

# ***INFORME DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA***

***TRAZABILIDAD DE LOS PARÁMETROS DE  
RESISTENCIA A LA ABRASIÓN EN LOS  
PAVIMENTOS DE PIEDRA NATURAL***

*Cehegín, Murcia, 31 de marzo de 2021*

## ÍNDICE

OBJETIVO DEL INFORME .....	3
PERFIL DE BÚSQUEDA.....	5
BASES DE DATOS DE PATENTES .....	5
BASES DE DATOS DE REVISTAS Y ARTÍCULOS CIENTÍFICOS .....	5
PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN.....	5
OFERTAS Y DEMANDAS TECNOLÓGICAS .....	6
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
Referencias .....	18

En Cehegín, Murcia, a 31 de marzo de 2021

## 1. OBJETIVO DEL INFORME

El presente informe tiene como finalidad informar a las empresas del sector del mármol, piedra y materiales de las últimas novedades científico-tecnológicas que han sido desarrolladas en el ámbito temático de **TRAZABILIDAD DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA A LA ABRASIÓN EN LOS PAVIMENTOS DE PIEDRA NATURAL**. La resistencia a la abrasión es una de las prestaciones de los productos de piedra natural destinados a pavimentos, con mayor relevancia para el mercado exterior, debido a que es una de las pocas características para las que la normativa ASTM, la más extendida fuera de la UE, establece requisitos. El nuevo comité internacional ISO/TC 367, creado en 2020, tiene el propósito de unificar la normativa europea y norteamericana, lo cual llevará probablemente a la adopción de alguno de los cuatro métodos de ensayo EN y ASTM, y al establecimiento de los requisitos correspondientes. Los métodos con mayor implantación actual son EN 1457 (método del disco giratorio ancho o “CAPON”) y ASTM C1353 (método del plato giratorio o “TABER”).

Ambos métodos se basan en fundamentos físicos similares, a pesar de lo cual, poseen una pobre correlación, y en principio, no será posible la transformación de un valor en otro, salvo que se realice por clases. Difieren principalmente en la velocidad de fricción tangencial entre la rueda abrasiva o el disco y la muestra, siendo más elevada en el método europeo, lo que explicaría una mayor proximidad entre los resultados de rocas de distinta dureza, y por tanto una menor capacidad de discriminación.

Se han seleccionado tres posibles materiales de referencia homogéneos y fácilmente disponibles en el mercado nacional, de los cuales el mármol Blanco

- 3 de 18 -

Macael se ha caracterizado como patrón secundario para el método CAPON, con un valor de  $21,7 \pm 0,5$  mm, y se ha propuesto además como material de referencia para la calibración del abrasímetro TABER, con un valor  $I_w = 12,4 \pm 1,5$ .

La validación comparada de ambos métodos proporciona provisionalmente una precisión de 1,1 mm (CAPON) y 1,5 (TABER), una exactitud de 0,5 mm (CAPON) y 1,5 (TABER), y una incertidumbre de 0,84 mm (CAPON) y 2,2 (TABER). La peor precisión del método ASTM es debida al material de referencia adoptado, el cual está insuficientemente estudiado, aunque se compensa sobradamente con la mayor distancia entre los valores, por lo que la exactitud relativa sería mejor para el método TABER (3,4%) que para el método CAPON (10,9%).

Este estudio ha permitido proponer un método para la resistencia a la abrasión para productos de piedra natural con el método TABER, modificado a partir de la norma ASTM C1353, en el cual se incluye la expresión de 4 clases de resistencia a la abrasión, y se incorpora la calibración con un material de referencia. Dicho método resulta más favorable para las calizas compactas, considerando las especificaciones ASTM actuales, que el método CAPON, y permitirá, en caso de que sea finalmente adoptado por ISO, mejorar la competitividad de los productos de mármol de la Región.

## **2. PERFIL DE BÚSQUEDA**

### **- BASES DE DATOS DE PATENTES**

INVENES: base de datos de invenciones en español de la Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM). Con el objetivo de difundir la información tecnológica contenida en los documentos de patentes y una cobertura nacional, INVENES contiene información sobre patentes y modelos de utilidad españoles y latinoamericanos así como sobre diseños industriales españoles.

ESPACENET: Base de datos de la Oficina Europea de Patentes que proporciona acceso gratuito a más de 80 millones de documentos de patente (solicitudes, patentes concedidas, traducciones, modelos de utilidad, etc.) publicados desde 1836, en más de 90 países.

### **- BASES DE DATOS DE REVISTAS Y ARTÍCULOS CIENTÍFICOS**

ScienceDirect: Science Direct es una colección multidisciplinar que ofrece acceso al texto completo de más de 12 millones de artículos y a más de 59 millones de resúmenes de artículos de todos los campos de la ciencia.

ICYT: base de datos del CSIC que recoge la literatura científica contenida en publicaciones españolas de ciencia y tecnología.

### **- PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**

TESEO: tesis doctorales leídas en las universidades españolas.

Tesis en Red: tesis doctorales de treinta universidades españolas a texto completo.

Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes: ofrece acceso a aquellas tesis o sobre lenguas hispánicas defendidas con éxito en cualquier país del mundo.

DART-Europe: acceso global a las tesis doctorales europeas.

OPENTHESIS

OATD: open access theses and dissertations.

CDTI: <https://www.cdti.es/index.asp?MP=7&MS=25&MN=3&IDR>

CORDIS: constituye el principal portal y repositorio público de la Comisión Europea para difundir información sobre todos los proyectos de investigación financiados por la Unión Europea y sus resultados de toda clase.

#### - OFERTAS Y DEMANDAS TECNOLÓGICAS

SEIMED: es la parte de la Red Enterprise Europe Network que ofrece sus servicios a las pequeñas y medianas empresas de la Comunidad Valenciana y la Región de Murcia.

Su objetivo es ayudar a las PYME a desarrollar su pleno potencial y su capacidad innovadora a través de la internacionalización, la transferencia de tecnología y el acceso a financiación.

#### - RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

La resistencia a la abrasión o resistencia al desgaste es una de las principales prestaciones de los productos empleados en pavimentación, y se encuentra entre las más solicitadas tradicionalmente, por su utilidad como criterio de calidad, por arquitectos y prescriptores. Se trata de una característica incluida en las normas armonizadas europeas de productos de piedra natural para suelos y escaleras: EN 1341, EN 1342, EN 12057 y EN 12058. No se ha considerado una característica esencial, y por tanto está excluida en los anexos ZA de las citadas normas, por lo que no aparece en el mercado CE, y se declara como información adicional.

Por el contrario, en la normativa ASTM, la resistencia a la abrasión es una de las 5 características principales, para las cuales se han fijado límites en las normas de especificaciones de piedra natural: ASTM C503, ASTM C568, ASTM C615, ASTM C616, ASTM C629, ASTM C1526 y ASTM C1527.

- 6 de 18 -

Existen dos métodos de ensayo europeos, incluidos en la norma EN 14157: los métodos CAPON y BHÖME. El primero de ellos es de origen francés, y tiene mayor implantación, dado que se ha venido considerando como método de referencia en Europa, y como tal venía indicado en la anterior edición de la norma de ensayo, hasta su revisión en 2017. El segundo es de origen alemán, país donde tiene mayor implantación. Ambos se aplican a diferentes familias de productos, como baldosas de hormigón y terrazos. El método CAPON se utiliza además en baldosas cerámicas.

En la normativa norteamericana existen también dos métodos de ensayo para la resistencia a la abrasión: DORRY y TABER, respectivamente con las normas ASTM C241 y ASTM C1353. Ambos métodos proporcionan como resultado un índice de abrasión equivalente  $H_a = I_w$ , al menos en teoría, ya que no se han publicado los datos de correlación en los que se basa dicha equivalencia. En realidad, ambos índices son semejantes para las piedras más blandas, con índices  $H_a = 6$  a  $15$ , es decir, en el rango crítico. Por el contrario, difieren para las rocas más duras como los granitos, con  $H_a = 50-100$ , en las que el método TABER proporciona resultados más elevados, por lo que se ha llegado a desaconsejar su utilización en granitos. Aunque se mantienen activas ambas normas, el método DORRY ya no se emplea apenas, y ha sido en gran medida reemplazado por el más moderno método TABER (aprobado inicialmente en 1996) debido a que tanto el equipo, la pista DORRY, como el abrasivo original especificado en ASTM C241, no están disponibles actualmente en el mercado.

Entre los dos métodos más extendidos, CAPON y TABER, el coste de los equipos es similar, pero este último presenta indudables ventajas, en cuanto a que se trata de un equipo mucho más compacto, en el ensayo se requieren menos probetas y de menor tamaño, y el coste de los materiales abrasivos es notablemente inferior. Por contra, el tiempo de ensayo es superior y no existe un método de verificación del equipo mediante materiales de referencia.

En mayo de 2020 se ha creado un nuevo comité internacional de normalización para la piedra natural, el ISO TC/327, en el que figuran 23 países, 13 de ellos miembros P (participantes), entre ellos España, y cuya primera reunión tuvo lugar el 14 de enero de 2021. Aunque hay una mayoría de países europeos, la secretaría y la presidencia del comité la ostentan respectivamente ANSI y *Natural Stone Institute* (Estados Unidos), por lo que cabe esperar que los trabajos se orienten hacia los métodos ASTM (también más extendidos internacionalmente) frente a los

EN. La mayoría de los métodos ASTM son prácticamente equivalentes a los correspondientes EN, por lo que cabe esperar que los métodos ISO resultantes no difieran sustancialmente de los europeos. No obstante, en el caso de la resistencia a la abrasión, los métodos ASTM y EN son radicalmente distintos, y también los límites o especificaciones asociadas a cada método.

La adopción de una norma ISO de resistencia a la abrasión, válida para todos los mercados, constituye una oportunidad para eliminar barreras a la exportación fuera de la UE, simplificando los procedimientos de evaluación de prestaciones, y abre la posibilidad de seleccionar el método más favorable a los intereses de la industria del mármol. Para ello, en primer lugar, es necesario realizar una correlación entre los métodos de ensayo más extendidos y con más posibilidades de ser adoptados como método de referencia por ISO, es decir, CAPON y TABER. No existe por el momento ninguna correlación publicada entre ambos métodos ni ninguna regla de equivalencia disponible para los límites y especificaciones.

Los límites recomendados en Europa para la resistencia a la abrasión de suelos con uso colectivo intensivo varían según países entre 20 y 24 mm con el método CAPON (EN 14157) mientras que los recomendados por el NSI (2016) en Estados Unidos varían entre 10 y 12 para el índice  $I_w$ , obtenido con el método TABER (ASTM C1353).

Mientras que los límites europeos se encuentran próximos al valor típico de los mármoles y calizas de alta densidad, los norteamericanos son más cercanos a los de las calizas de densidad media y travertinos, por lo que serían en principio menos exigentes y más fáciles de cumplir para una gama más amplia de variedades de piedras calizas, travertinos, areniscas, etc.

El Centro Tecnológico del Mármol participa en el comité de normalización nacional CTN 22 SC 5 (Piedra natural), comité espejo del ISO/TC 327, y cuenta con un laboratorio acreditado por ENAC, que realiza tanto ensayos de normativa europea como ensayos ASTM destinados a la exportación a países fuera de la UE, particularmente a Norteamérica y Oriente Medio.

## 1.2. Equipamiento

Para el presente estudio se han utilizado un abrasímetro TABER modelo 5135, adquirido en 2009 y un abrasímetro de tipo CAPON de la marca GABBRIELLI,



modelo *Deep Stone*, adquirido en 2020. Se ha tenido en cuenta que los equipos se encontrasen en un estado óptimo, para lo cual el abrasímetro TABER se envió al proveedor en noviembre de 2019 para una revisión completa, mientras que el antiguo abrasímetro CAPON IBERTEST DIB-70 se sustituyó por uno nuevo, el cual se ha calibrado internamente en 7 ocasiones en el transcurso del proyecto.

El abrasímetro TABER (fig. 1) consta de una plato giratorio para un puesto, accionada por motor a una velocidad de  $72\pm 2$  rev./min o  $60\pm 2$  rev./min, dos brazos pivotantes de cuyo extremo cuelgan las ruedas abrasivas y los contrapesos de 1000 g, un sistema de succión por vacío para eliminar los residuos de desgaste y las partículas abrasivas de la superficie de la muestra, con dos boquillas de aspiración y un contador de vueltas. Las ruedas abrasivas (TABER H-22) tienen un diámetro máx./mín. de 52/45 mm y un ancho de 12,7 mm. Incluye un aparato auxiliar refrentador de muelas abrasivas TABER *wheel refacer* modelo 250.

La probeta (una placa de piedra de 100x100 mm perforada en su centro) se coloca sobre el plato giratorio, sujeta con una tuerca al eje roscado, y se somete a 1000 revoluciones, tras lo cual se mide la variación de masa debida al desgaste.



Figura 1: Abrasímetro TABER 5135

El abrasímetro CAPON (fig. 2) consta de un disco vertical giratorio de acero Fe 690, de diámetro  $200\pm 1$  mm y  $70\pm 1$  mm de anchura, accionado por motor con un contador de vueltas, una tolva de abrasivo con válvula de salida regulable, que alimenta una tolva guía de flujo, un carro portaprobetas sobre rodamientos, que se desplaza hacia el disco presionado por un contrapeso suspendido de masa nominal (inicial) de 14 kg.

La probeta, presionada contra el disco, se somete a 75 revoluciones en  $60\pm 3$  s, mientras cae entre ambos un caudal de abrasivo (corindón blanco FEPA F80) de  $>2,5$  l/min, produciendo en la superficie una huella rectangular. La medida de la altura de la huella es el resultado de la resistencia a la abrasión.

El equipo se ajusta mediante la variación de la masa suspendida, para obtener como resultado una huella de  $20\pm 0,5$  mm en el material de referencia (mármol de Boulonnais).



- 10 de 18 -

Figura 2: Abrasímetro CAPON GABBRIELLI *Deep Stone*

Durante la puesta en marcha del equipo, se aprovechó la serie de calibraciones y ajustes iniciales con mármol de Boulonnais, para correlacionarlo con un material de referencia interno, de fácil disponibilidad, dado que ha cesado la explotación del mármol de Boulonnais no está en la actualidad disponible. Esto fue posible gracias a una provisión almacenada en el Centro Tecnológico del Mármol, procedente de las distintas partidas adquiridas en 2005, 2007 y 2011.

El material elegido, por su proximidad, homogeneidad, precio asequible y una larga tradición de explotación por varias empresas, lo que asegura su disponibilidad futura, ha sido el mármol Blanco de Macael. De este modo lo que se ha pretendido es la sustitución del material de referencia para futuras calibraciones. Para ello se ha hecho un acopio de 20 m<sup>2</sup> de placa apomazada con grano F220 en ambas caras, de modo que sea utilizable un total de 40 m<sup>2</sup>. La adquisición se ha realizado a la empresa Mármoles Luis Sánchez S.L., de Fines (Almería) y procede de la cantera "Barranco Puntilla-Gran Parada N<sup>o</sup> 96.

Este mármol ya fue objeto de varios ensayos interlaboratorio en 2010, 2013 y 2016. Concretamente en la ronda de 2010 se intentó validar como material de referencia por un grupo de 10 laboratorios, pero la reproducibilidad interlaboratorio no fue muy buena, por lo que el intento no prosperó.

En esta ocasión, una vez ajustado el equipo, se han efectuado 28 huellas en tres series en distintas fechas, por 2 operadores, alternando huella a huella el mármol de Boulonnais y el mármol Blanco Macael (tabla 1). Aceptando todas las huellas se obtuvo un valor medio para el mármol de Boulonnais de 20,01 mm que, se corresponde con un valor corregido para el Blanco Macael de 21,71 mm. La secuencia de medidas se muestra en la gráfica de la fig. 3.

Material de referencia	Boulonnais	Macael	Macael (corregido)
Medida de la huella (mm)	19,24	20,30	21,07
	19,42	21,79	22,37
	20,07	22,13	22,06
	19,79	20,35	20,56
	21,03	22,73	21,70
	19,51	22,88	23,37
	20,79	21,37	20,57
	20,91	22,62	21,71
	20,24	21,31	21,07
	20,17	22,52	22,35
	20,27	22,29	22,02
	19,98	22,74	22,75
	19,80	21,54	21,74
	19,95	21,31	21,36
	19,97	22,13	22,16
	20,13	22,11	21,98
	19,17	20,83	21,66
	20,53	22,77	22,24
	20,24	21,09	20,85
	20,73	21,10	20,37
	20,47	22,12	21,65
	20,19	21,52	21,32
	19,80	21,91	22,11
	20,15	22,09	21,93
	19,10	21,11	22,01
	19,54	20,91	21,36
	19,59	21,15	21,55
	19,49	21,34	21,85
Promedio (mm)	<b>20,01</b>	<b>21,72</b>	<b>21,71</b>
$\sigma$ (mm)	<b>0,52</b>	<b>0,74</b>	<b>0,67</b>

Tabla 1: Medidas consecutivas de materiales de referencia CAPON.

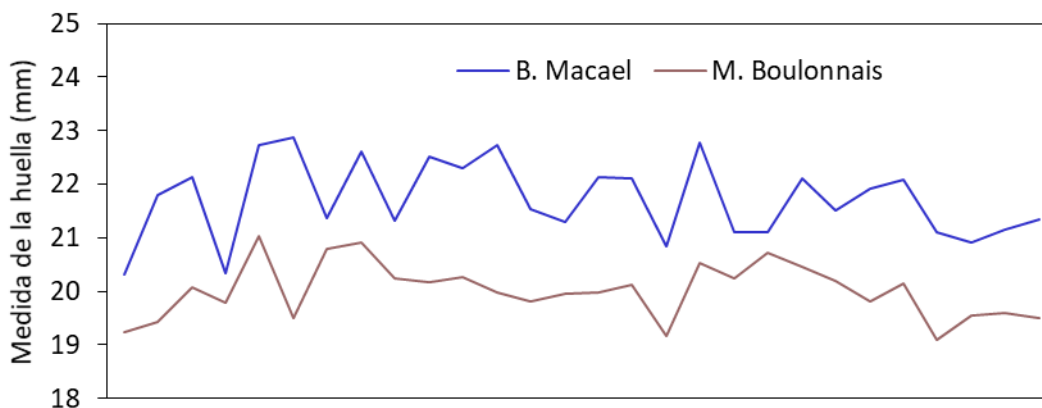


Figura 3: Secuencia de medidas con materiales de referencia CAPON.

Las diferencias entre los resultados de ambas series, sometidas a la prueba *t de student*, se encontraron significativas. La dispersión de medidas en ambos materiales (una vez corregidos los datos de Macael) son muy similares, por lo que la homogeneidad del nuevo material de referencia se ha considerado adecuada. Por tanto, se ha fijado un valor de calibración para el material de referencia secundario de  $21,7 \pm 0,5$  mm.

### 1.3. Selección de materiales de referencia

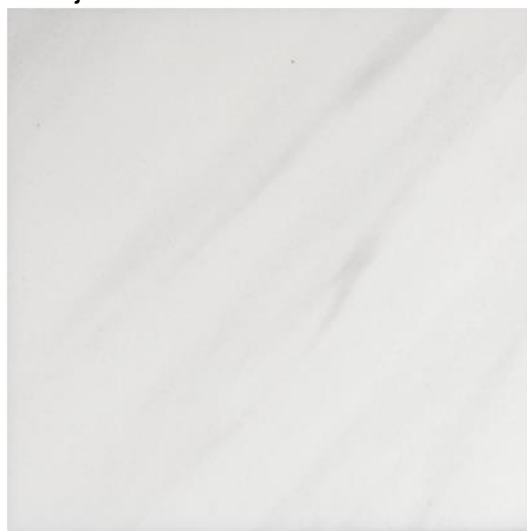
Uno de los problemas observados del método TABER para piedra natural, es que no se ha definido un verdadero método de calibración, basado en materiales de referencia, como sí ocurre en el caso del método CAPON. Las instrucciones de calibración del fabricante o las que se realizan en establecimientos autorizados, consisten en la verificación del desgaste, alineamiento y planeidad de los componentes, peso de las masas accesorias, velocidad del motor y la capacidad de succión. Esto no proporciona una mínima trazabilidad de los resultados, por lo que en este proyecto se ha abordado el estudio de un conjunto de al menos 3 materiales de referencia, entre piedras naturales conocidas y homogéneas, disponibles en el mercado permanentemente y fáciles de adquirir, que abarquen el rango de medida.

Los materiales inicialmente seleccionados han sido los siguientes:

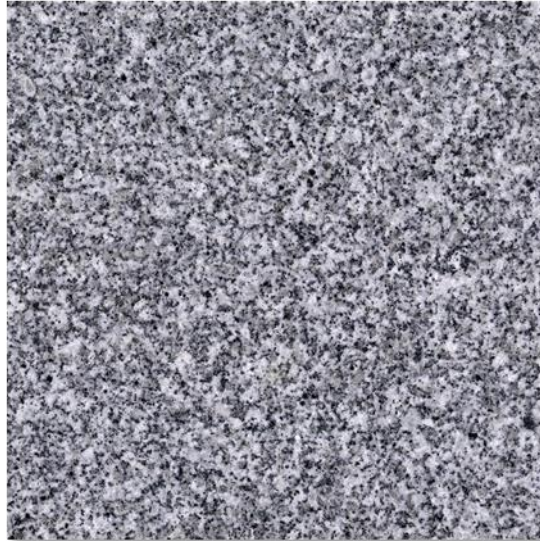
- **Azul Bateig.** Se trata de una calcarenita de grano fino pobremente laminada y muy isótropa, procedente de Elda (alicante), con un 15-16% de porosidad.



- **Blanco Macael.** Se trata de un mármol calcítico de tamaño de grano medio procedente de Macael (Almería), con un 0,2% de porosidad. Este material ha sido además seleccionado como patrón interno para el método CAPON por el laboratorio, y ha sido objeto de varios interlaboratorios.



- **Gris Quintana.** Se trata de una roca plutónica entre monzogranito y granodiorita, con tamaño de grano medio, procedente de Quintana de la Serena (Badajoz), con un 0,4 % de porosidad. Su inferior contenido en cuarzo (25%) le proporciona un desgaste ligeramente mayor que un granito.



Además de las anteriores tres variedades de piedra, se ha incluido el material de referencia especificado en la norma E para el método CAPON, el mármol de Boulonnais, variedad **Lunel demi-clair**, a pesar de que es un producto que ya no está disponible, puesto que disponemos de abundantes datos de precisión a partir de ejercicios interlaboratorio. Se trata de una caliza micrítica procedente de Ferques (departamento de Paso de Calais, Francia). El valor de la resistencia a la abrasión con el método CAPON para esta piedra es de  $20,0 \pm 0,5$  mm (definido en la norma EN 14157).



Los tres materiales de referencia seleccionados se han caracterizado con los dos métodos de resistencia a la abrasión, obteniéndose los siguientes resultados (tabla 2). En la gráfica de la figura 4 se representan los valores, que claramente no presentan una distribución lineal, sino exponencial o potencial, debido a la baja tasa de abrasión de las rocas más duras con el método TABER.

Material de referencia	R CAPON	$I_w$ TABER
Gris Quintana	17,0	87,0
Mármol de Boulonnais	20,0	33,6
Blanco Macael	21,7	12,4
Azul Bateig	25,6	6,7

Tabla 4: Valores de resistencia a la abrasión para los materiales de referencia.



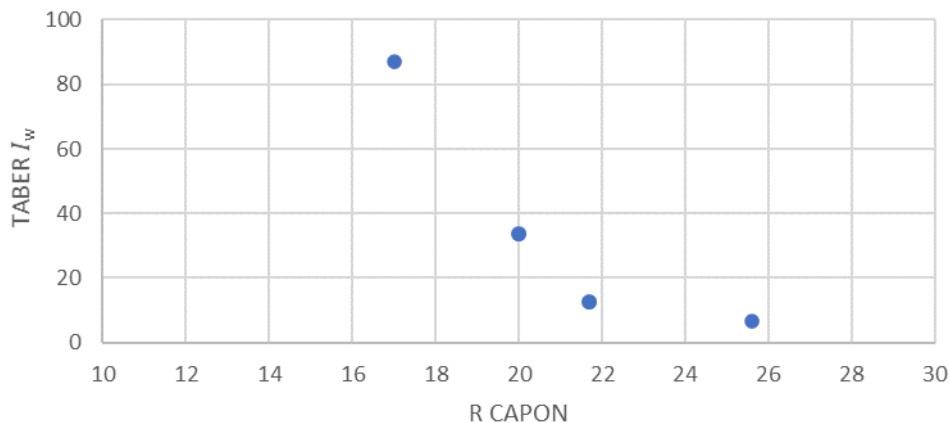


Figura 4: Correlación TABER/CAPON para los materiales de referencia seleccionados.

De los valores obtenidos se deduce que el material de referencia seleccionado, cuyos valores para ambos métodos se encuentra más próximo a las especificaciones o recomendaciones para diferentes usos, es decir CAPON = 20-24 mm y TABER  $I_w$  = 10-12, es el mármol Blanco Macael. Este material tiene la ventaja frente al mármol de Boulonnais, su disponibilidad y el haber sido seleccionado como material de referencia secundario para la calibración del abrasímetro CAPON.

Los dos materiales de referencia que presentan valores más extremos (Gris Quintana y Azul Bateig) se encuentran muy alejados de las especificaciones de uso, por lo que su utilidad es cuestionable.

## Referencias

1. ASTM C503/C503M-15 Standard specification for marble dimension stone.
2. ASTM C568/C568M-15 Standard specification for limestone dimension stone.
3. ASTM C615/C615M-18e1 Standard specification for granite dimension stone.
4. ASTM C616/C616M-15 Standard specification for quartz-based dimension stone.
5. ASTM C629/C629M-15 Standard specification for slate dimension stone.
6. ASTM C1526-19 Standard specification for serpentine dimension stone.
7. ASTM C1527-11/C1527M-11(2018) Standard specification for travertine dimension stone.
8. ASTM C1353/C1353M-20 Standard test method for abrasion resistance of dimension stone subjected to foot traffic using a rotary platform abraser.
9. G-ENAC-14 Rev. 1 (2020) Guía sobre la participación en programas de intercomparaciones
10. MIA (2016) Horizontal surfaces. Dimension stone design manual, version VIII.
11. NF B 10-601:2019 Produits de carrière - Pierres naturelles - Prescriptions générales d'emploi des pierres naturelles.
12. UNE 22202-1:2011 Productos de piedra natural. Construcción de pavimentos con piedra natural. Parte 1: Baldosas para pavimentación de suelos y escaleras.
13. UNE 22202-4:2011 Productos de piedra natural. Construcción de pavimentos con piedra natural. Parte 4: Pavimentos elevados registrables.
14. UNE-EN 1341:2013 Baldosas de piedra natural para uso como pavimento exterior. Requisitos y métodos de ensayo.
15. UNE-EN 1342:2013 Adoquines de piedra natural para uso como pavimento exterior. Requisitos y métodos de ensayo.
16. UNE-EN 12057:2015 Productos de piedra natural. Plaquetas. Requisitos.
17. UNE-EN 12058:2015 Productos de piedra natural. Baldosas para pavimentos y escaleras. Requisitos.
18. UNE-EN 14157:2018 Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la abrasión.