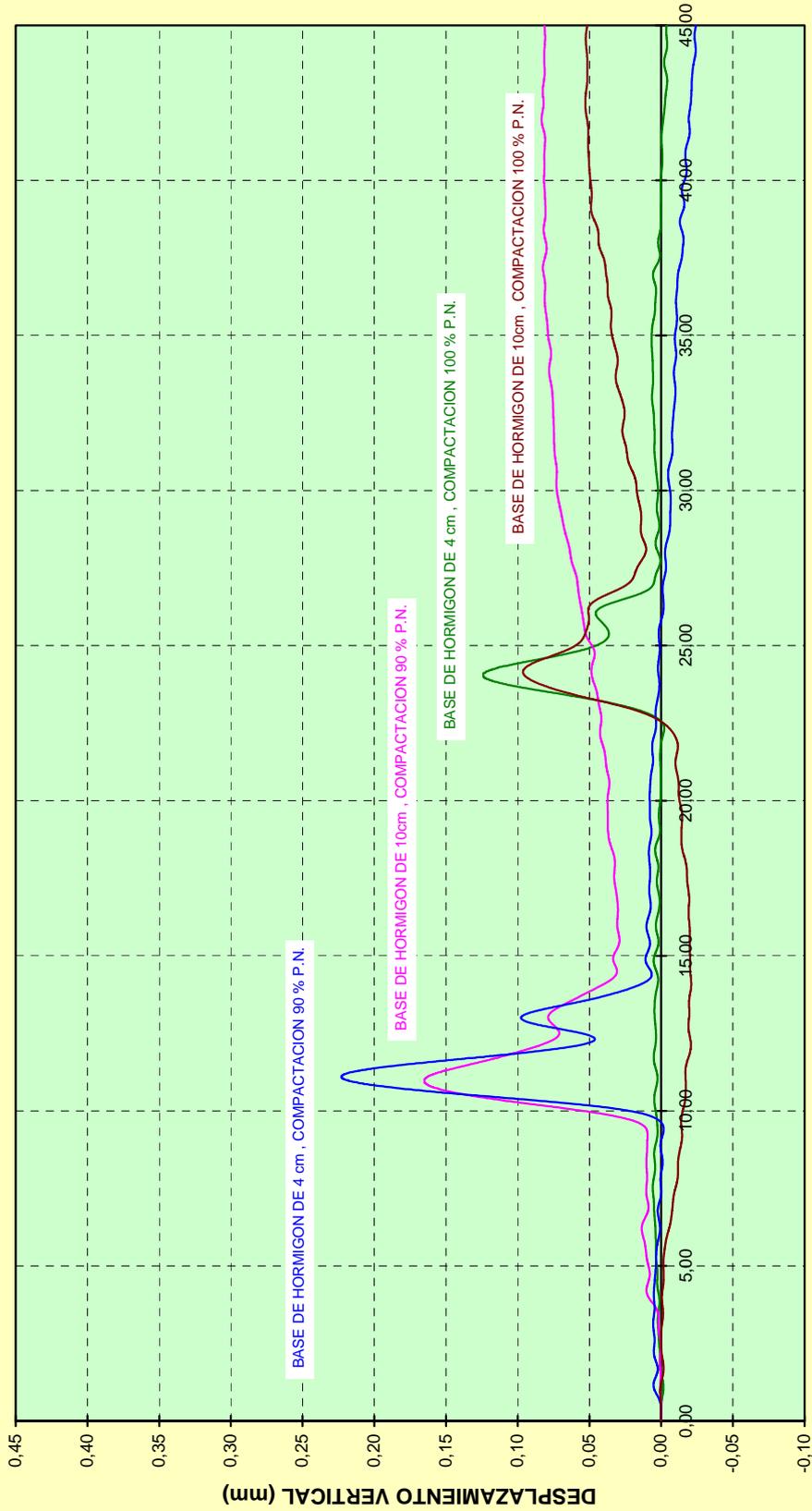
**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA
ELEVADORA (1035 PASADAS)**

Base de hormigon de 10 cm, Compactacion 100% P.N.

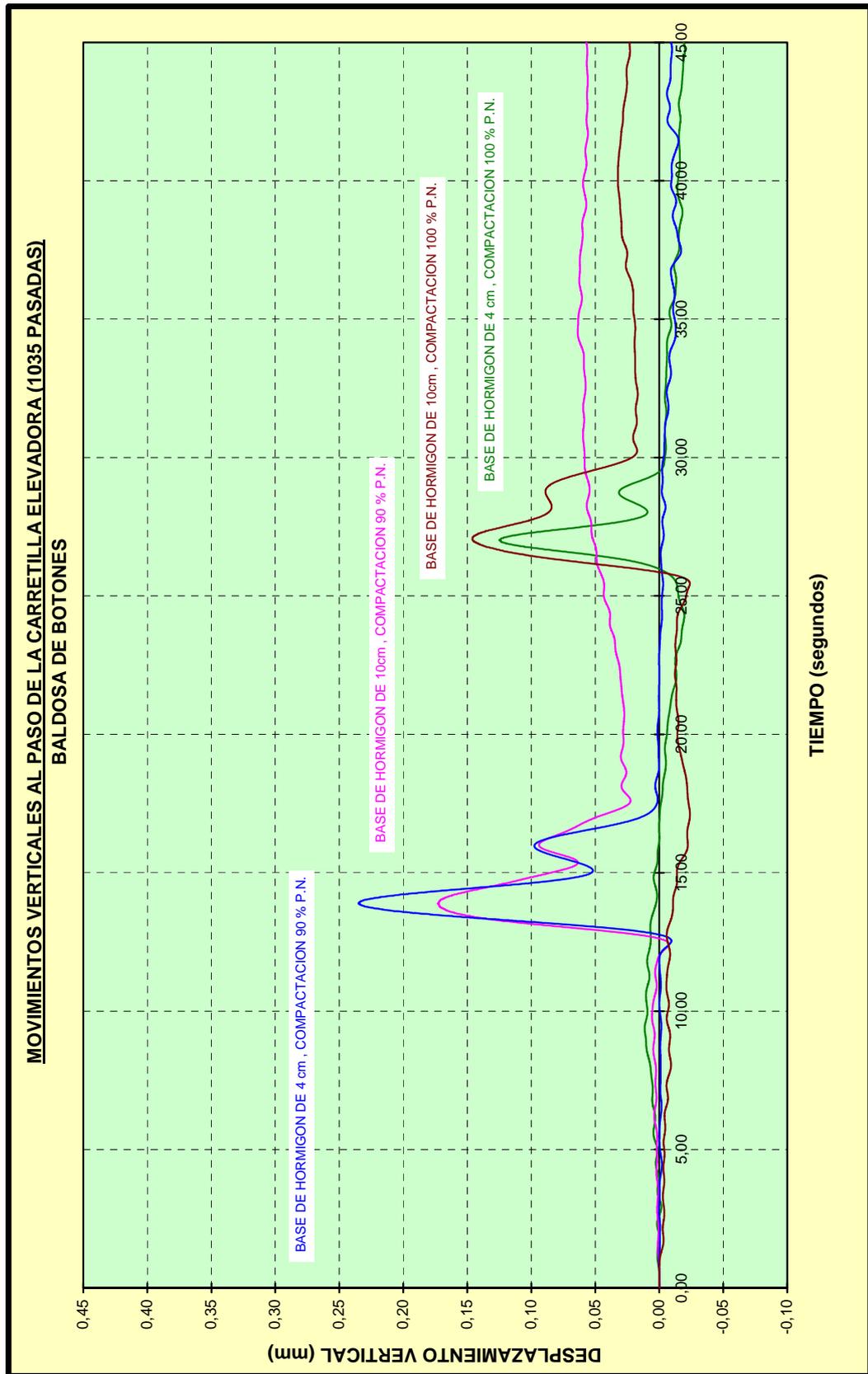




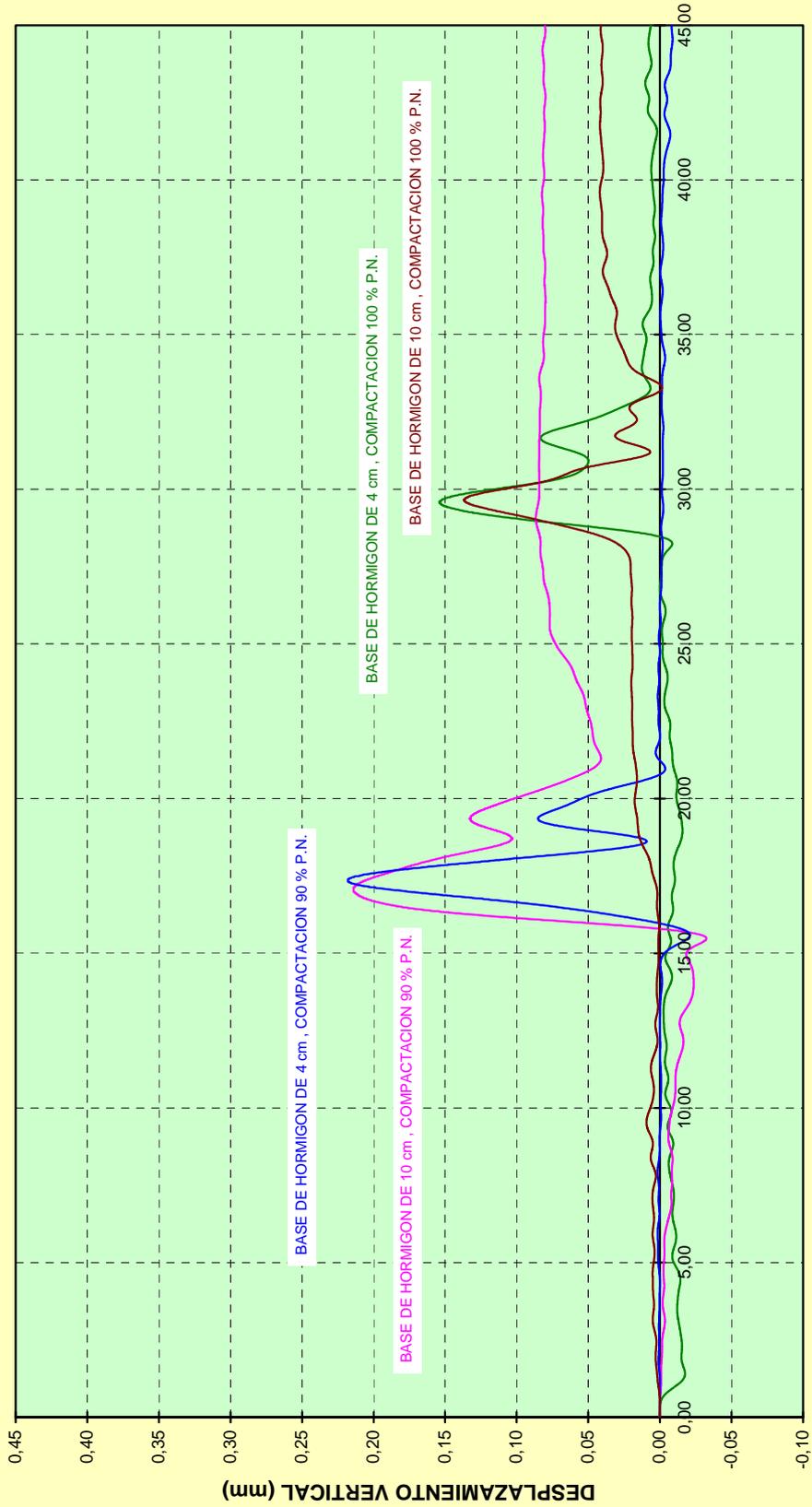
**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (1035 PASADAS)
BALDOSA BICAPA**



TIEMPO (segundos)



**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (1035 PASADAS)
BALDOSA DE TERRAZO**

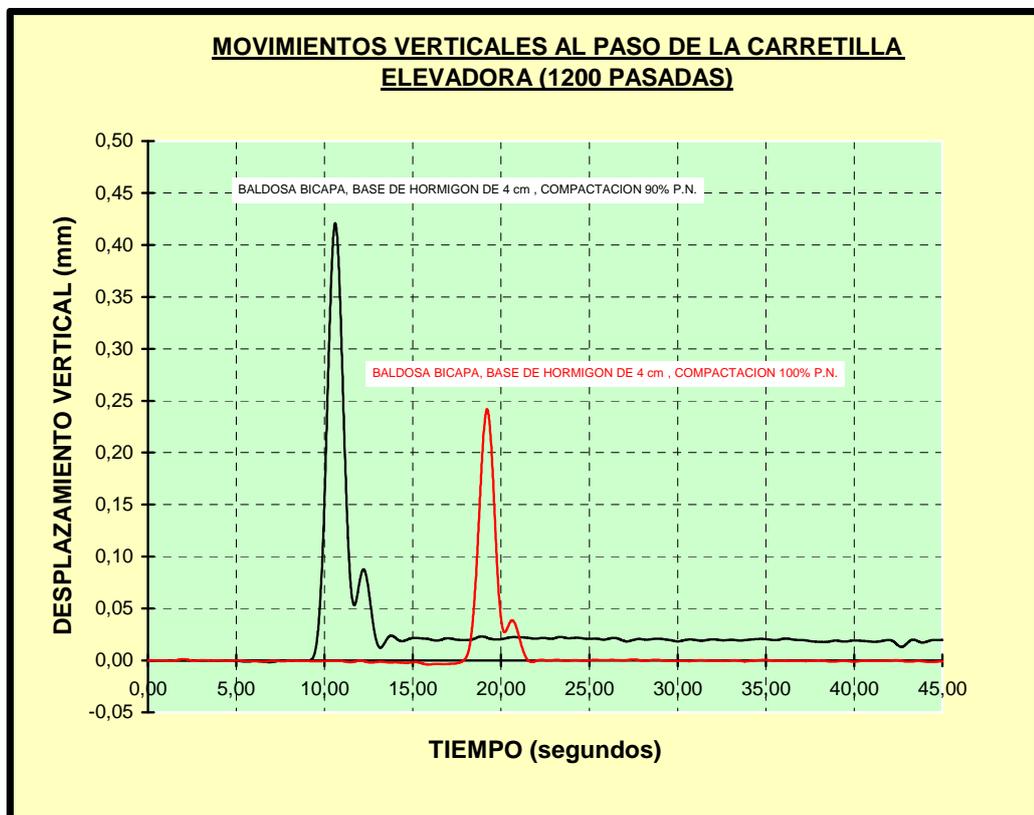
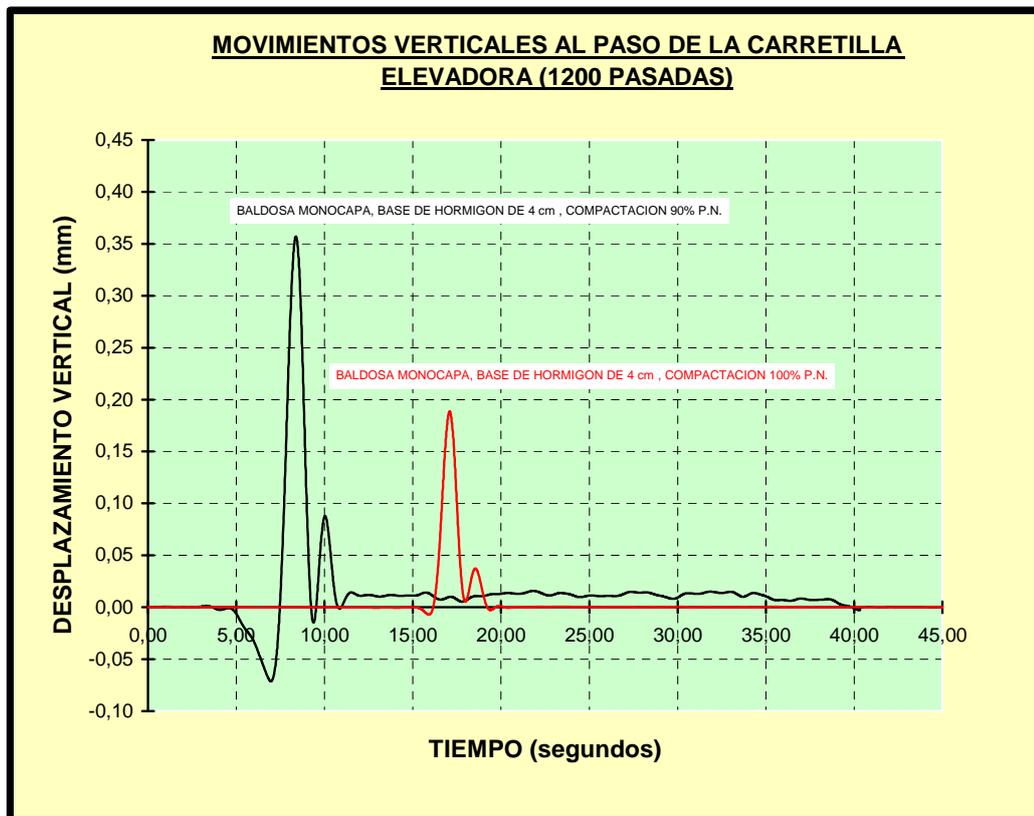


TIEMPO (segundos)

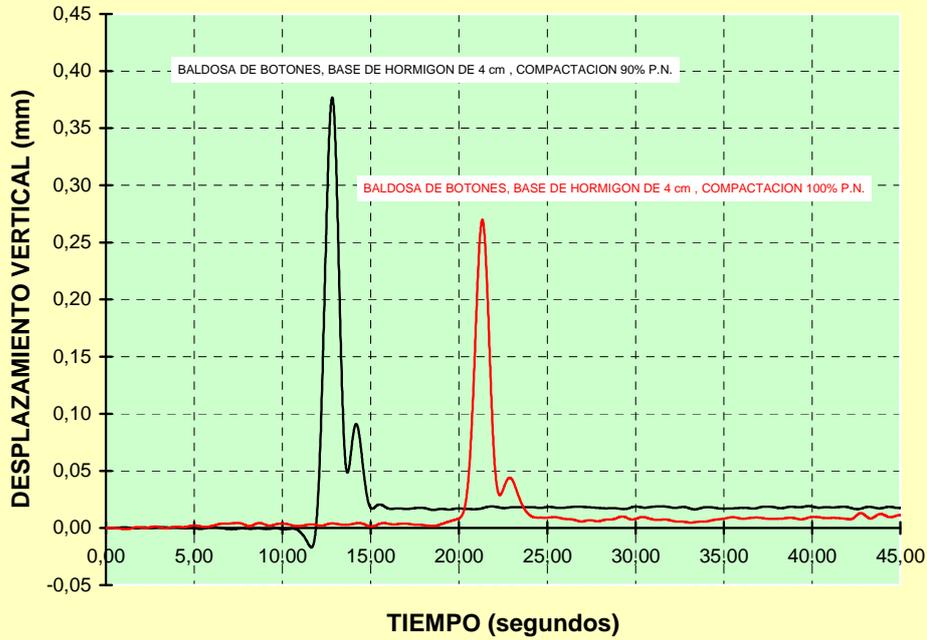
**GRÁFICOS 1200 PASADAS DE CARRETILLA
MOVIMIENTOS AL PASO DE UNA CARRETILLA CARGADA**

**GRÁFICOS COMBINANDO MISMO TIPO DE
BALDOSA DISTINTO TIPO DE COMPACTACIÓN Y DISTINTO
ESPESOR DE LOSA**

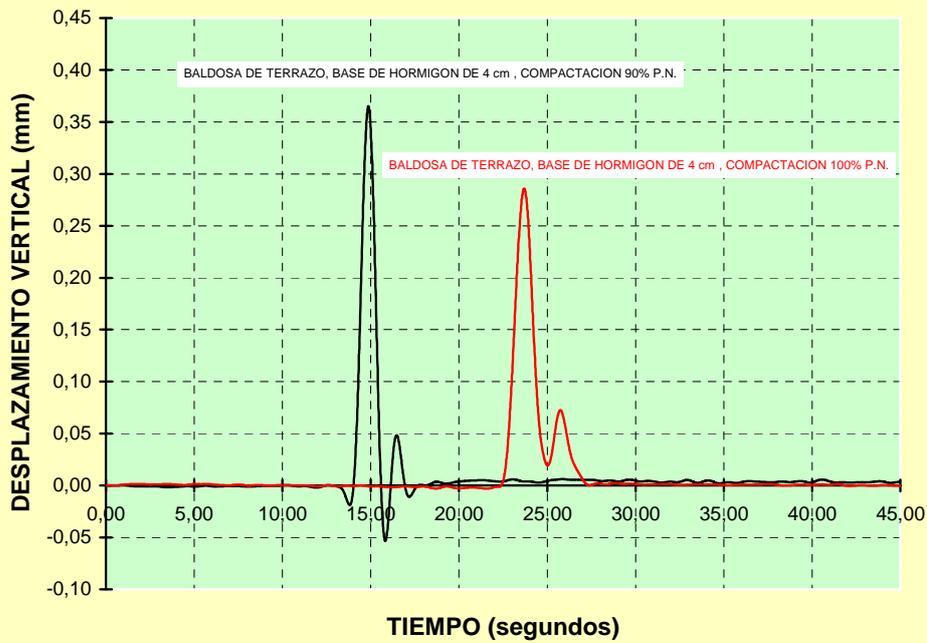
NOTA: El origen de tiempos del eje x de las diagramas que a continuación se muestran corresponde al momento en que se ordena que la carretilla entre en la "losa de ensayo". Obviamente la "flecha" máxima se obtiene simultáneamente sólo en aquellos módulos que se encuentran a igual distancia del borde de la losa. Se recuerda que se construyeron en paralelo siempre con el mismo tipo de baldosa pero diferente espesor de losa.

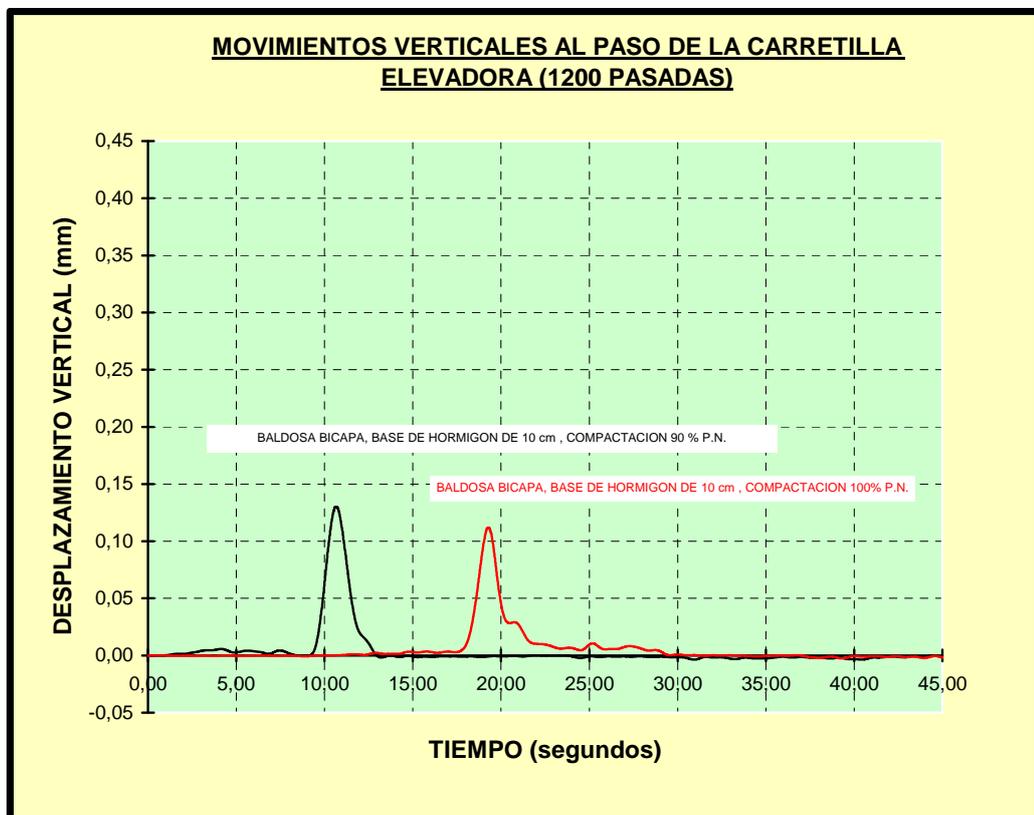
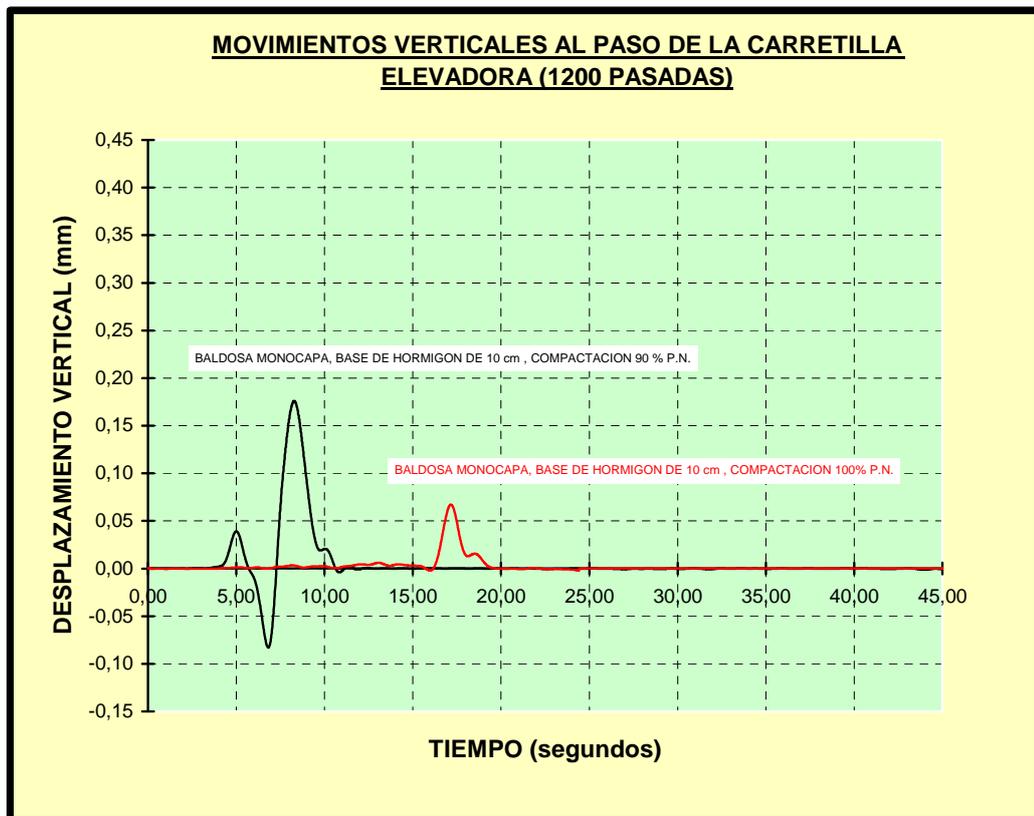


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (1200 PASADAS)

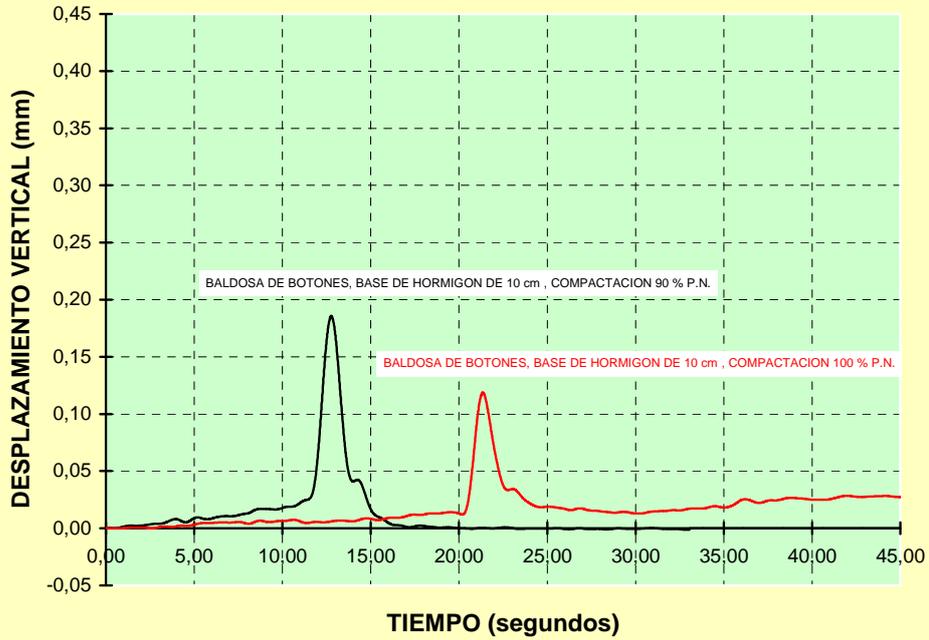


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (1200 PASADAS)

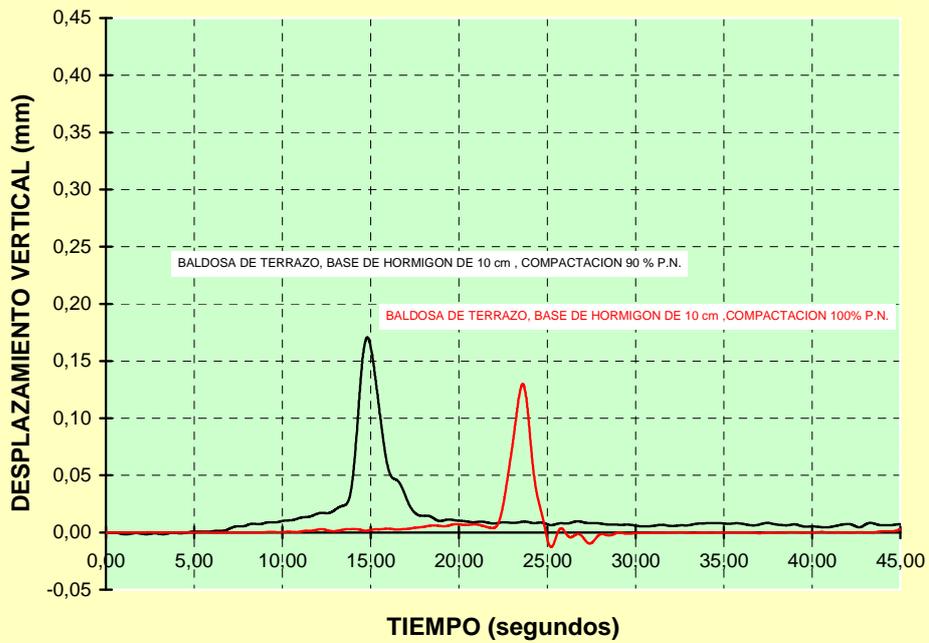


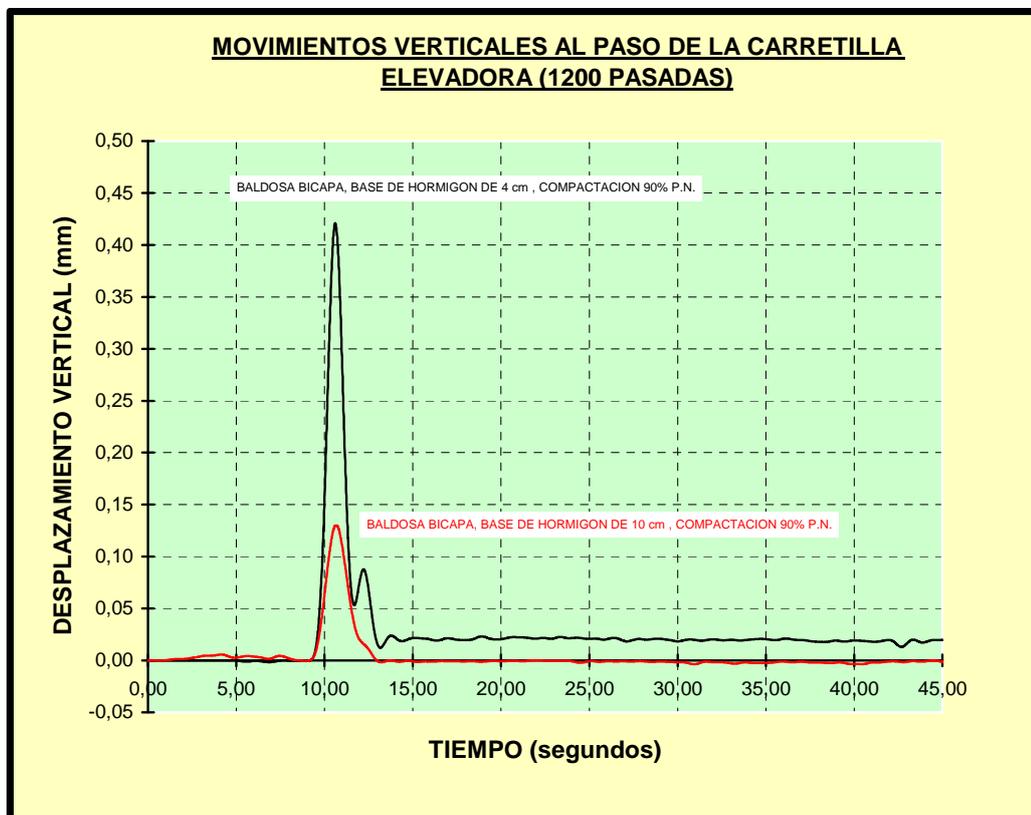
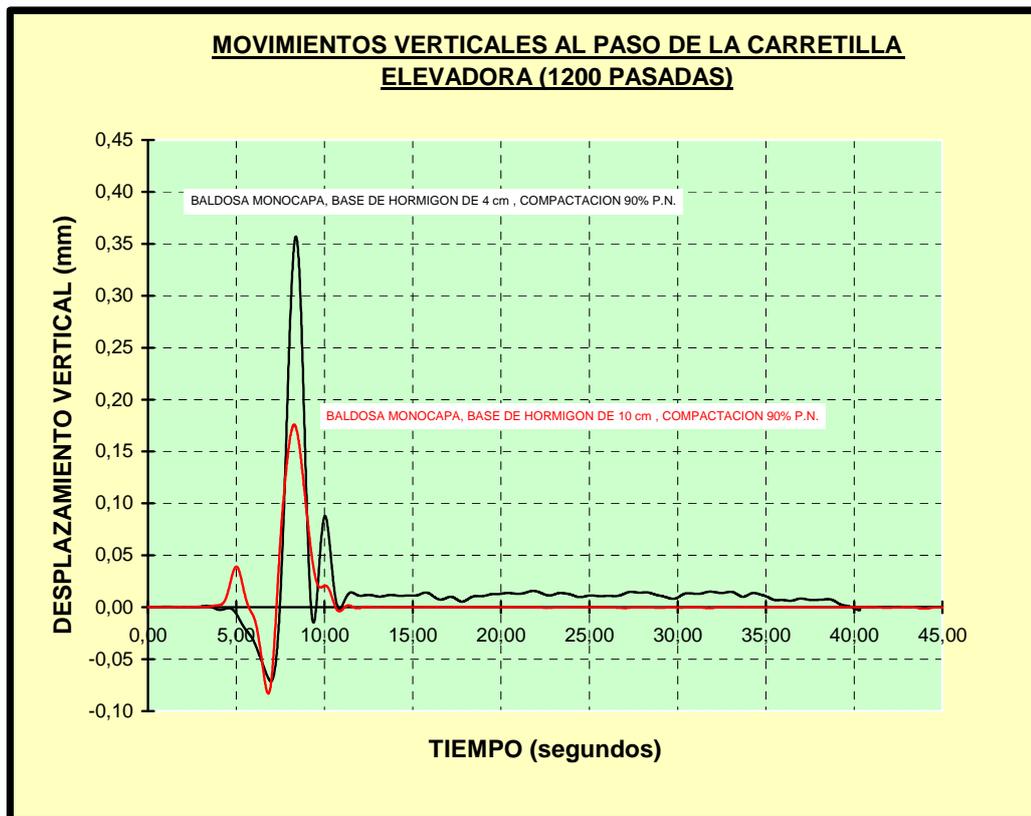


**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA
ELEVADORA (1200 PASADAS)**

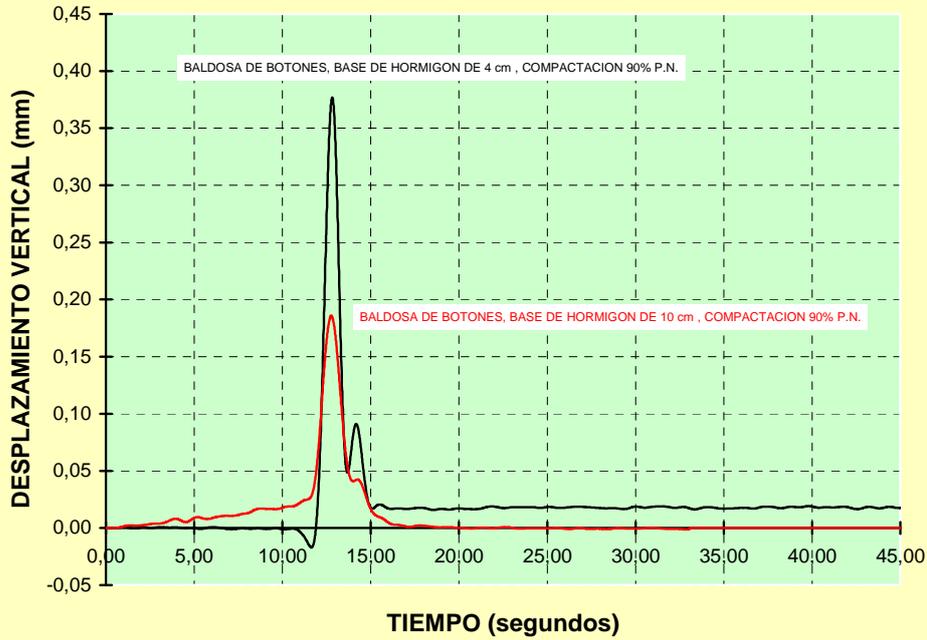


**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA
ELEVADORA (1200 PASADAS)**

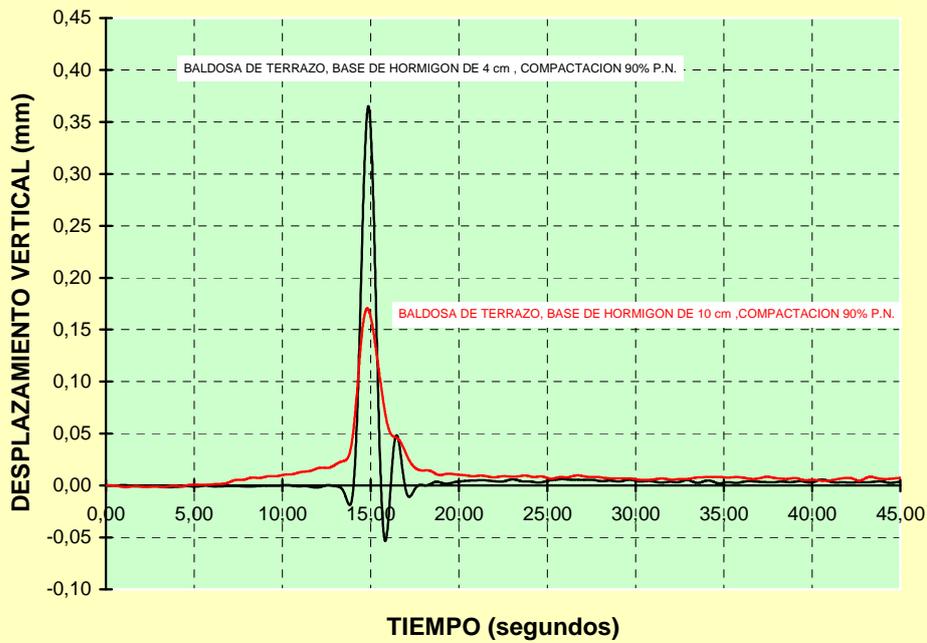


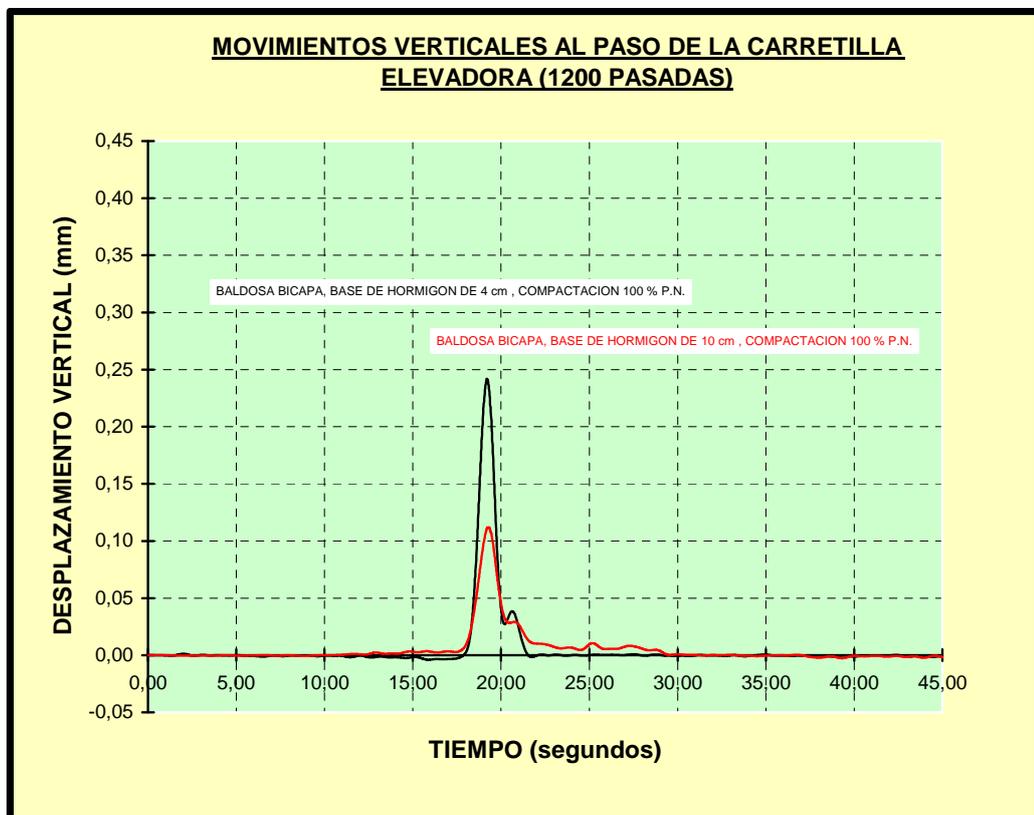
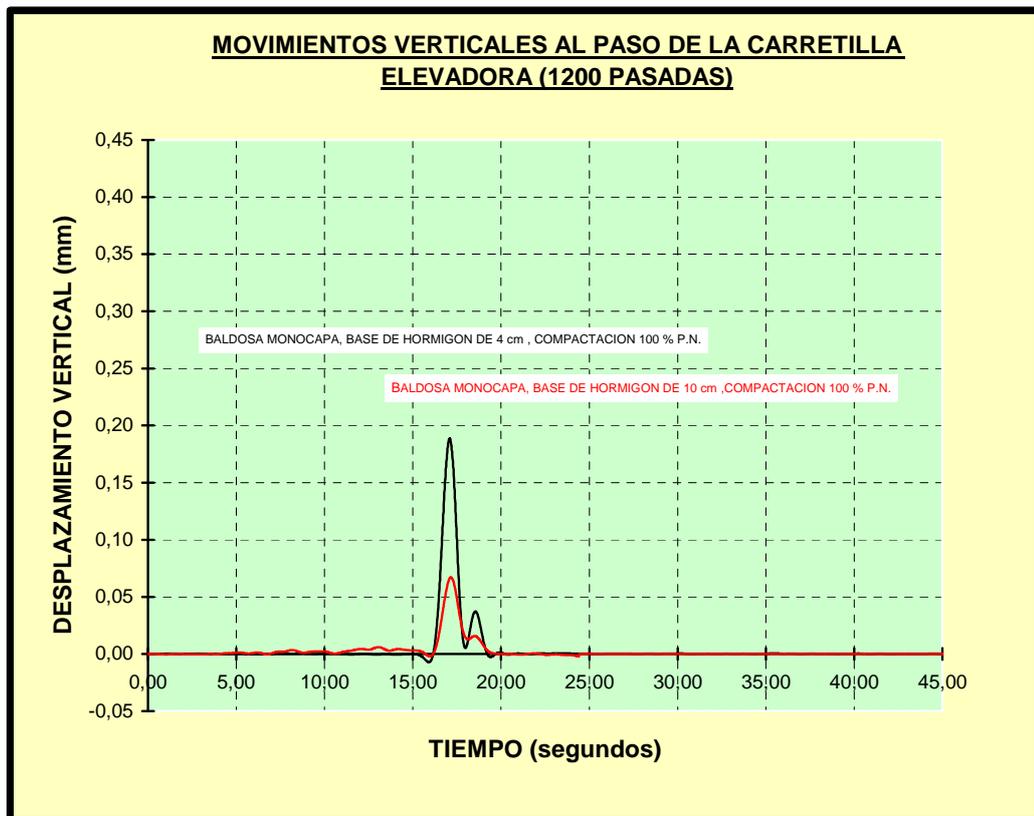


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (1200 PASADAS)

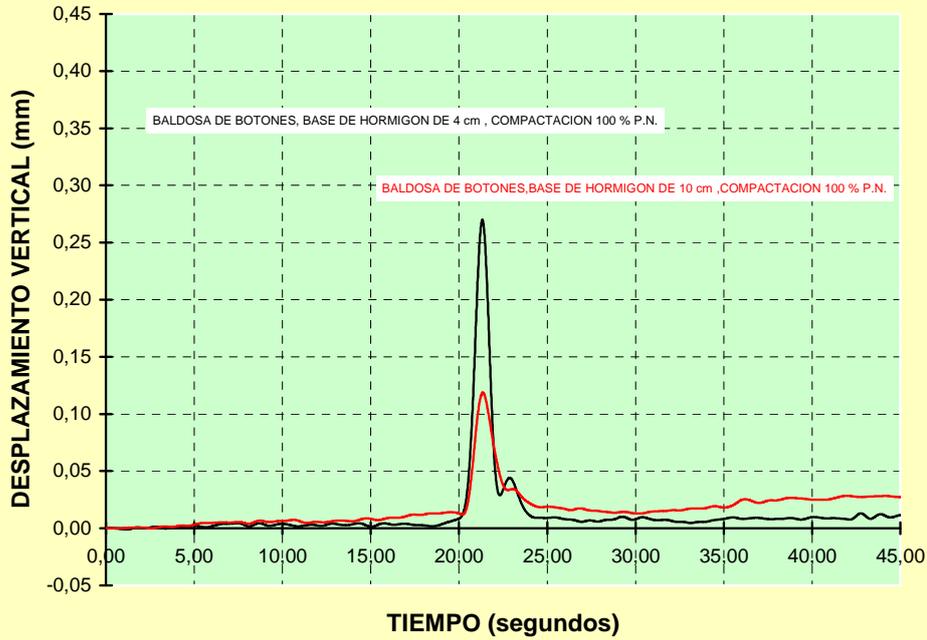


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (1200 PASADAS)

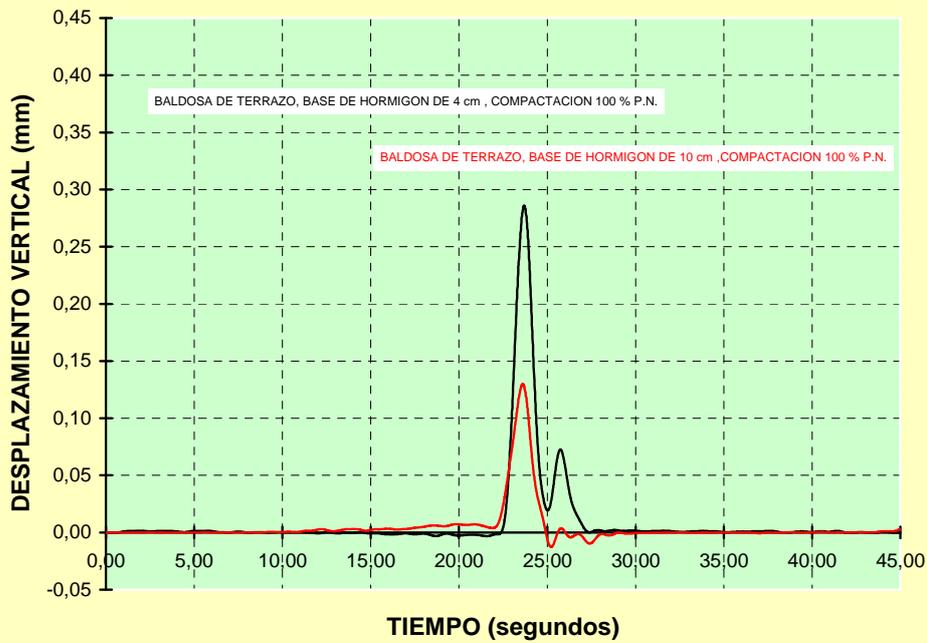


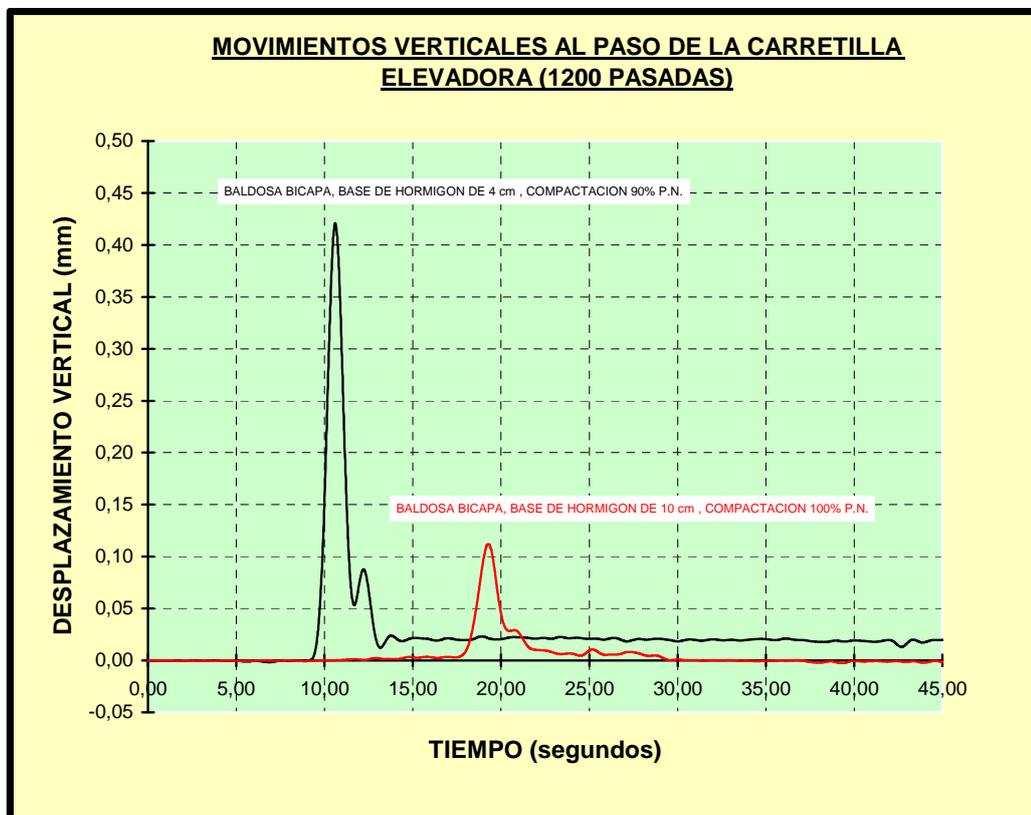
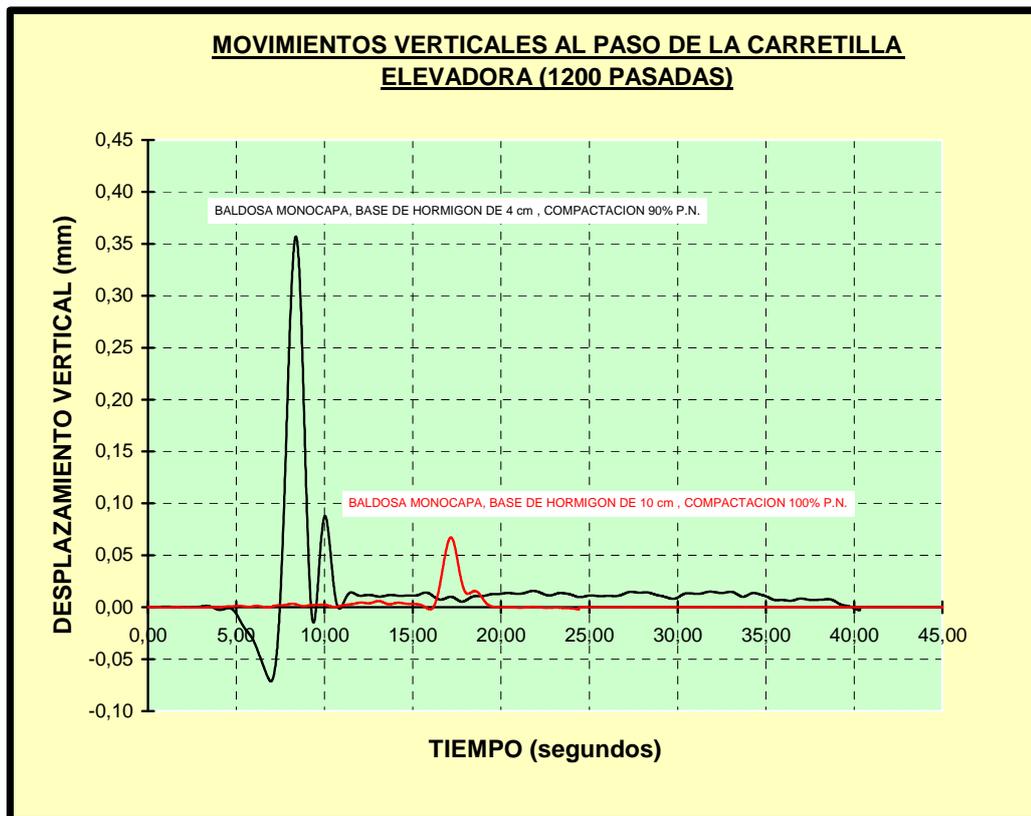


**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA
ELEVADORA (1200 PASADAS)**

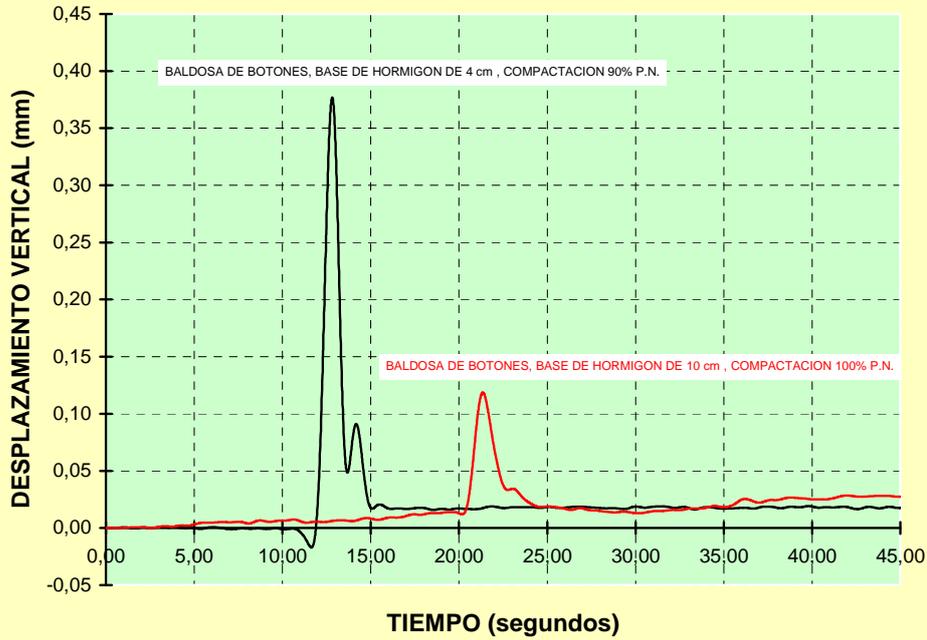


**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA
ELEVADORA (1200 PASADAS)**

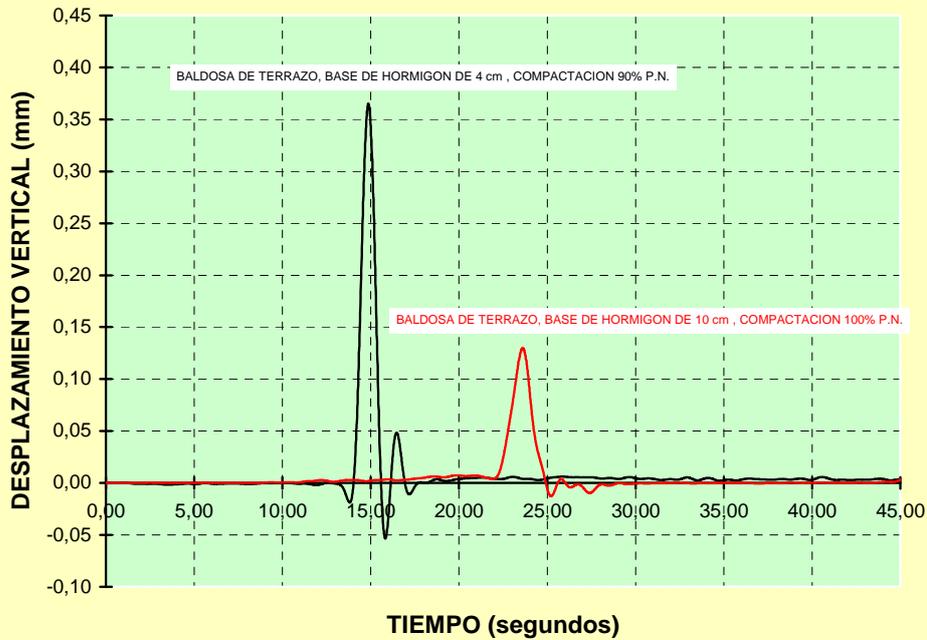


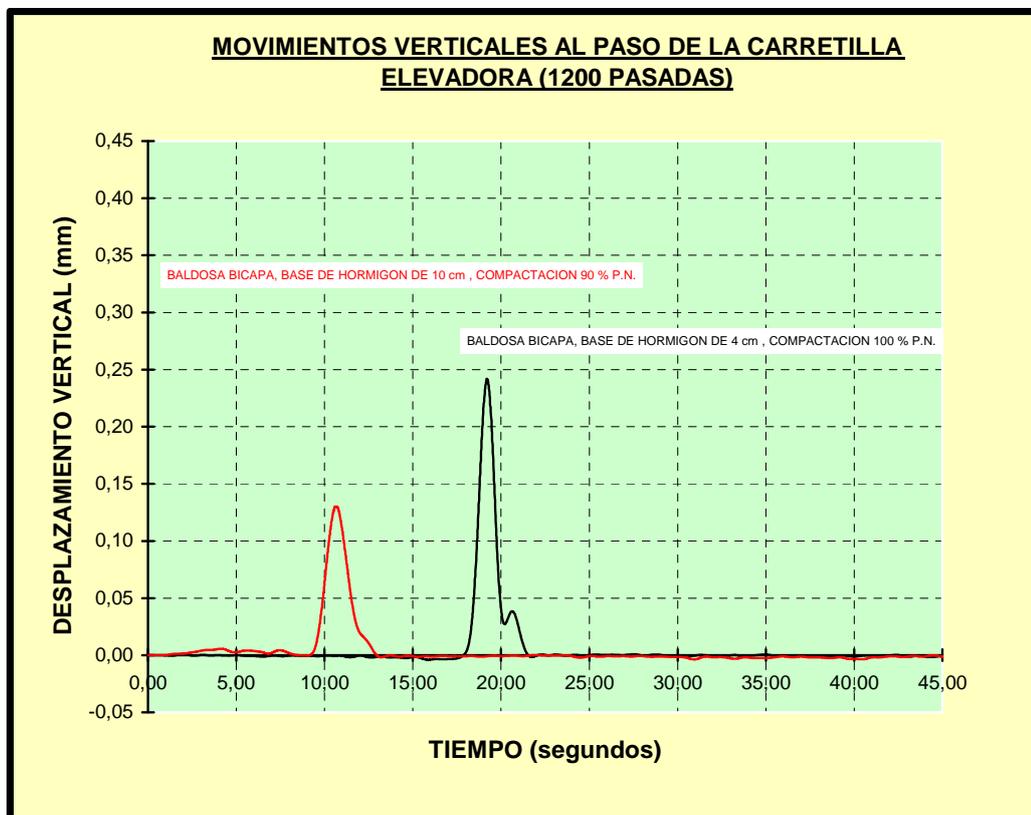
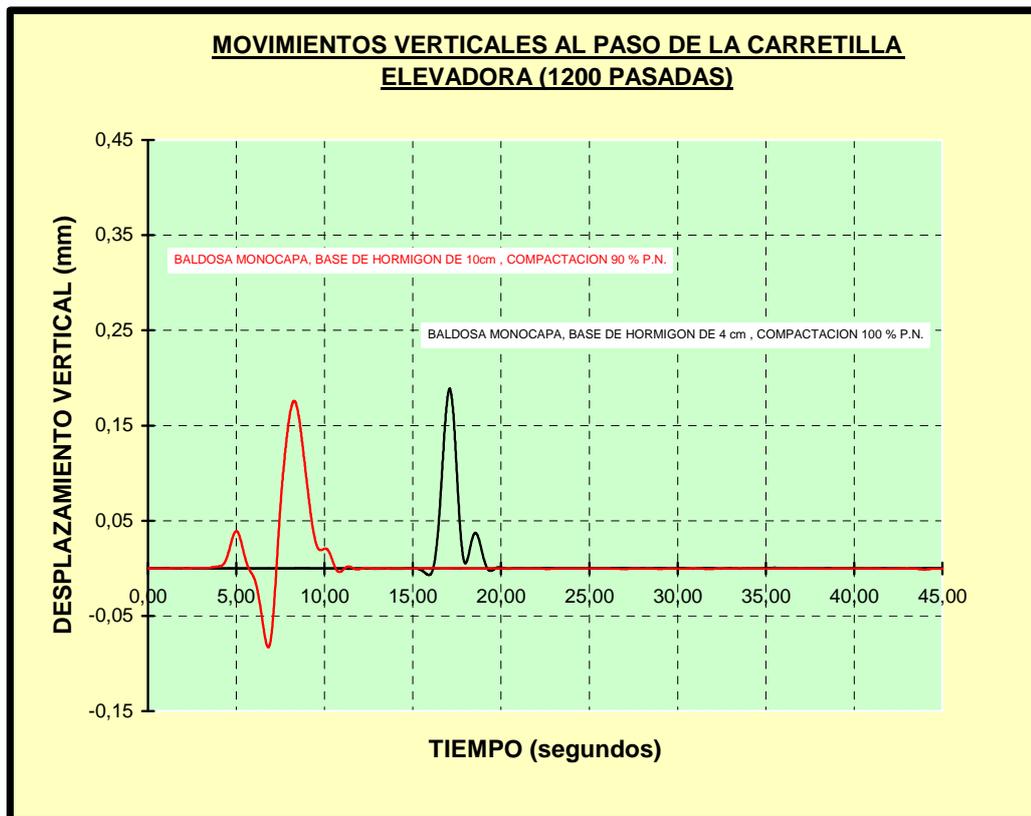


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (1200 PASADAS)

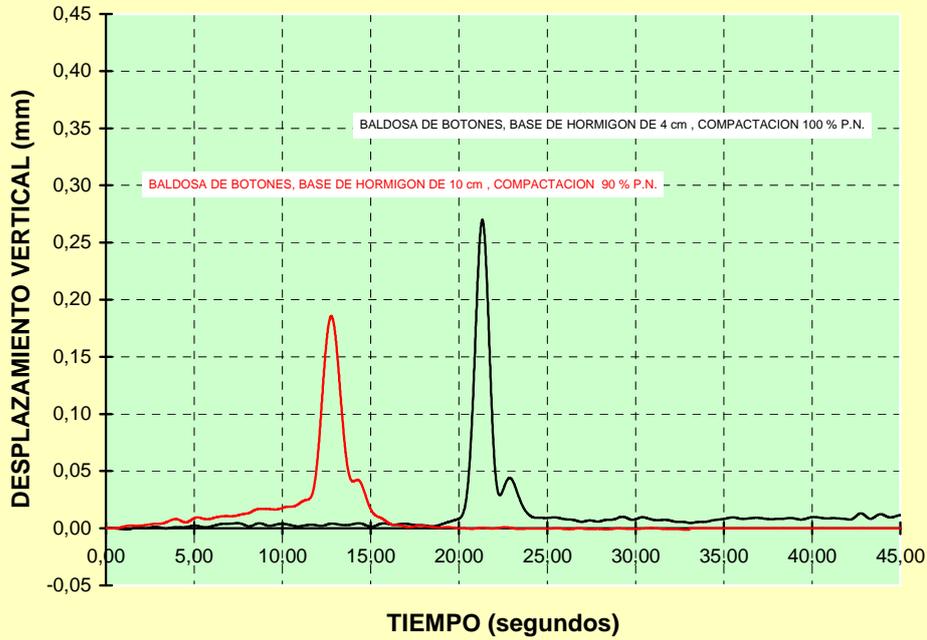


MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (1200 PASADAS)

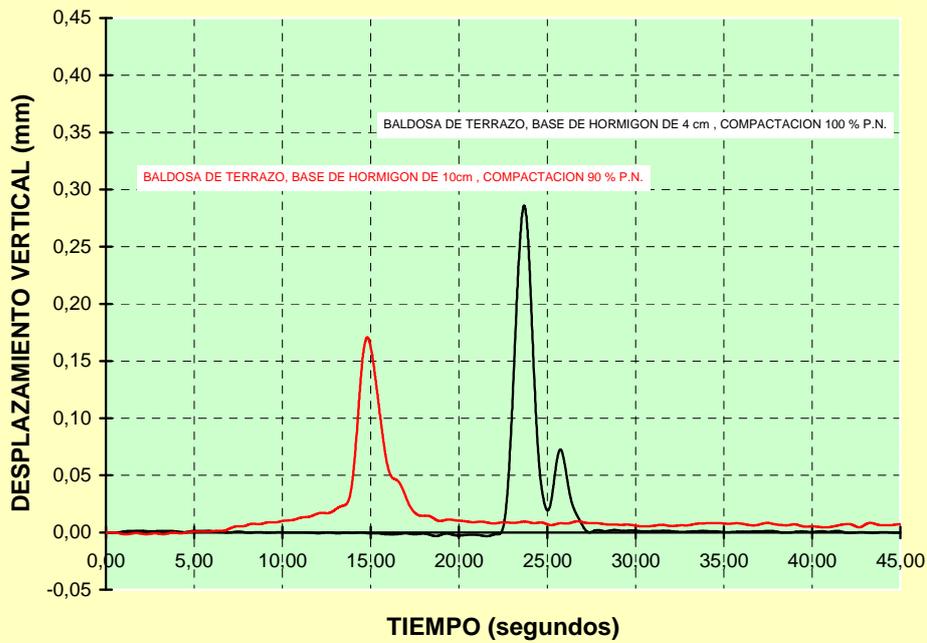


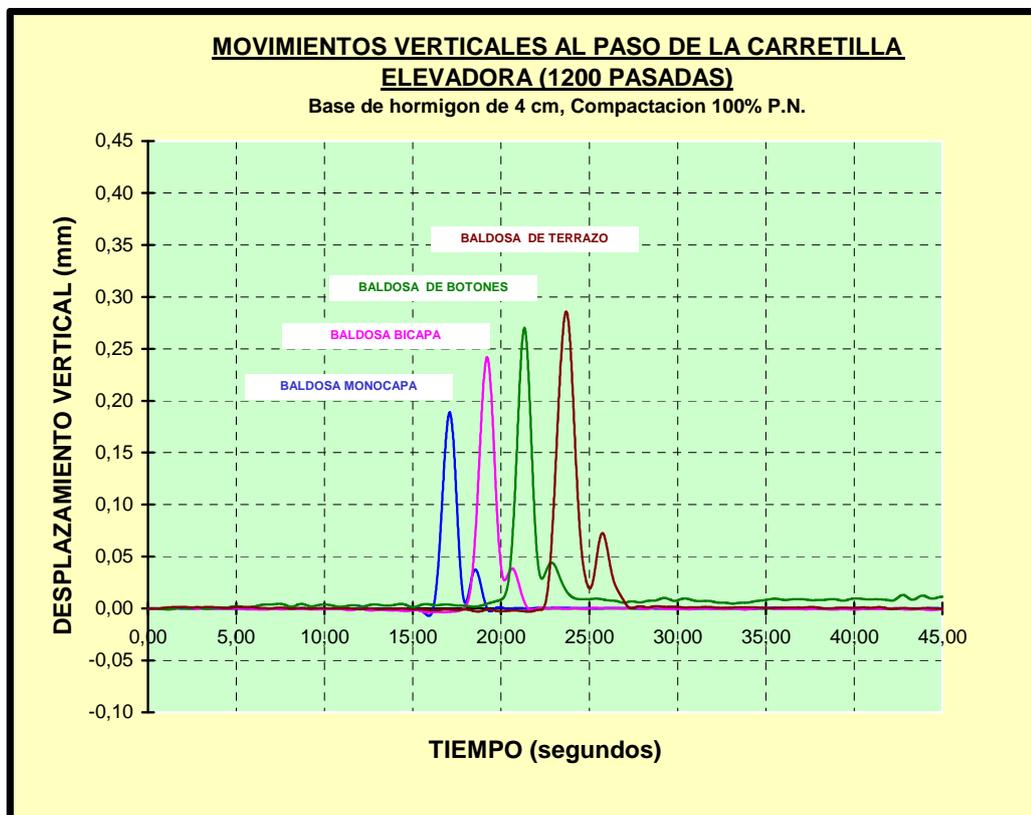
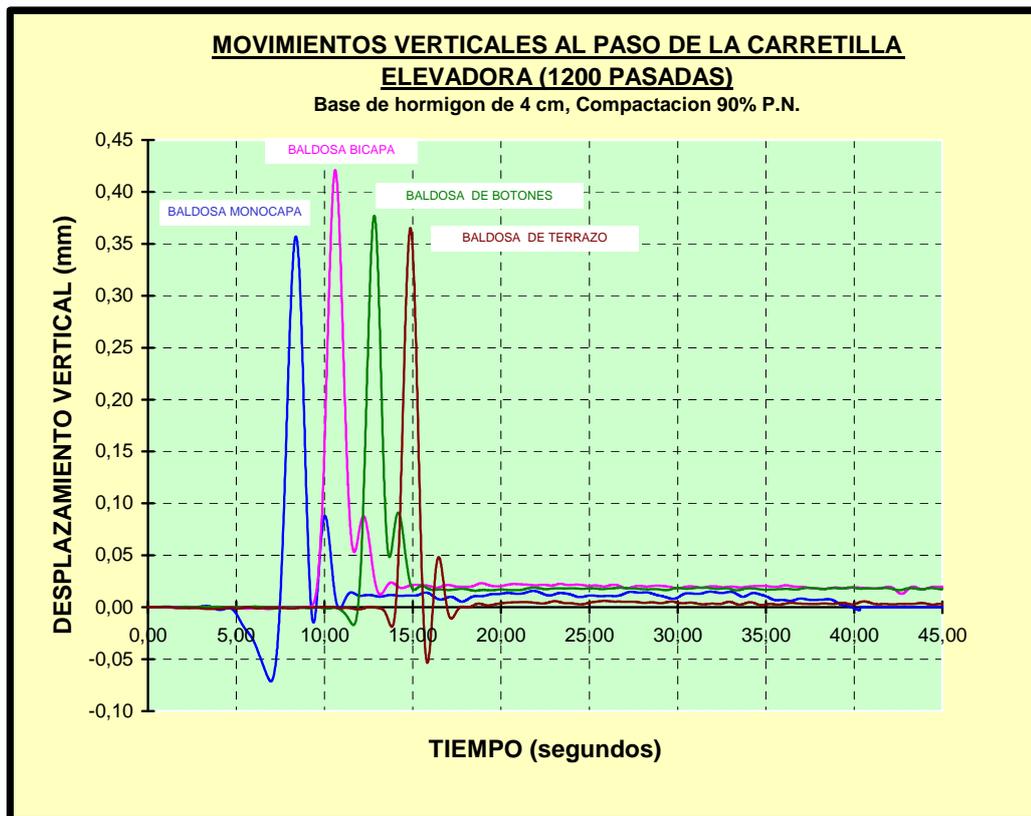


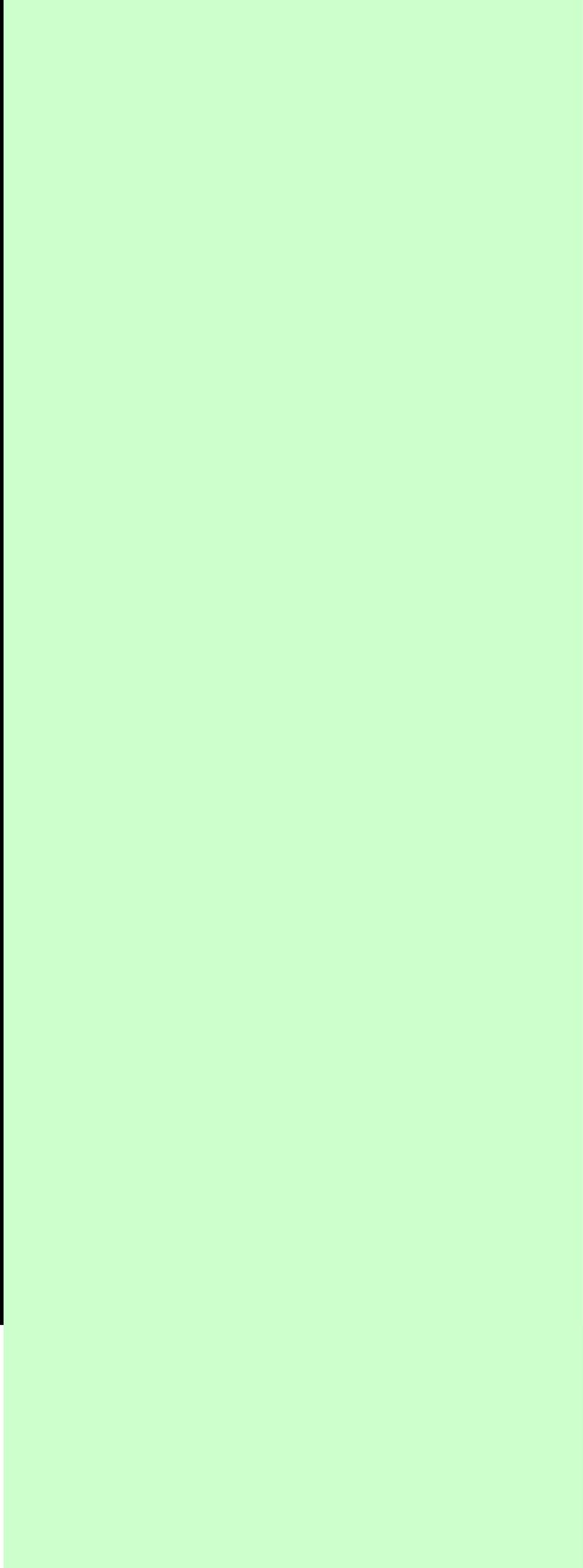
**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA
ELEVADORA (1200 PASADAS)**

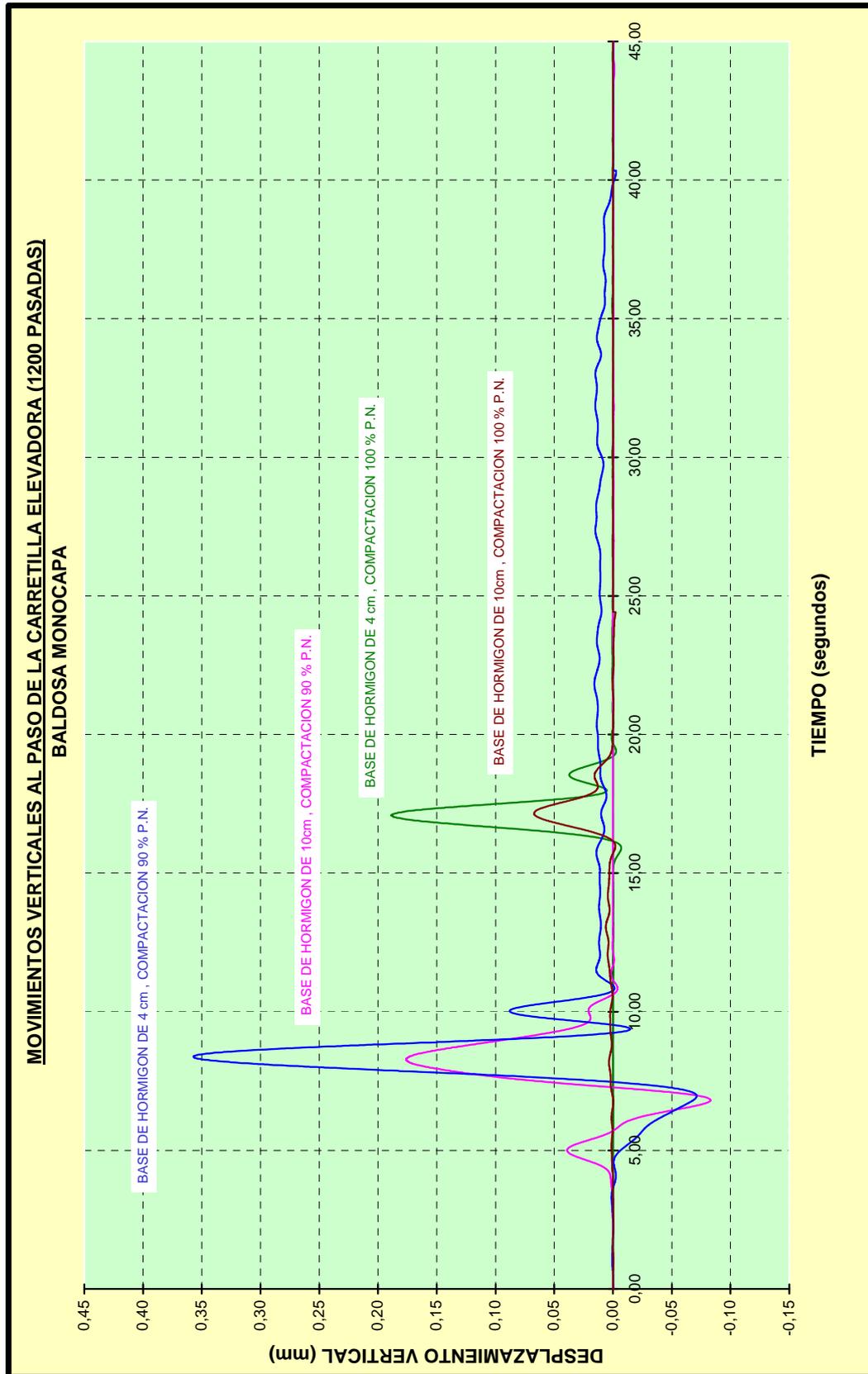


**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA
ELEVADORA (1200 PASADAS)**

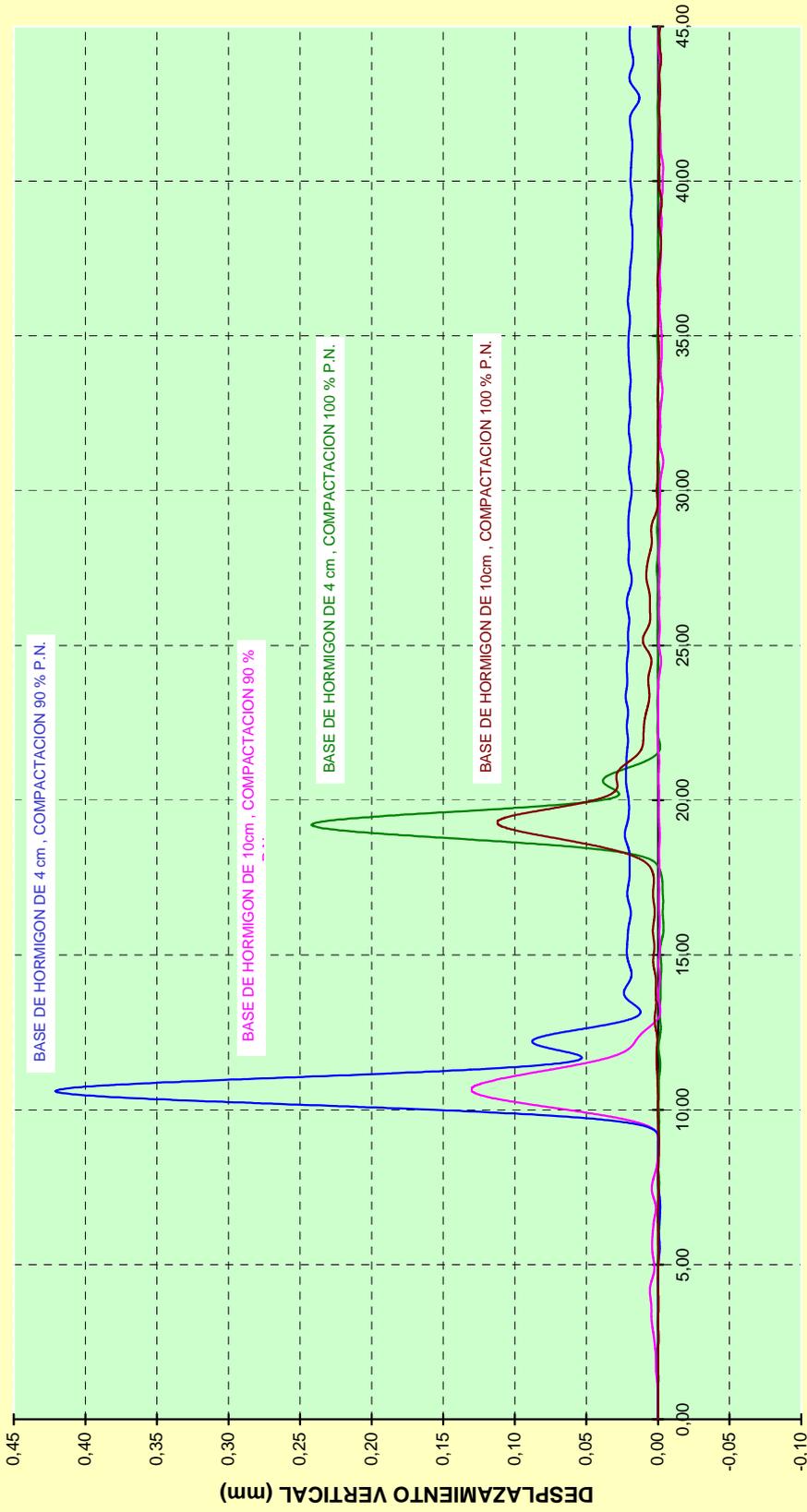




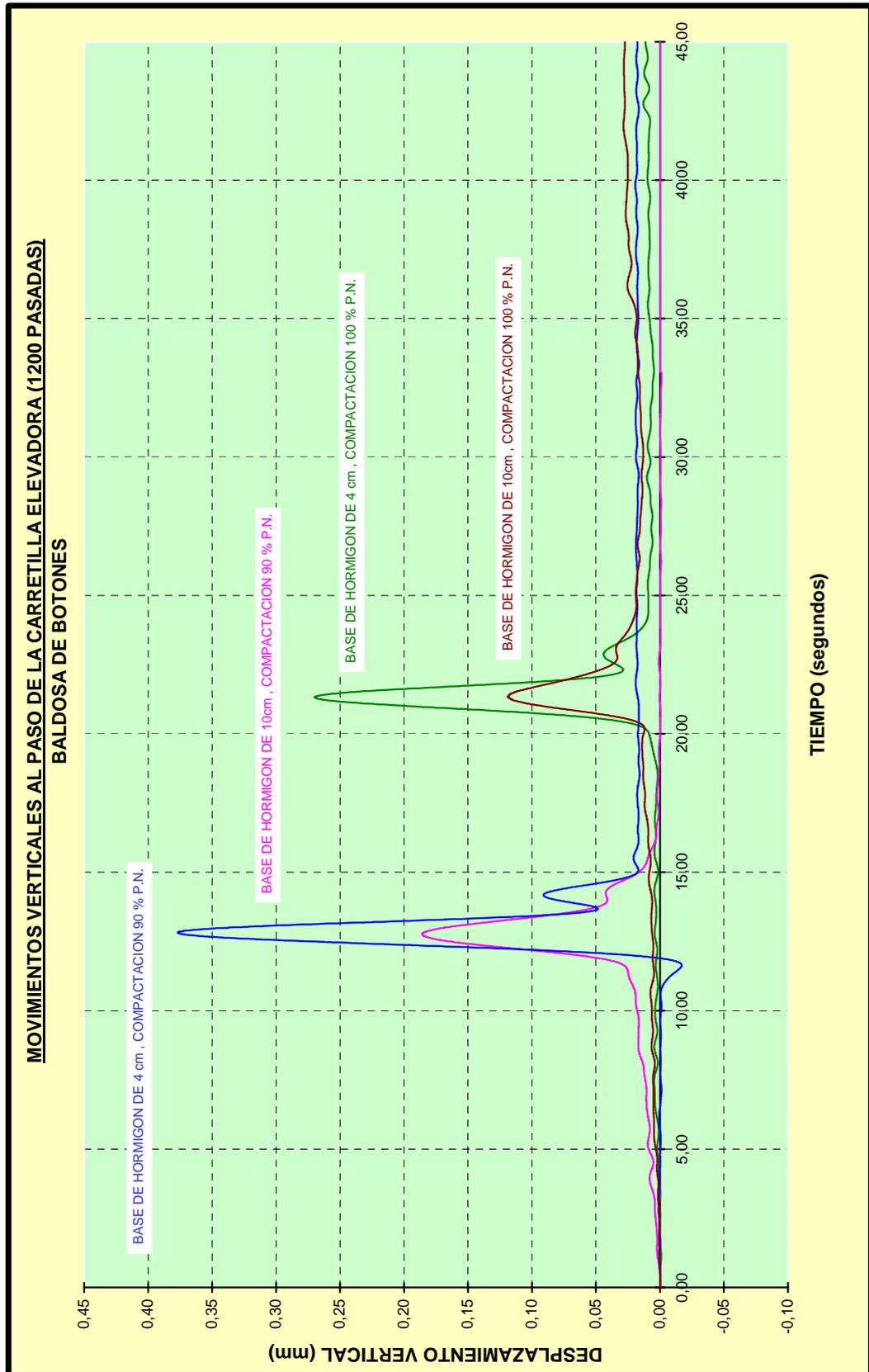




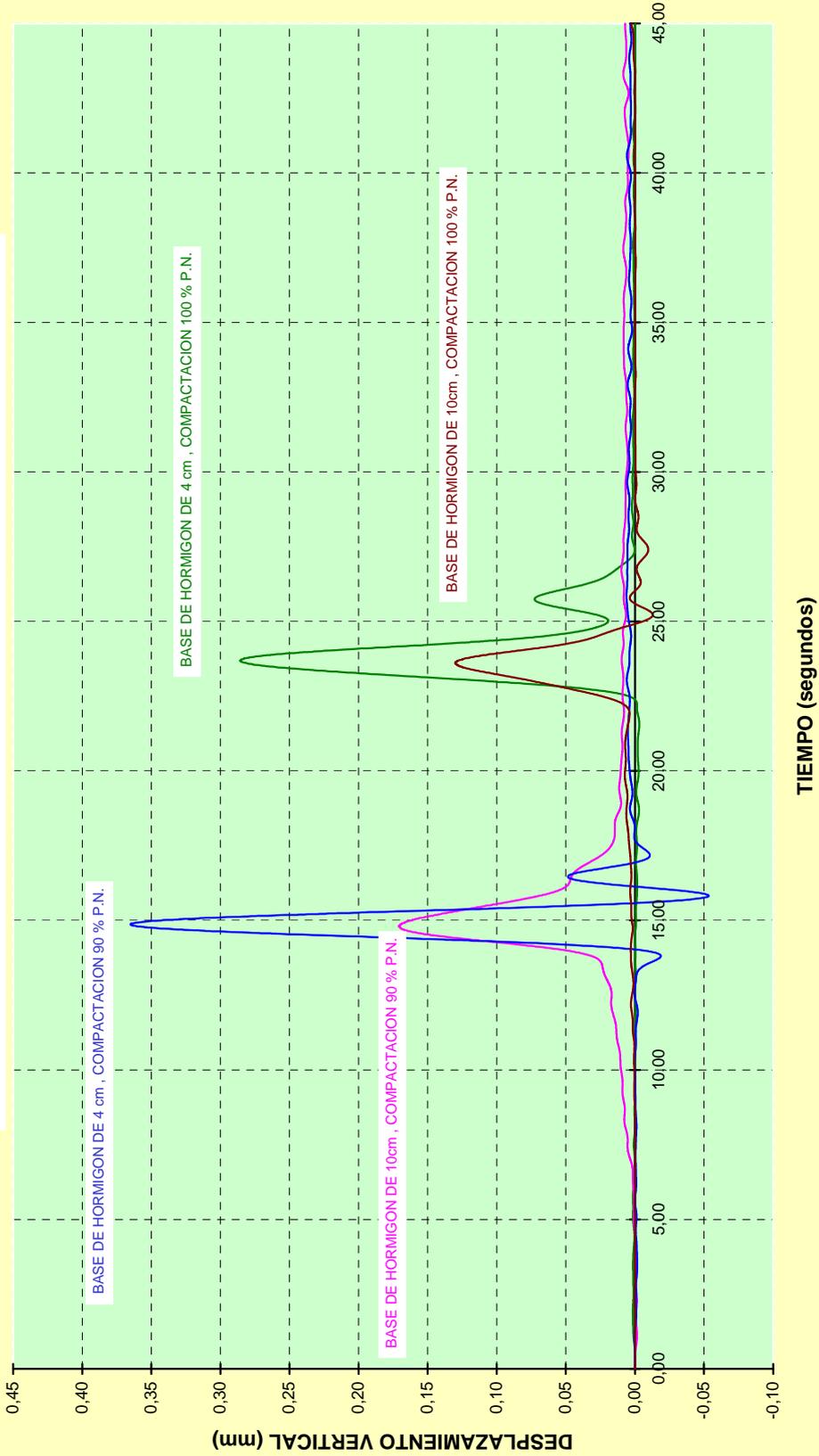
**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (1200 PASADAS)
BALDOSA BICAPA**



TIEMPO (segundos)

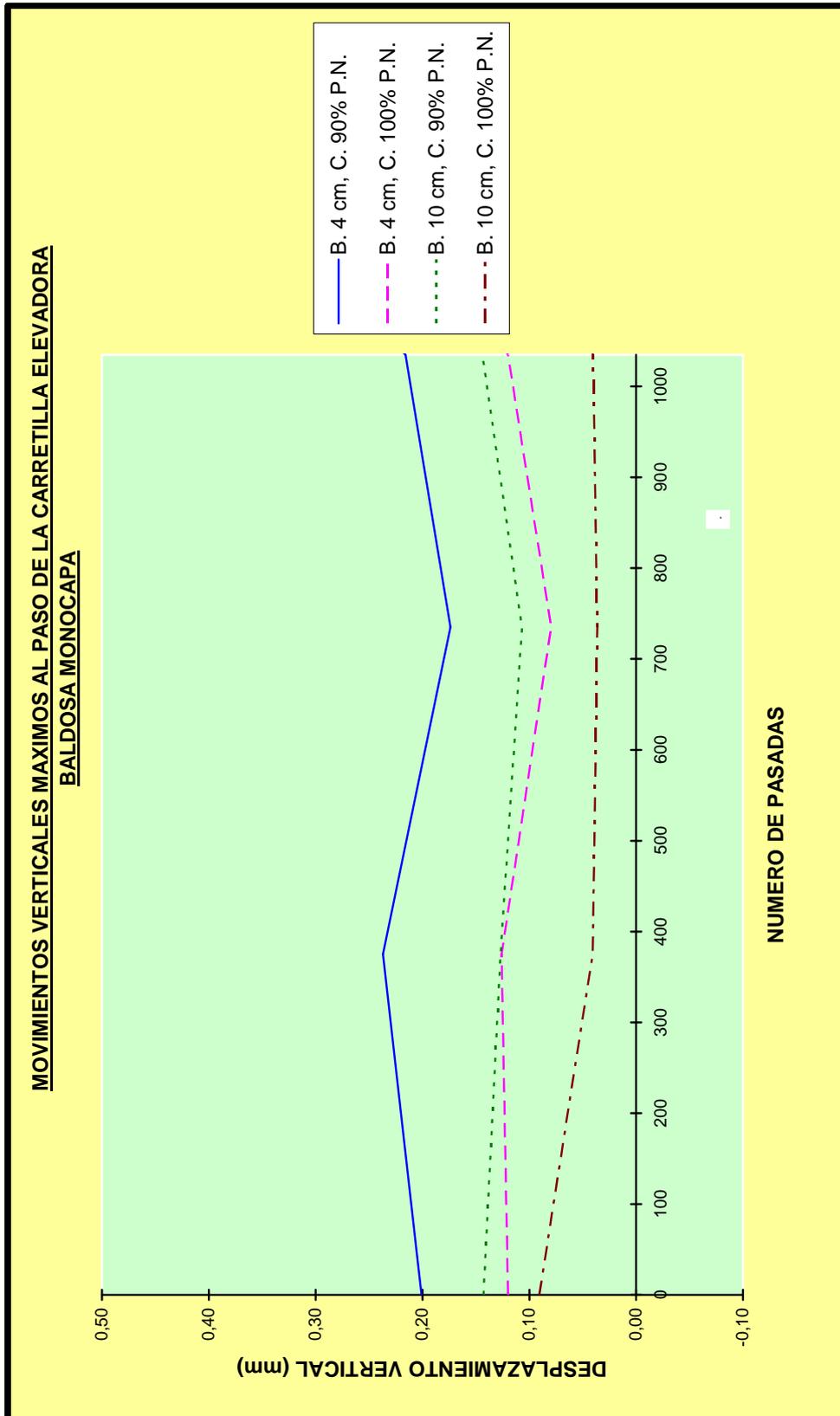


**MOVIMIENTOS VERTICALES AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA (1200 PASADAS)
BALDOSA DE TERRAZO**

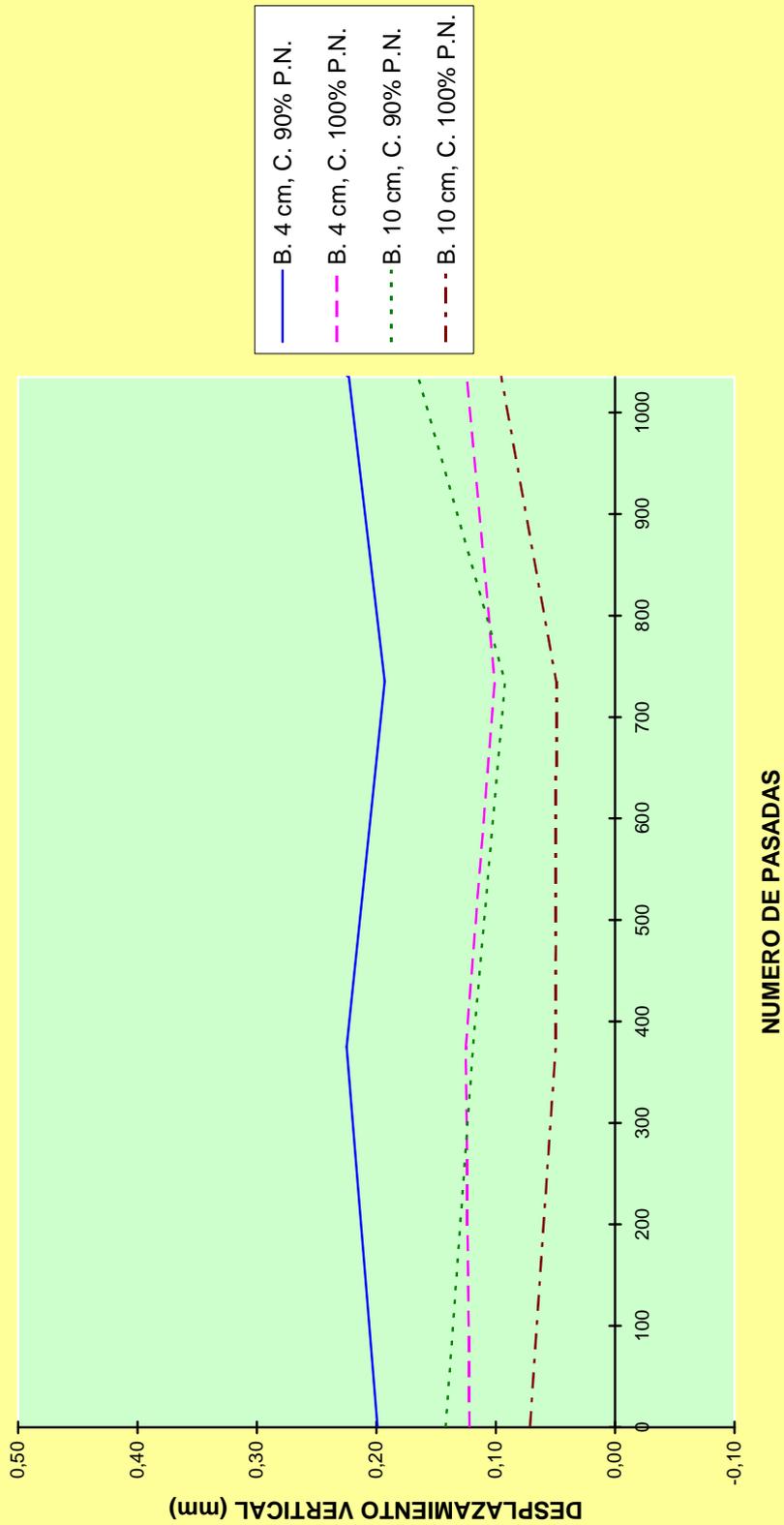


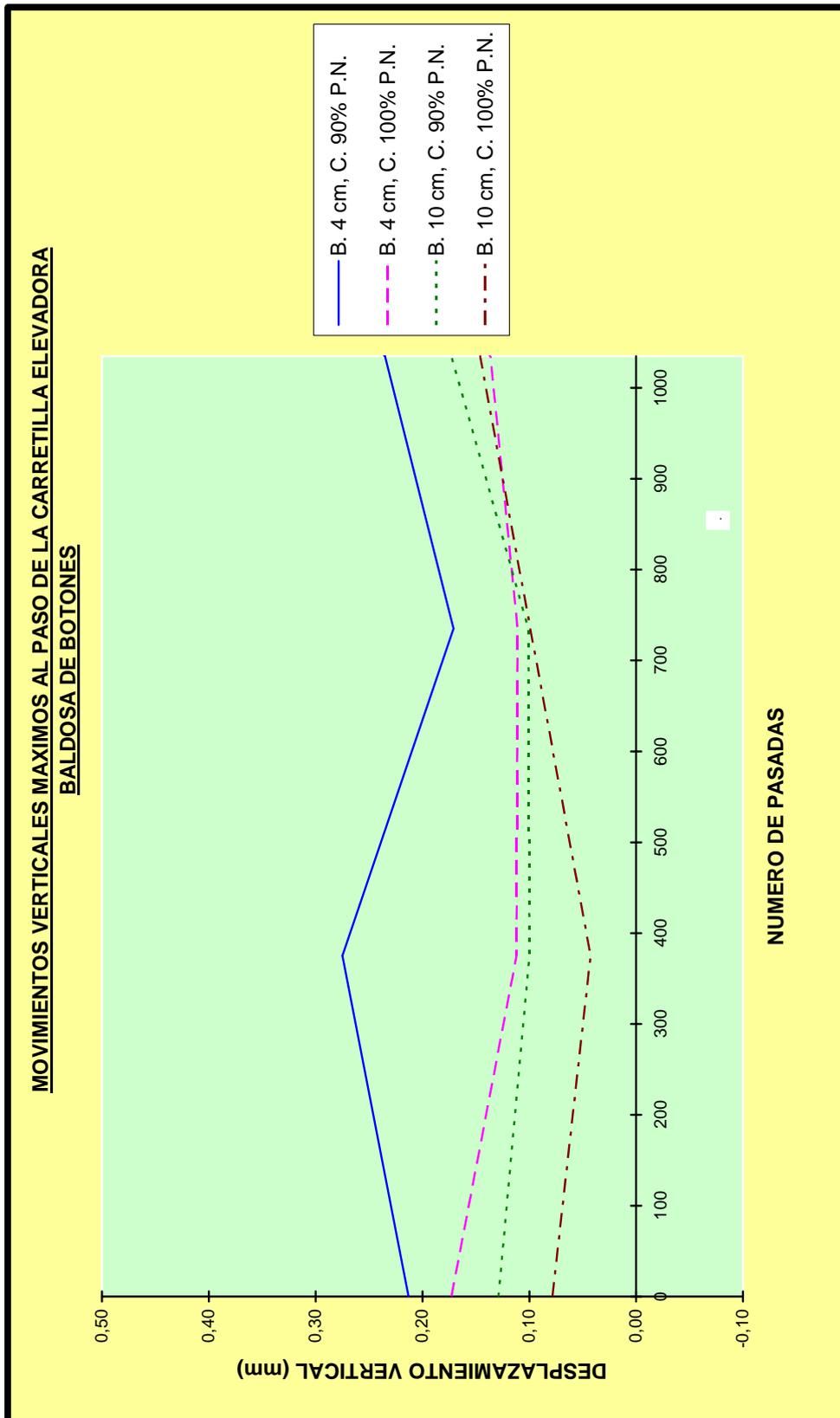
GRÁFICOS DESCRIPTIVOS DE LA EVOLUCIÓN DE LOS MOVIMIENTOS MÁXIMOS OBSERVADOS COMBINANDO LAS DISTINTAS TIPOLOGÍAS DE BALDOSA, LA DISTINTA COMPACTACIÓN APLICADA Y EL DISTINTO ESPESOR

NOTA: El origen de tiempos del eje x de las diagramas que a continuación se muestran corresponde al momento en que se ordena que la carretilla entre en la "losa de ensayo". Obviamente la "flecha" máxima se obtiene simultáneamente sólo en aquellos módulos que se encuentran a igual distancia del borde de la losa. Se recuerda que se construyeron en paralelo siempre con el mismo tipo de baldosa pero diferente espesor de losa.

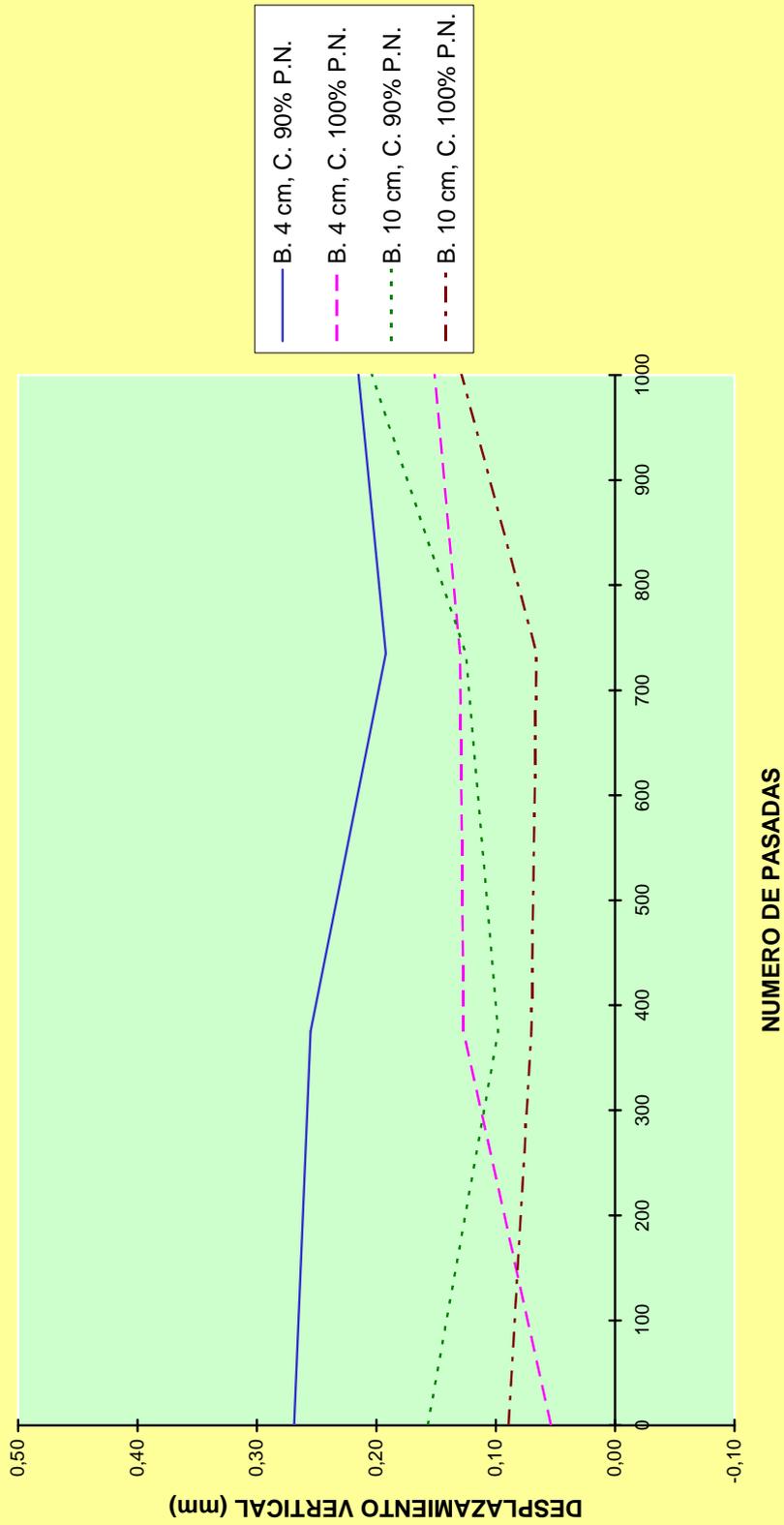


**MOVIMIENTOS VERTICALES MAXIMOS AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA
BALDOSA BICAPA**



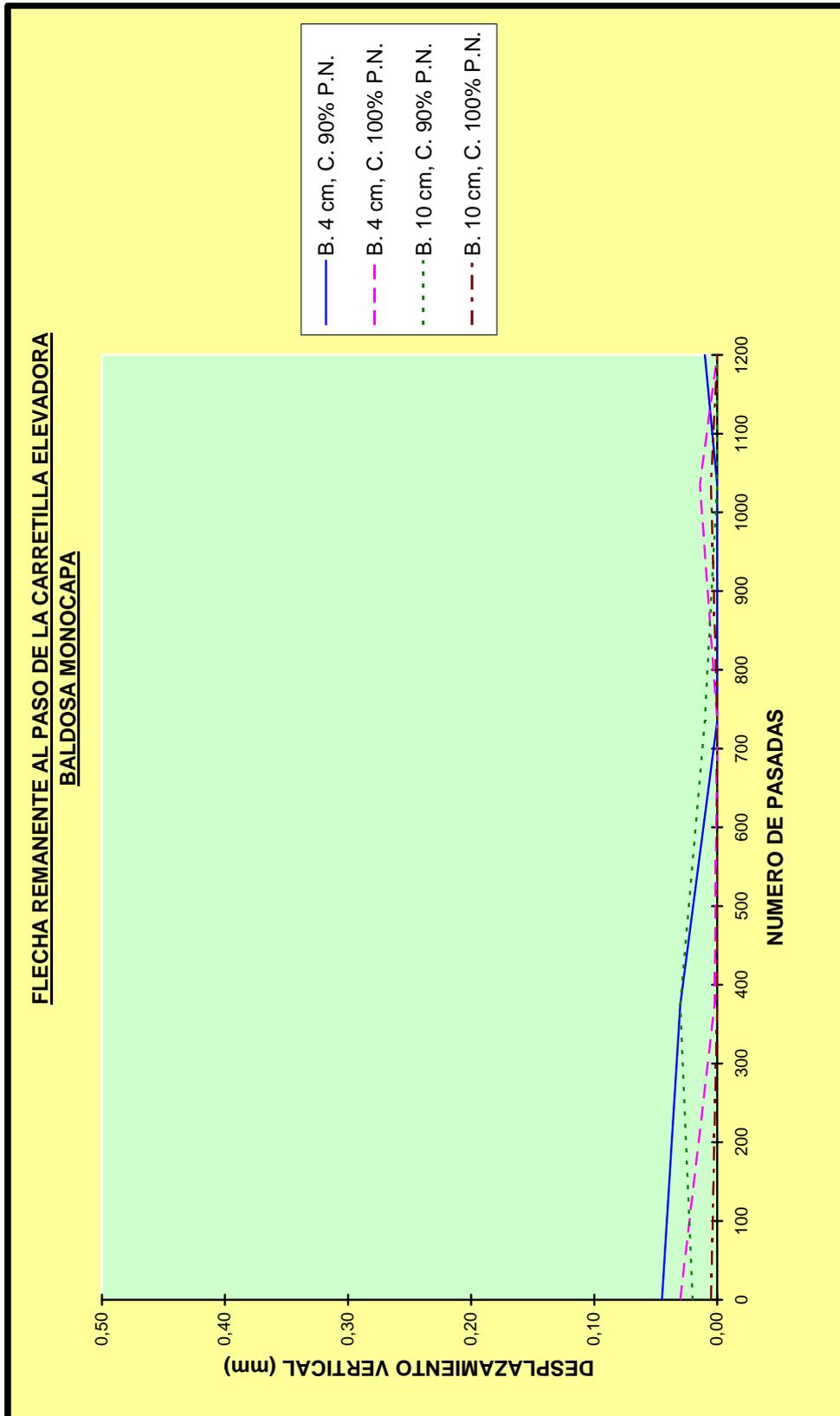


MOVIMIENTOS VERTICALES MAXIMOS AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA
BALDOSA DE TERRAZO

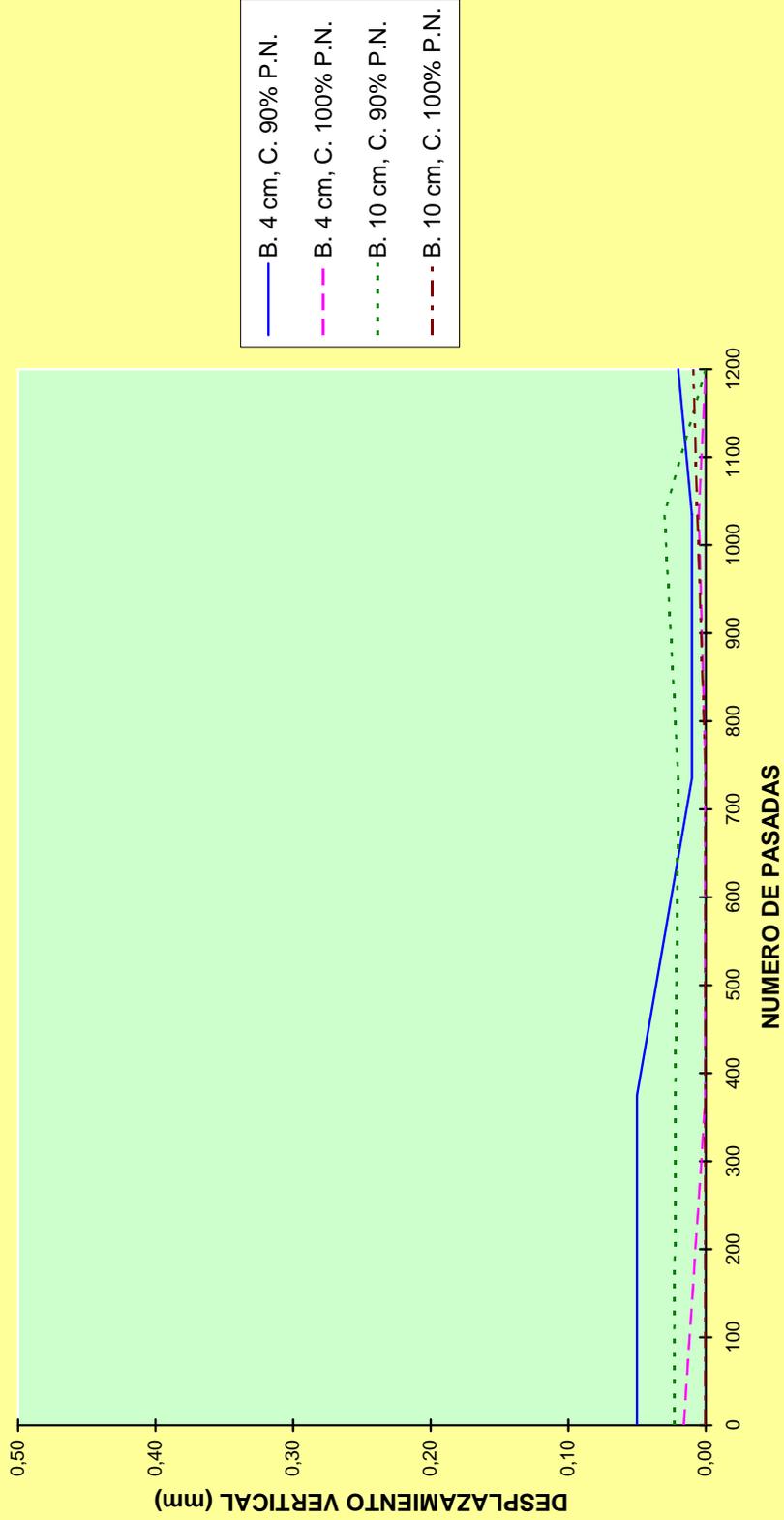


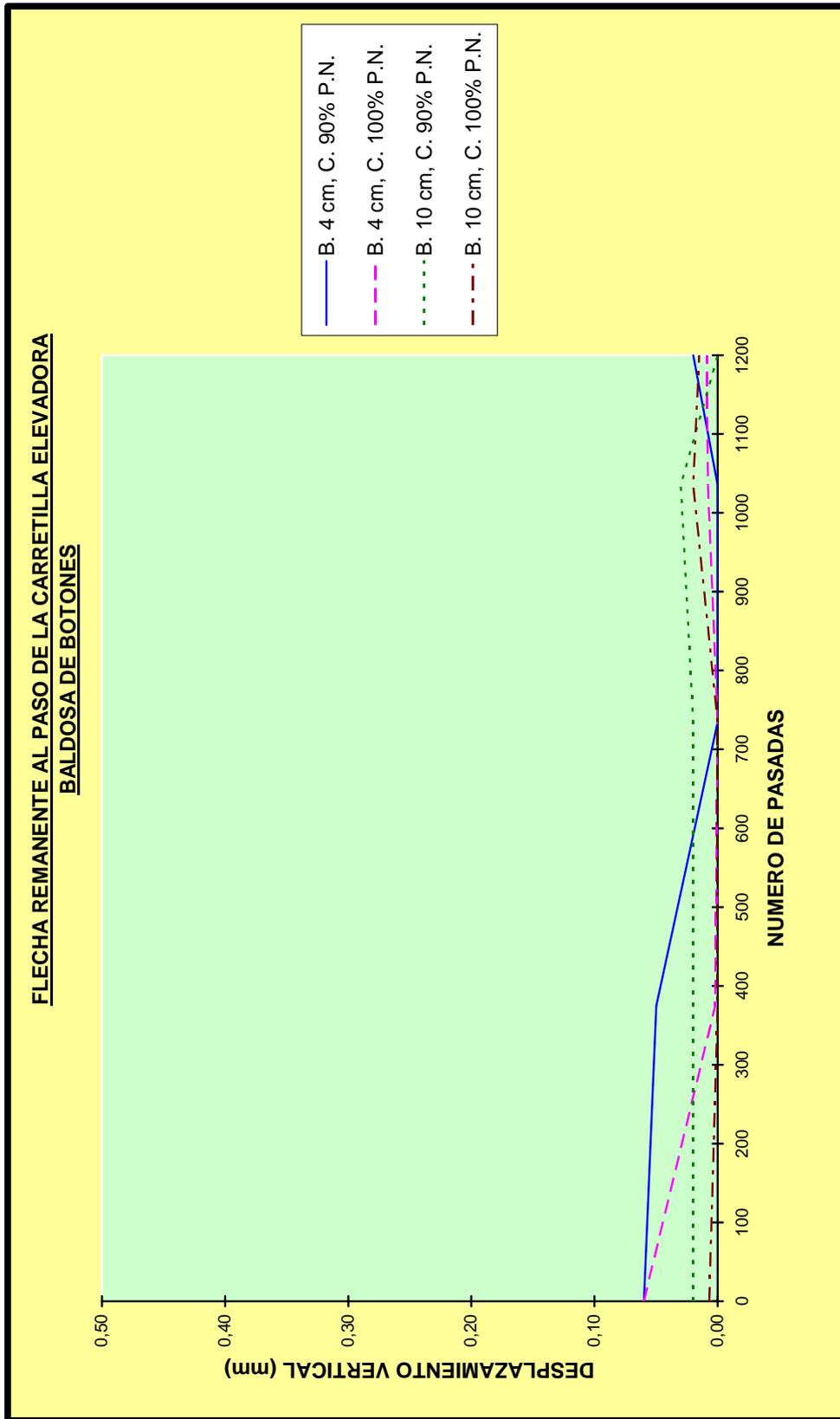
GRÁFICOS DESCRIPTIVOS DE LA EVOLUCIÓN DE LA FLECHA REMANENTE

NOTA: El origen de tiempos del eje x de las diagrfías que a continuación se muestran corresponde al momento en que se ordena que la carretilla entre en la "losa de ensayo". Obviamente la "flecha" máxima se obtiene simultáneamente sólo en aquellos módulos que se encuentran a igual distancia del borde de la losa. Se recuerda que se construyeron en paralelo siempre con el mismo tipo de baldosa pero diferente espesor de losa.



**FLECHA REMANENTE AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA
BALDOSA BICAPA**





**FLECHA REMANENTE AL PASO DE LA CARRETILLA ELEVADORA
BALDOSA DE TERRAZO**

