

# Nuestra Experiencia con el ensayo Fénix

Marisol Barral,  
mbarral@campezo.com

Javier Loma,  
javierloma@padecasa.com

En los últimos años, los importantes avances realizados en la tecnología de la maquinaria de fabricación de mezclas bituminosas y pavimentación, los resultados obtenidos en la investigación para la mejora de los materiales a nivel técnico y medio ambiental, así como la aparición de nuevos productos, permiten obtener pavimentos bituminosos con prestaciones mejoradas y adaptadas a los requisitos de cada obra. Así mismo, la aparición de la normativa europea de mezclas bituminosas con la serie de normas EN 13108 y los ensayos correspondientes según la serie de normas EN 12697, introduce la posibilidad de fabricar, comercializar y caracterizar infinidad de tipos de mezclas con distintas granulometrías, ligantes y en consecuencia, diferentes propiedades.

Por ello, es necesario avanzar desarrollando nuevas metodologías de ensayo que permitan estudiar otras características de las mezclas bituminosas, más allá de los ensayos establecidos actualmente en la normativa vigente, que aunque éstos no dejan de ser necesarios e importantes requieren complementarse con otros que nos permitan medir otros mecanismos de deterioro del firme que actualmente se están dando en nuestras carreteras como es el caso de la fisuración.

Aunque existen varios ensayos para medir la resistencia a la fisuración de las mezclas bituminosas, en esta comunicación vamos a tratar el ensayo Fénix recientemente publicado en la norma NLT-383/20 dado que se trata, como veremos a lo largo de la comunicación, de un ensayo sencillo y accesible para todos los laboratorios ya que no requiere de mucha inversión.

En definitiva, en esta comunicación vamos a contar la experiencia de Campezo y Padecasa con el ensayo Fénix desde su puesta a punto, y basada en la experiencia adquirida durante la realización de un interlaboratorio liderado por la UPC, concretamente por los profesores Félix Pérez y Rodrigo Miró.

**Palabras Clave:** Ensayo Fénix; mezclas bituminosas; fisuración; tenacidad.

In recent years, the important advances made in the technology of machinery for the manufacture of bituminous mixtures and paving, the results obtained in research for the improvement of materials at a technical and environmental level, as well as the appearance of new products, make it possible to obtain bituminous pavements with improved performance and adapted to the requirements of each work. Likewise, the appearance of European standards for bituminous mixtures with the EN 13108 series of standards and the corresponding tests according to the EN 12697 series of standards, introduces the possibility of manufacturing, marketing and characterizing an infinite number of types of mixtures with different granulometries, binders and, consequently, different properties.

For this reason, it is necessary to develop new test methodologies which allow other characteristics of bituminous mixes to be studied, beyond the tests currently established in the current standards, which, although necessary and important, need to be complemented with others which allow other mechanisms of deterioration of the road surface to be measured, such as cracking.

Although there are several tests to measure the cracking resistance of bituminous mixes, in this paper we are going to deal with the Fénix test recently published in the NLT-383/20 standard because, as we will see throughout the paper, it is a simple test that is accessible to all laboratories as it does not require much investment.

In short, in this communication we are going to tell the experience of Campezo and Padecasa with the Fénix test since its development and based on the experience acquired during the execution of a round robin test led by the UPC, specifically by professors Félix Pérez and Rodrigo Miró.

**Keywords:** Fénix test; bituminous mixtures; cracking; toughness.

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante el año 2020 se ejecutó una parte de la Circunvalación de Segovia SG20, bajo la dirección del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, MITMA. El paquete de firme constaba de varias capas de mezclas bituminosas concretamente de estos tres tipos: AC32 BASE BC 50/70 G, AC22 BIN BC 50/70 S y BBTM11B 45/80-65. Las mezclas bituminosas citadas se fabricaron desde 2 plantas asfálticas situadas a menos de 40 kilómetros de la obra (cercanas a la población de Villacastín en Segovia).

Durante la ejecución de esta obra, la Universidad Politécnica de Cataluña, en adelante UPC, se pone en contacto con las empresas Padecasa y Campezo para ofrecernos la posibilidad de realizar un trabajo en colaboración, que consistió en la realización de un ejercicio de inter comparación con el ensayo Fénix entre los tres laboratorios con los distintos tipos de mezclas extendidas en la obra citada, desde las distintas plantas y también a partir de testigos de obra.

La propuesta nos pareció muy interesante para ambas empresas por varias razones que intentaremos exponer a lo largo de la comunicación y nos pusimos manos a la obra. En el caso del laboratorio de Campezo ya se tenía experiencia con el ensayo Fénix de anteriores trabajos realizados también con la UPC, sin embargo, Padecasa partía de cero, es decir, desde la adquisición y puesta a punto del equipo.

Esta colaboración nos ha permitido conocer con mayor detalle las bondades y posibilidades del ensayo Fénix para el mejor desarrollo de nuestras actividades y en esta comunicación queremos dar a conocer nuestra experiencia con este ensayo, es decir, dar nuestra opinión, ventajas e inconvenientes encontrados durante la ejecución del estudio realizado con el ensayo Fénix.

### 1.1. ¿Por qué el ensayo Fénix?

El ensayo Fénix, como se describirá en detalle mas adelante, ya que merece un apartado para ello, es un

ensayo que fue desarrollado por la UPC durante la ejecución del PROYECTO FÉNIX, allá por el año 2008, al cual debe su nombre. A partir de las conferencias impartidas en diferentes foros técnicos y publicaciones realizadas por sus autores pudimos conocer las bondades de este ensayo y toda la información que aportaba que fue una de las razones por la que nos animó a implantarlo en nuestros laboratorios.

Hasta la fecha, el diseño de las mezclas bituminosas, además de seleccionar las materias primas que den cumplimiento a las especificaciones establecidas en el PG-3 en función de la categoría de tráfico y el clima, se basa en dar cumplimiento a unos requisitos volumétricos y mecánicos como es la sensibilidad al agua, deformaciones permanentes y en algunos casos módulo y fatiga.

Pero esta metodología de diseño no tiene en cuenta el mecanismo de deterioro que realmente se produce actualmente de forma más habitual y extendida en las mezclas bituminosas, que es la fisuración. A esto hay que añadir los avances tecnológicos, nuevos productos que requieren de nuevos ensayos para poder estudiar el comportamiento de estas mezclas a las temperaturas que se van a encontrar en servicio y seleccionar aquellas mezclas que permitan cubrir las necesidades propias de la obra en cuestión.

La información que nos aporta el ensayo Fénix para estudiar la resistencia a la fisuración de las mezclas bituminosas que hasta estos momentos no han sido tenidas en cuenta en las fases de diseño o control de calidad, son las siguientes:

La **ductilidad** es una propiedad que presentan algunos materiales, como las aleaciones metálicas o materiales asfálticos, los cuales, bajo la acción de una fuerza, pueden deformarse plásticamente de manera sostenida sin romperse.

La **tenacidad** es la energía de deformación total que es capaz de absorber o acumular un material antes de alcanzar la rotura. Se debe principalmente al grado de cohesión entre moléculas.

El ensayo se realiza a varias temperaturas para evaluar la susceptibilidad de la mezcla a los cambios térmicos

y se puede ver como el comportamiento de la mezcla varía según sea su temperatura, así la respuesta de la mezcla es más dúctil y tenaz cuanto más alta es la temperatura, mientras que a bajas temperaturas el material presenta un comportamiento más frágil, con mayor resistencia y rigidez. Este aspecto podrá ayudar en un futuro a poder diseñar algunos tipos de mezclas en función de la temperatura media de la zona donde sea colocada, criterio que ya se utiliza en otros países.

La posibilidad de estudiar la respuesta de una mezcla, que como todos sabemos va a ser función de la composición y del tipo y porcentaje de ligante en la mezcla, es decir, poder realizar una selección de que formulación es la más adecuada en la fase de diseño, nos atrae enormemente y esta fue otra de las razones que comentaremos a lo largo de la comunicación que nos motivaron a su implantación.

Otro motivo fue la sencillez del ensayo. No se requiere de inversiones importantes para la implantación del ensayo como veremos en detalle más adelante.

Además, es un ensayo igualmente válido tanto para el diseño como para el control de calidad, ya que permitirá al fabricante controlar que lo que se está fabricando es acorde con lo diseñado y los requisitos del pavimento, y al cliente/administración comprobar la conformidad del material que se ha puesto en obra con lo que se ha formulado.

Sumado a todo ello, la oportunidad de trabajar conjuntamente las empresas Campezo y Padecasa junto con la UPC, concretamente con los inventores del ensayo, como son Félix-Edmundo Pérez Jiménez y Rodrigo Miró Recasens.

## 2 ENSAYO FÉLIX

El ensayo Fénix se encuentra actualmente normalizado según la norma NLT-383/20. Este ensayo permite estudiar la respuesta de las mezclas bituminosas a la fisuración, determinando la resistencia y la deformación a diferentes temperaturas mediante tracción directa en una probeta semicircular a la que previamente se le ha realizado una pequeña entalla. Tal y como se muestra en la siguiente fotografía.

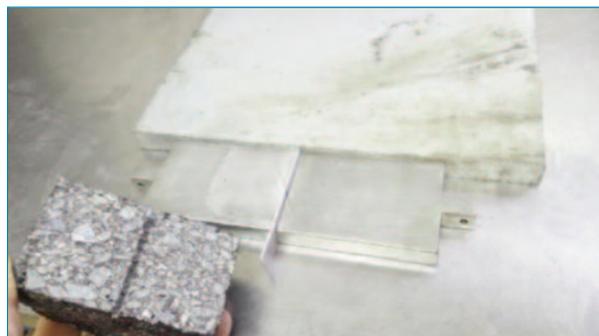


Foto 1: Probeta semicircular con entalla y placas metálicas para realizar el ensayo Fénix.

Este ensayo mide el esfuerzo de tracción directa aplicado en la base de una probeta de una determinada mezcla bituminosa para producir su rotura a una velocidad de desplazamiento controlada (1mm/min), y así valorar la resistencia a la fisuración de la mezcla a diferentes temperaturas y los efectos del envejecimiento durante su vida en servicio. Con ello, se podrá conocer como varía el comportamiento de la mezcla según la temperatura y valorar su adecuación al entorno climático en que se va a extender y a su vez se poder comparar con otro tipo de mezcla u otras formulaciones y poder seleccionar la más adecuada para el fin que va a tener en la carretera.

Por lo tanto, como ya se ha mencionado con anterioridad es un ensayo muy adecuado para la fase del diseño de la mezcla bituminosa, pero también es aplicable para el posterior control de la mezcla y así poder evaluar el comportamiento de la mezcla extendida en la carretera y compararla con la diseñada, ya que este ensayo permite trabajar con testigos extraídos de obra terminada.

Para poder llevar a cabo este ensayo en el laboratorio no es necesario un equipamiento muy sofisticado, fundamentalmente son dos los equipos imprescindibles y que por lo general ya se disponen en los laboratorios que son: una sierra de corte y una prensa multiensayos con cámara climática que te permita trabajar en un rango de temperaturas entre -5°C y 20 °C.

En cuanto a la sierra de corte, son válidas las que disponemos en los laboratorios que se suelen utilizar para cortar testigos de obra, ya que no requiere de ninguna sierra de alta precisión para llevar a cabo la entalla, en cuanto a sus dimensiones y alineación. Conviene aco-

## Nuestra experiencia con el ensayo Fénix

plar algunos útiles a modo de guías para facilitar la calidad final del corte y de la entalla.



Foto 2: Fotos de la sierra de corte realizando la entalla.

En relación a la prensa, son válidas las que se utilizan por ejemplo para realizar el ensayo de tracción indirecta pero con la peculiaridad de que se requiere de una cámara climática que nos permite realizar el ensayo de rotura a diferentes temperaturas, normalmente se realiza a tres temperaturas -5, 5 y 20 °C. La temperatura es uno de los parámetros que debe ser controlado con precisión, dada su gran influencia en el resultado final del ensayo.

En el caso de Campezo, lo que se hizo fue comprar las mordazas específicas para este ensayo ya que ya se disponía de una prensa con cámara climática y de una sierra de corte. Sin embargo, en el caso de Padecasa, aunque inicialmente se planteó la posibilidad de modificar la prensa multiensayo que dispone en sus instalaciones de laboratorio para trabajar en las condiciones re-

queridas por el ensayo (en cuanto a temperaturas), finalmente analizando el coste de la operación de adaptación llevó a decidirse por adquirir un nuevo equipo que fue diseñado por Mecánica Científica y que actualmente lo tienen en su cartera de productos a la venta.



Foto 3: Prensa de ensayo

Durante el ejercicio de inter-comparación, con tres prensas diferentes; una nueva, una adaptada y otra la de la UPC con la que desarrollaron el ensayo, se detectaron algunas necesidades de ajustes; concretamente, un dispositivo para el control de la deformación ubicado a la altura de la probeta para mejorar la precisión, tal y como se muestra en la fotografía número 4.



Foto 4: Sistema de medida de la deformación

Además, Mecánica Científica, desarrolló un software para el posterior análisis de datos que nos permitiera ob-

tener los parámetros de interés del ensayo y las gráficas, así como realizar comparaciones entre distintas mezclas mediante el diagrama Fénix con las curvas de isotenacidad.



Foto 5: Software de análisis de datos

### 3. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO FÉNIX

La metodología de realización del ensayo Fénix es sencilla, pero como cualquier ensayo debe realizarse de forma metódica siguiendo las indicaciones señaladas en la propia norma de ensayo (NLT-383/20), tanto durante su ejecución como en el tratamiento de la muestra y preparación de las probetas.

A continuación, vamos a comentar desde nuestra experiencia las particularidades y/o aspectos a tener en cuenta al realizar este ensayo; no vamos a describir el procedimiento que hay que realizar para llevarlo a cabo, ya que está perfectamente descrito en la propia norma de ensayo.

Como ya hemos comentado, este ensayo permite obtener no solo las características mecánicas de la probeta (rigidez de la mezcla y resistencia), sino que también podemos evaluar como el ligante es capaz de mantener la resistencia de la mezcla al irse deformando y propagándose la grieta (tenacidad). Por ello, como en cualquier otro ensayo donde se miden las propiedades mecánicas, cobra especial importancia el protocolo de acondicionamiento de las muestras y preparación de las probetas, ya que según se lleve a cabo podemos estar alterando las propiedades del ligante y por lo tanto las

propiedades finales de la mezcla. Así las muestras no deben sufrir procesos continuos de recalentamiento.

#### 3.1. Aspectos a tener en cuenta en la preparación de las probetas

Un aspecto importante a la hora de realizar las probetas para llevar a cabo el ensayo Fénix es el acondicionamiento de la mezcla según donde se haya realizado la toma de muestra. Aspecto muy importante a tener en cuenta en cualquier ensayo mecánico y que normalmente no se indica en las normas de ensayo.

Este aspecto es fundamental, ya que según la metodología que siga cada laboratorio para acondicionar la mezcla para realizar las probetas, el ligante puede sufrir un envejecimiento excesivo alterando así los resultados.

Por ello, en función de donde se realice la toma de muestra el pretratamiento será diferente, pero debería ser igual en cualquier laboratorio. Desde nuestra experiencia, consideramos que, si la toma de muestra se realiza en el centro de producción, las probetas se deben fabricar lo más rápidamente posible. Si no se dispone de laboratorio a pie de planta, ésta se debe desplazar al laboratorio en un recipiente que mantenga la temperatura de la mezcla y a la llegada al laboratorio introducirla en una estufa durante 75-90 min. a la temperatura de compactación, evitando sobrecalentamientos, y posteriormente se compactarán las probetas de forma inmediata. En cualquier caso, se deben evitar los recalentamientos de las mezclas.

#### 3.2. Aspectos a tener en cuenta en la preparación de la entalla y posterior pegado

En cuanto al proceso de realización de la entalla, como ya se ha comentado anteriormente, no se requiere de sierras de corte con alta precisión; simplemente hay que tener especial cuidado de que el corte de la mitad de la probeta sea lo más recto posible, es decir, crear dos superficies lisas y rectas donde después se realizará la entalla. En cuanto a la realización de la entalla, simplemente hay que realizarla con especial cuidado y con seguridad para el operario con el fin de cumplir las dimensiones de la misma, teniendo en cuenta las tolerancias permiti-

## Nuestra experiencia con el ensayo Fénix

das.

En relación a la resina de pegado a las mordazas metálicas, prestar atención a las indicaciones del fabricante de la resina en cuanto a los tiempos de curado para garantizar una buena adherencia a las placas, y nunca antes de cuando se haya alcanzado la dureza suficiente. En ningún caso la resina debe entrar en la entalla de la probeta, por ello es conveniente proteger dicha entalla durante la operación de pegado.



Foto 6: Sistema de pegado de las probetas

### 3.3. Aspectos a tener en cuenta en la rotura

Los aspectos a tener en cuenta durante la rotura de la probeta son que el sistema de mordazas junto con la probeta es alineado (que no haya ningún tipo de torsión) y esté libre, es decir que cuando la probeta rompa ambos lados de las mordazas caigan de forma libre.

Asegurar que la temperatura en la cámara, así como en la probeta, sea la correspondiente al ensayo y que la prensa de ensayo y el resto de los equipos del laboratorio se encuentren en perfectas condiciones de uso (calibrados) para evitar mediciones erróneas. Para ello se deben seguir las indicaciones de la norma en cuanto a los tiempos, temperaturas y cumplir con la precisión de los equipos.

## 4. EJERCICIO DE INTER-COMPARACIÓN

Para llevar a cabo este ejercicio de inter-comparación liderado por la UPC, en primer lugar, lo que se hizo es establecer un protocolo de trabajo donde se especificaba de forma clara y meticulosa la metodología a seguir desde la toma de muestra, el acondicionamiento y la ejecución del ensayo Fénix, con el fin de evitar posibles errores y minimizar dispersiones. Todas las medidas de tiempos y temperaturas se han seguido de forma escrupulosa para

poder valorar los resultados con mayor precisión.

La toma de muestra la llevó a cabo la misma persona y del mismo camión, y se fabricaron una serie de probetas (todas ellas) en el laboratorio de Padecasa mediante el compactador de impactos aplicando la energía de compactación requerida por el tipo de mezcla según normativa vigente.



Foto 7: Sistema de sujeción en la prensa de ensayos

De ese mismo lote (camión) se tomaron muestras para realizar probetas con la muestra recién fabricada y también probetas con muestra recalentada (enfriada y recalentada al día siguiente en el laboratorio), simulando los procesos habituales de preparación en los laboratorios con las muestras frías. Ese camión fue identificado exactamente en qué lugar de la obra fue extendido, para posteriormente extraer testigos y ensayar, en todos los laboratorios, el mismo material. Se fijaron rangos de fechas para realizar el ensayo en los 3 laboratorios con

la misma edad de curado, reduciendo la posibilidad de introducir algún factor que pudiese distorsionar los resultados.

Todas las probetas fueron fabricadas en un mismo laboratorio, para minimizar factores de incertidumbre, y fueron distribuidas en lotes al resto de laboratorios. El número total de probetas ensayado ha sido de 180 unidades para las probetas de mezcla recién fabricada, 180 unidades para las probetas con mezcla recalentada y 180 unidades de testigos extraídos de la obra (540 probetas). De cada probeta o testigos se extraen 2 muestras, por lo que el número de probetas ensayadas ha sido de 1080 unidades.

El trabajo se programó así ya que se quería evaluar lo siguiente:

- 1.- Efecto del recalentamiento en la mezcla para las propiedades medidas en el ensayo.
- 2.- Comparar resultados de laboratorio con los resultados obtenidos con la muestra de obra, mediante la extracción de testigos.
- 3.- Comparar los resultados obtenidos por varios laboratorios para estudiar la dispersión del ensayo y los equipos de medida.

Los resultados de este trabajo van a ser publicados próximamente por el MITMA como un anejo en la Nota Técnica sobre la utilización del ensayo Fénix en el

control de calidad de las obras de firme con mezclas bituminosas, por ello en esta comunicación solo vamos a adelantar los aspectos o conclusiones más importantes que se obtuvieron en el trabajo realizado, ya que podrán disponer de un mayor detalle en el documento mencionado.

Simplemente indicar que parte de las conclusiones obtenidas de este inter-laboratorio ya han sido descritas en esta comunicación, como por ejemplo es la preparación de las muestras o el acondicionamiento de las probetas.

A modo de ejemplo, en el gráfico siguiente se pueden comprobar los resultados de la rotura de la mezcla fabricada en una de las plantas (Padecasa) y ensayada por los diferentes laboratorios en las diferentes condiciones de: recién fabricada, recalentada y testigos de obra.

## 5. CONCLUSIONES

Según nuestra experiencia podemos concluir que se trata de un ensayo:

- Sencillo, que se ejecuta de forma rápida y nos permite estudiar el comportamiento de respuesta de las mezclas por fisuración a diferentes temperaturas.

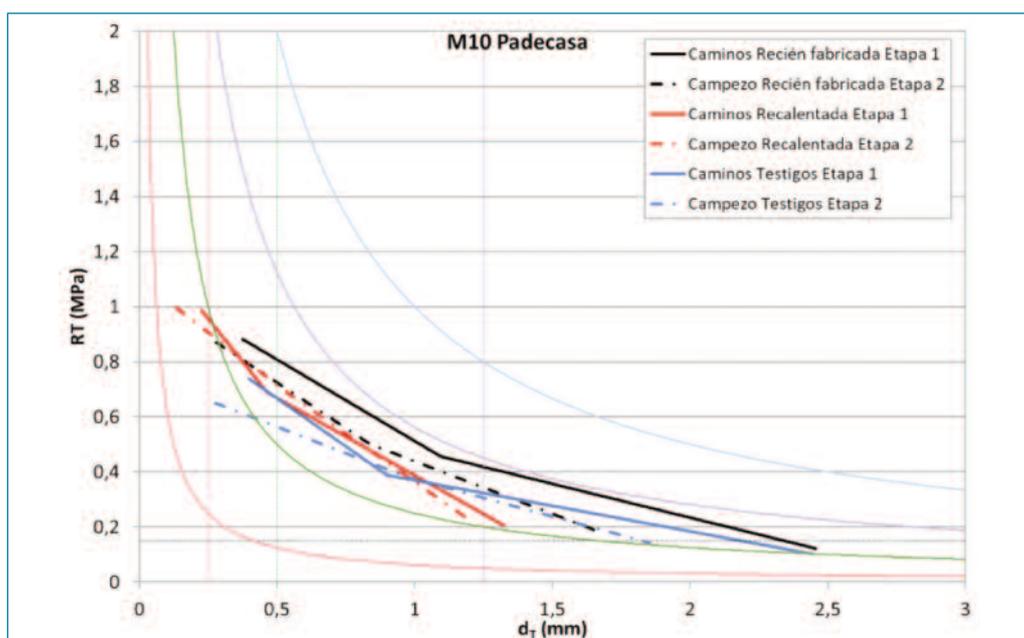


Gráfico 1: Resultados Fenix BBTM11B con todos los laboratorios.

## Nuestra experiencia con el ensayo Fénix

- Que permite, en la fase de diseño, seleccionar entre distintas formulaciones y distintos tipos de ligantes con el objetivo de ofrecer a la Dirección de Obra una mezcla acorde con los requisitos de la obra.
- Con el que se puede obtener la curva característica del comportamiento de la mezcla, tanto de probetas fabricadas en laboratorio, como de testigos para el posterior control de calidad.
- Que no requiere de equipamiento muy sofisticado y es accesible para cualquier laboratorio.

La realización de este ejercicio de inter-comparación, durante año y medio de trabajo, nos ha permitido conocer y ajustar el procedimiento en nuestros laboratorios.

Debe ampliarse la experiencia para tener una batería de datos importante para las diferentes tipologías de mezclas, con materiales secundarios, con material de fresa, etc. y así poder establecer unas futuras especificaciones.

En conclusión, y hablando desde nuestra experiencia, es un ensayo recomendable ya que aporta información adicional a los que actualmente se disponen en la normativa vigente, permite conocer el comportamiento de las mezclas bituminosas a fisuración y permite seleccionar las formulaciones más adecuadas para cada obra y estudiar el efecto del reciclado.

Este ensayo aporta información de unas propiedades importantes y diferentes a las que estamos habituados para valorar la calidad de nuestras mezclas bituminosas, que han sido estudiadas durante la fase de desarrollo del procedimiento y posteriormente en estudios experimentales, pero que se han llevado al ensayo con materiales reales de una obra para comprobar a escala real sus ventajas y posibilidades.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer al Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Politécnica de Cataluña, en especial a los profesores Felix-Edmundo Pérez Jiménez y Rodrigo Miró Recasens por su confianza para la ejecución de estos ensayos; ha sido un placer trabajar con vosotros y esperamos poder seguir colaborando en otros estudios.