

LA TRANSFERENCIA DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN EN ESCUELAS DE ARQUITECTURA. UN EJEMPLO: LA PAVIMENTACIÓN DE LA PLAZA DEL PAN DE SEVILLA. LA PIEL SENSIBLE.

RODRÍGUEZ GARCÍA, M^a REYES; RIVERA GÓMEZ, CARLOS ALBERTO;

MARIÑAS LUIS, JOSE CARLOS

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla.

Construcciones Arquitectónicas I

RESUMEN:

En el ámbito de la transferencia de resultados de investigación, presentamos un resumen de la participación de un grupo de profesores de la escuela de Sevilla en un proyecto ganador del concurso público para la remodelación (rehabilitación) de una zona amplia del centro histórico de la ciudad. Dicho proyecto, denominado "la piel sensible", contempla la dignificación de un espacio público maltratado por el uso y abuso de vehículos y perdido para el transeúnte. El objetivo era recuperar estos espacios y, al mismo tiempo, transmitir al ciudadano el sentido histórico de los cambios en el trazado y la utilización de plazas y entornos monumentales de una ciudad carente de las necesarias zona peatonales.

El estudio encargado de la materialización de la intervención ha resultado ser el propio ganador del concurso. Esto favorece la comprensión del alcance del proyecto cuya complejidad radica en disponer sólo de los materiales de pavimentación para transmitir todo el contenido histórico y transformaciones sufridos por los lugares en los que se intervendrá.

La primera fase del proyecto contemplaba un ámbito reducido, la Plaza del Pan, un espacio de paso para el ciudadano, muy bloqueado para el peatón tanto por el aparcamiento de vehículos, como por la dificultad de tránsito dado el estado de la pavimentación y las diversas barreras arquitectónicas. La dimensión de este lugar se perdía por la abundancia de obstáculos visuales y su utilización como plaza pública se ceñía al paso de cofradías en la Semana Santa.

Se trataba, pues, de recuperar este ámbito como plaza, como lugar público y como espacio arquitectónico, para lo cual se disponía sólo del material de pavimentación y de la lógica reordenación del tráfico rodado. El trabajo realizado en el proyecto "La piel sensible" busca conjugar la historia del sitio con una referencia claramente visual en el pavimento, tarea muy complicada ya que las solicitudes técnicas de este revestimiento serán las que, a priori, marcarán la adecuación de estos materiales. Se puede "jugar" con los materiales, con la textura, con el formato, con el acabado superficial, pero no con las características admisibles, con los detalles constructivos, con la ejecución; máxime teniendo en cuenta que, en demasiadas ocasiones, el revestimiento de lugares públicos ha fracasado estrepitosamente.

Debido a los antecedentes en el centro de la ciudad en zonas de especial relevancia y a lo arriesgado de algunos aspectos del proyecto, el estudio solicitó la asesoría y el apoyo técnico de investigadores de la escuela de Arquitectura de Sevilla, colaboración que se ha concretado en dos proyectos OGICYT desarrollados en los años 2005 y 2006 en los cuales se ha trabajado en las siguientes líneas:

- Búsqueda del material más adecuado para las solicitudes constructivas propias y características de la Plaza del Pan (orientación, uso, factores climáticos, soleamiento, mantenimiento).
- Dimensionado del formato más adecuado para la pavimentación, definición y obtención de parámetros resistentes.

- Adecuación de los sistemas y secciones constructivas dado el despiece y las características del proyecto.

COMUNICACIÓN:

El caso que se presenta como ejemplo de transferencia de resultados de la investigación realizada en el seno de la universidad y aplicable a un proyecto de restauración arquitectónica, parte de la necesidad de profundizar en el conocimiento de los materiales y definición de los detalles de ejecución y espesores de la pavimentación de una plaza del centro de Sevilla, la Plaza del Pan.



Plaza del Pan, vista general del estado antes de la intervención.

Varios precedentes desafortunados en soluciones de pavimentaciones públicas en entornos históricos del centro de la ciudad y un formato sumamente arriesgado a efectos mecánicos de parte de las piezas, condicionante irrenunciable del proyecto, convertían el estudio previo de caracterización del material en una investigación necesaria. La asesoría requerida consistía en la realización de ensayos específicos del tipo de piedra elegido para pavimentar el área correspondiente a la Plaza del Pan y las calles Alcaicería y Herbolarios en el marco del Proyecto "La piel sensible". Dadas las particulares especificaciones del despiece y la expresividad demandadas al material, se optó por una asesoría desde la cantera hasta la puesta en obra del producto, por tanto, una parte del estudio quedaba pospuesta hasta la observación de datos relativos al envejecimiento y comportamiento frente a ensayos de alteración de larga duración. Una vez decididos el tipo de piedra, granito, se inició una búsqueda de productos cuya expresividad satisficiera las demandas del arquitecto. Se localizó un

material de coloración crema-beige muy adecuado, explotado y comercializado por una sociedad de Navalmoral de la Mata en Cáceres. Puestos en contacto con ellos, se concertó una visita a las canteras y a la fábrica, con idea de observar las posibilidades reales del material en cuanto a disponibilidad, homogeneidad, posibles alteraciones, etc. Esta visita resultó muy relevante permitiendo detectar varias cuestiones *in situ*:

- En primer lugar el sistema de explotación: un afloramiento en pequeños bolos que hacía que el proceso de selección fuese muy pormenorizado, siendo el propio cantero el que ausculta cada bolo, extrayendo los bloques y clasificándolos en el campo, en función de los posibles usos de cada pequeño bloque.

- El sistema de extracción: al tratarse de una cantera de pequeña-mediana entidad la forma de extraer el bloque es muy artesanal, por lo que los riesgos de saca agresiva se minimizan.

- En el mismo campo, el cantero es capaz de observar las posibilidades del bloque: presentando, este granito, una coloración muy particular (amarillenta) y gran cantidad de micas. El color amarillo se debe a la presencia de ciertos óxidos de hierro con la particularidad de que, dependiendo del afloramiento del bolo, este óxido puede proseguir o no su alteración provocando, entonces, unas serie de manchas que destrozan la estética del material. Este fenómeno sólo se da en bolos de coloración gris, nunca en los crema. Se pudo comprobar la veracidad de las afirmaciones indicadas por los canteros en lo que se refería a la evolución de estos óxidos de hierro, ya que en los acopios de la fábrica se observó la aparición, casi inmediata, de estas manchas cuando se extraía y cortaba un bolo de granito que no estaba suficientemente "curado", esto es, de coloración gris.

- Un recorrido por la zona permitió observar el envejecimiento a largo plazo de este material en diferentes edificios históricos de la comarca.



Aspecto de los bloques de granito en la empresa comercializadora.



Envejecimiento natural del material en edificios antiguos.

PRIMERA FASE

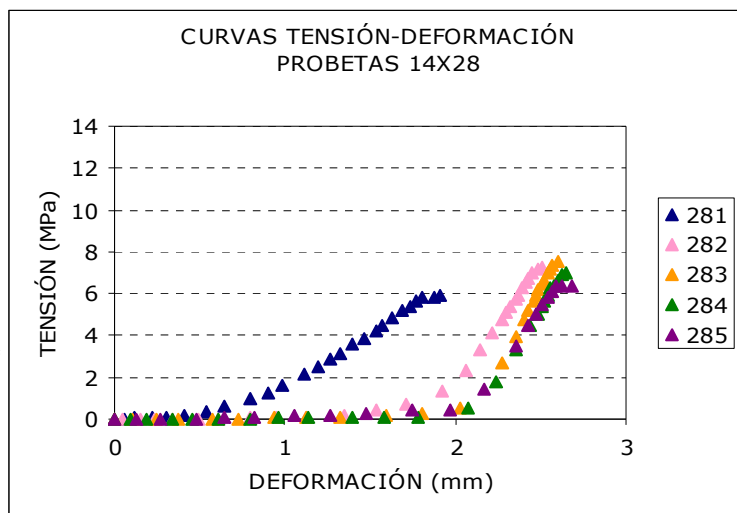
La parte más técnica de esta asesoría consistió en la determinación de los ensayos a realizar para comprobar la adecuación al uso previsto. En este sentido, se estimó que estos ensayos debían ir encaminados a resolver las dudas que se suscitaban por los despieces y formatos previstos en el proyecto. Por lo que los ensayos a realizar fueron resistencia a Flexión, capilaridad y absorción.

1. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS.

El ensayo de resistencia a flexión se realizó sobre baldosas dimensionadas en función del despiece deseado en el proyecto, con objeto de detectar las variaciones y, en caso de que ocurriesen, determinar la magnitud de la diferencia. Se ensayaron 5 probetas de cada dimensión (14x28; 14x56; 14x84) todas ellas de 5 cm de espesor, siguiendo las indicaciones de la Norma EN 12372 aunque se determinó también la resistencia en probetas de 56 y 84 cm de longitud estimando la situación más desfavorable, esto es, estableciendo los puntos de apoyo a 5 cm del borde de la probeta de tal forma que ésta permaneciese en un voladizo acentuado respecto a los apoyos. A continuación se exponen los resultados obtenidos en cada tamaño de probeta.

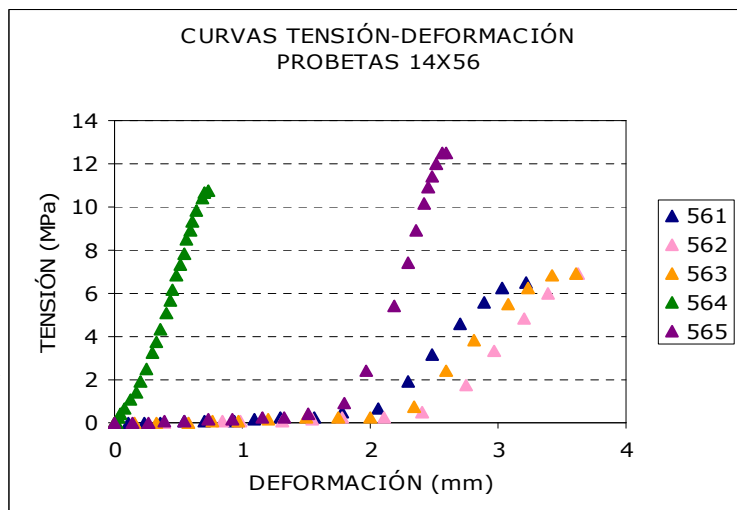
PROBETAS DE 14X28

Gráfica de resistencia a Flexión*
media: 7'25 MPa
(*ensayadas según EN 12372).



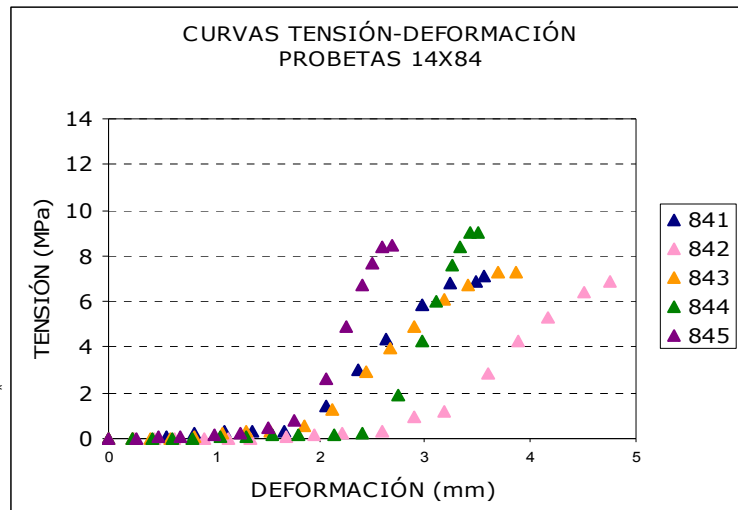
PROBETAS DE 14X56

Gráfica de resistencia a Flexión*
media: 11'63 MPa
(*ensayadas según EN 12372).



PROBETAS DE 14X84

Gráfica de resistencia a Flexión*
media: 8'75 MPa
(*ensayadas según EN 12372).



2. CARACTERÍSTICAS HÍDRICAS.

Se realizaron los dos ensayos que complementan la información acerca del sistema poroso de este material: absorción por inmersión y por capilaridad. De esta forma se pretende definir de manera adecuada y precisa el sistema de colocación idóneo.

Los ensayos se realizaron sobre probetas con los acabados superficiales previsibles para el material puesto en servicio, esto es probetas con la cara superior con textura gruesa y probetas con la cara superior con textura gruesa y tratada con impermeabilizante, ambos tipos de probetas tienen el resto de planos con textura fina (corte de sierra).

a. ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD.

El ensayo se realizó de dos formas diferentes: apoyando las probetas sobre la cara superior (cara con el acabado superficial) y apoyándolas dejando la cara superior expuesta, esto es, sobre la superficie aserrada. Los resultados obtenidos son los siguientes.



Montaje del ensayo de absorción por capilaridad de probetas de granito *amarillo jara*.

Apoyadas sobre la cara superior: Se obtuvo un valor mínimo de 0'34% de contenido en agua al finalizar el ensayo y un máximo de 0'58%.

Apoyadas sobre la cara no tratada: Se obtuvo un contenido en agua mínimo de 0'35% y un valor máximo de 0'58%.

b. ABSORCIÓN POR INMERSIÓN

También se ensayaron las probetas con los acabados previstos, los valores del coeficiente de absorción a las 48 horas siendo:

Probetas con impermeabilizante: 0'50% (Valor máximo: 0'64, valor mínimo: 0'42).

Probetas sin impermeabilizante: 0'57% (Valor máximo: 0'66, valor mínimo: 0'44).

3. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN

Con los valores de resistencia obtenidos se ha realizado el cálculo de la carga de rotura mínima recomendable en función del uso característico del pavimento, según indica el anexo B (informativo) de la norma EN 1341:2001. Los resultados calculados son los siguientes:

TIPO DE PROBETA	CARGA MÍNIMA	CLASE
14X28	3'77 KN	0, 1 y 2
14X56	3'03 KN	0 y 1
14X84	1'52 KN	0 y 1

Clase.0: uso característico decorativo.

Clase.1: uso característico baldosas embebidas en mortero, áreas peatonales únicamente.

Clase.2: áreas peatonales y para bicicletas. Jardines y balconadas.

El proyecto contempla un uso peatonal tipo 1.

4. RECOMENDACIONES.

a. RESISTENCIA A FLEXIÓN:

Las baldosas con las dimensiones previstas en el proyecto cumplen para el uso previsto en el mismo, salvo en el caso probable de la clase 2 en las baldosas más esbeltas. En este caso la recomendación a seguir serán de tipo constructivo, esto es: apoyar las baldosas de dimensiones 14x56 y 14x84 sobre una base de hormigón de unos 4-5 cm sin necesidad de modificar el espesor en el caso de que la sollicitación sea para los usos que indica la clase 2. Para mayores sollicitaciones, se debería aumentar el espesor de la base o solera de hormigón según las necesidades de los tipos 2 y 3. Se recomienda ensayar probetas fabricadas con las piezas sobre la capa de hormigón para definir la resistencia a flexión del conjunto y comprobar la capacidad de la sección constructiva.

b. COEFICIENTE DE DILATACIÓN:

Se asume válido para el granito *Amarillo Jara* el dato medio que se encuentra en la bibliografía, ya que se trata de un material de coloración clara, esto es, un coeficiente de dilatación lineal de 8×10^{-6} m/m °C.

Un cálculo para un paño de 5x5 metros en una situación desfavorable como serían temperaturas (ambientales) máximas de 50 °C y

mínimas de 20 °C nos indican una dilatación lineal de 1'20 mm por lo que se podría recomendar que la junta de dilatación se mantenga como indica la bibliografía: cada 5 m.

En las mismas circunstancias ambientales, los valores de dilatación lineal que se obtendrían para paños de 6x6 metros serían de 1'44 mm y para paños de 7x7 metros serían de 1'68 mm.

c. ABSORCIÓN POR CAPILARIDAD

Todas las probetas presentaron una cierta actividad, lo cual permite inducir que la adherencia con mortero de albañilería puede producirse (con suficiente seguridad para ser un pavimento).

No se detectaron comportamientos distintos en función de si se apoyaron sobre la cara con el acabado superficial o no

En ambos casos únicamente puede indicarse que:

1. De seis probetas ensayadas con impermeabilizante cuatro de ellas dieron un resultado inferior al 0'37% y las otras dos dieron 0'55 y 0'56%.

2. De seis probetas ensayadas sin impermeabilizante dos de ellas dieron un resultado de 0'35% y las otras cuatro dieron entre 0'55% y 0'58%.

Las probetas que dieron los resultados en el entorno superior, esto es, en torno al 0'55% de agua absorbida, mostraron la cara superior húmeda. Esto ocurrió independientemente del tratamiento (impermeabilizada o no).

d. ABSORCIÓN POR INMERSIÓN

Los valores obtenidos del coeficiente de absorción tanto en probetas tratadas con impermeabilizante como en probetas sin tratar, fueron ligeramente superiores al recomendable para usos exteriores en ambientes heladizos. En nuestro caso, al tratarse de una ubicación en la que no había riesgo de heladicidad, son valores admisibles. En cualquier caso, se recomienda la realización de ensayos de heladicidad y ciclos de humectación y secado para analizar el efecto de estos fenómenos en el granito *Amarillo Jara*.

SEGUNDA FASE

Tras obtenerse resultados admisibles para el uso peatonal tipo 1 que se contemplaba en el proyecto, se decidió realizar el ensayo de resistencia a flexión con la solución constructiva dimensionada. A fin de comprobar la idoneidad de dicha solución y determinar las posibles mejoras en esta característica, y con objeto de simular la peor de las disposiciones posibles y la ejecución más desfavorable, se decidió ensayar las piezas de 14x56 y 14x84 colocando los apoyos a 5 cm del borde. No se ensayaron las piezas de 14x28 puesto que los valores de resistencia a flexión obtenidos superaron con creces las solicitaciones para el uso peatonal exigible.

Otro de los aspectos que se estudió fue la durabilidad del tratamiento de impermeabilización que recibieron algunas de las piezas a colocar. En la fase anterior se determinó que dicho tratamiento no afectaba de manera importante al comportamiento hídrico del material, salvo ligera disminución en las probetas tratadas. Quedaba por observar si este tratamiento se alteraría a lo largo del tiempo, y este aspecto se ha estudiado durante dos ciclos estacionales: primavera y verano, (6 meses en total), manteniendo una serie de probetas a la intemperie tanto en situación soleada como sombría y otra serie en el laboratorio protegidas.

De esta forma, los objetivos de la segunda fase de la investigación son:

1. Determinar la resistencia a flexión de probetas realizadas con piezas de granito "Amarillo Jara" de 5x14x56 (cm) y 5x14x84 (cm) cogidas con 3 cm de mortero sobre una base de hormigón de 10 cm.
2. Determinar la resistencia a flexión de probetas similares a las anteriores aunque en este caso se apoyan y colocan sobre una base de hormigón de 16 cm.
3. Comprobar si aparecen alteraciones o modificaciones significativas en el tratamiento de impermeabilización que han recibido algunas de las piezas que se van a colocar.

1.- ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN SOBRE DIVERSOS ESPESORES DE LOSA

Para realizar el ensayo, se prepararon las probetas en el laboratorio. Previamente se construyeron los encofrados y se llevaron a una central (Hormigones Varela S.A.) donde nos vertieron la cantidad de hormigón necesaria para preparar la base (10 y 16 cm de altura por cada sección de 14x56 y 14x84), el hormigón utilizado, siguiendo las indicaciones de proyecto, fue un HA-25/B/20 IIa de 20 mm de tamaño máximo del árido y con aditivo plastificante. Una vez desencofradas las bases de hormigón (ya en el laboratorio) se preparó el mortero de agarre (de dosificación 1:4) y se elaboraron las probetas. En la fotografía se muestra una imagen con la familia de probetas preparadas y listas para ensayar (una vez se curaron tanto el hormigón como el mortero).

En la imagen puede verse la diferencia de espesor de las bases de hormigón.

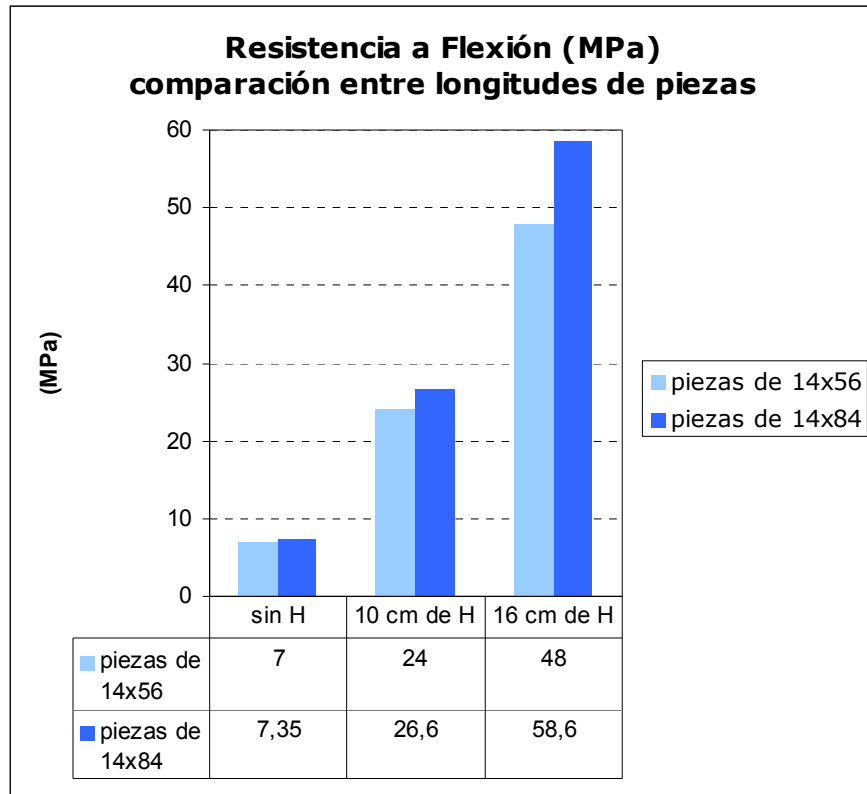


El ensayo se realiza colocando los apoyos a 5 cm del borde de cada probeta, como puede apreciarse en la imagen.

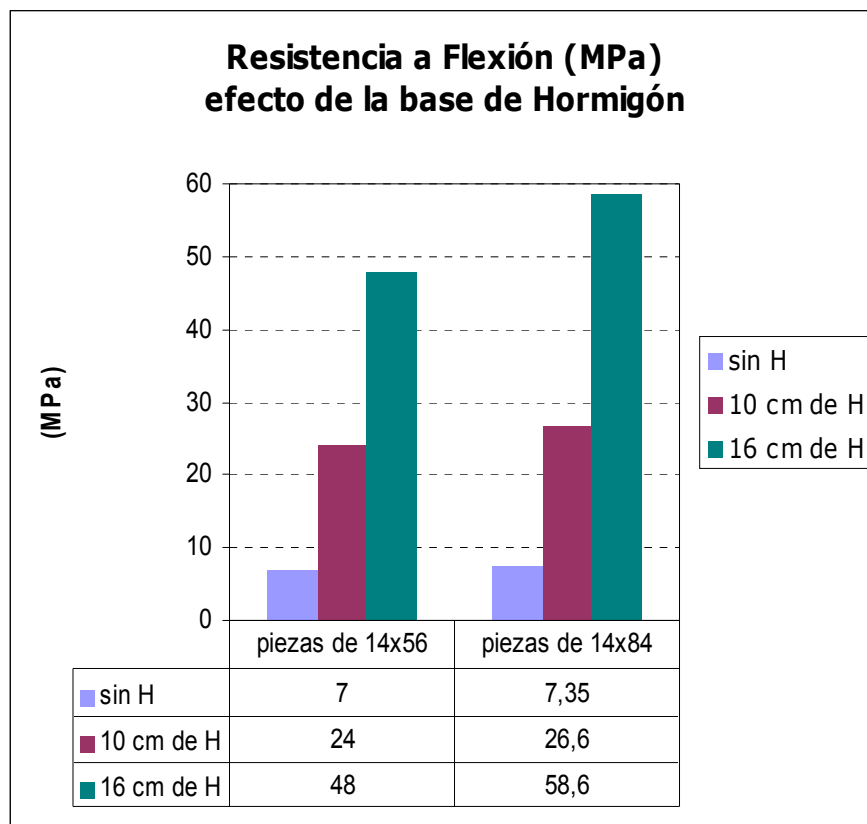
Se partieron un total de 6 probetas de cada tamaño (5x14x56 cm y 5x14x84), tres de ellas sobre losas de 10 cm de hormigón y las otras tres sobre losas de 16 cm de hormigón.

Los resultados obtenidos en el ensayo de rotura a flexión sobre losa se muestran en las siguientes gráficas.

GRÁFICA 1



GRÁFICA 2



En las imágenes siguientes se muestran las roturas de las probetas, interesantes como resultado puesto que se comprueba la adherencia entre las distintas partes de la disposición constructiva ensayada. Como puede verse, el paquete que forman la baldosa, el mortero y el hormigón rompen de manera solidaria y conjunta.



En la imagen, una vez partida la probeta, se observa la pérdida de adherencia del mortero con la pieza pétreo.



2.- ENSAYO DE ESTABILIDAD SUPERFICIAL

Se han colocado una serie de piezas expuestas a la intemperie durante 6 meses en distintas ubicaciones (soleada y sombría) y otra serie se ha dejado en el interior del laboratorio como blanco, para comprobar los posibles cambios de aspecto.



En la imagen se muestran seis piezas de cada ubicación, con y sin tratamiento superficial. Se comprueba que cualquier alteración es imperceptible visualmente.

Las probetas marcadas con una A son las que tienen tratamiento superficial.

Como puede verse, con respecto a las nº 1 (que han estado protegidas en el laboratorio) no se aprecia ninguna diferencia de aspecto significativa, tanto en las probetas nº 2 (situación soleada) como en las nº 3 (situación sombría).

No aparecen alteraciones en el tratamiento superficial ni cambios de coloración apreciables a simple vista.

3.- INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

a. RESISTENCIA A FLEXIÓN

Como puede deducirse de las gráficas 1 y 2, el empleo de una capa de mortero y una losa de hormigón supone un aumento de la resistencia a flexión de la solería muy importante:

1. Si se consultan los valores numéricos medios de las probetas de 5x14x56 ensayadas sin apoyo, el hecho de colocar la losa de hormigón de 10 cm triplica la resistencia a compresión y la multiplica por casi 7 en el caso de utilizar la de 16 cm

2. En el caso de las probetas de 5x14x84, la losa de hormigón de 10 cm también triplica la resistencia aunque el resultado mejor se consigue cuando la losa tiene 16 cm de espesor. En este caso, la resistencia a flexión se multiplica casi 8 veces, lo cual supone una mejora más que importante sobre todo teniendo en cuenta que se trata del despiece más arriesgado.

En cuanto a la adecuación a distintos usos constructivos y siguiendo las recomendaciones de la normativa (Anexo B (informativo) de la EN 1341:2001) y los valores de carga de rotura mínima obtenidos con el sistema constructivo adoptado, se produce una mejora tal que las piezas ensayadas pasan de cumplir para el uso previsto en proyecto (clases 0 y 1) a cumplir para todos los usos característicos descritos en dicha recomendación, incluidas carreteras y calles (clase 6).

b. ENSAYO DE ESTABILIDAD SUPERFICIAL

El resultado de este ensayo permite indicar que, al menos en una inspección visual y en las circunstancias climatológicas a las que han estado sometidas las piezas, el tratamiento superficial es perfectamente estable.

RESULTADO DE LA INTERVENCIÓN

Para terminar se muestran unas imágenes del aspecto final de la plaza tras la intervención de rehabilitación como ejemplo de la aplicación del proceso de investigación al éxito en la selección y caracterización de materiales, dimensionado, definición de detalles constructivos y ejecución de un proyecto urbano.



Aspecto actual, detalle de pavimentación, imágenes diurna y nocturna. Plaza del Pan, Sevilla.