

Estudio granulométrico y su aplicación a los procesos industriales de residuos de corcho y corcho de baja calidad

Antonio Macías-García* - Ángel Hernández Jiménez**
Javier Hernández-Santiago***

Study granulometric and their application to the industrial processes of cork residuals and cork of low quality

RESUMEN

El estudio granulométrico de la forma y tamaño de las partículas de regranulados negros de residuos de corcho y corcho de baja calidad tiene un gran interés, ya que condiciona la proporción de resina /corcho necesaria para la formación de regranulados negros ligados mediante la resina natural del corcho (suberina), o con diferentes resinas sintéticas. Por ello resulta de gran importancia su aplicación a equipos comerciales de proyección de partículas, sobre superficies, para la formación de películas uniformes con un costo más económico.

De acuerdo con los resultados obtenidos en varios trabajos para este tipo de material, resulta de gran interés realizar una buena elección de la forma y tamaño de partícula (1-2,5 mm), lo que da lugar a comportamientos que permiten minimizar el efecto rebote de las partículas durante la proyección, así como reducir la cantidad de resina natural o sintética utilizada. Todo ello supone mejorar las aplicaciones industriales y optimizar el uso de equipos comerciales de proyección de partículas para obtener películas uniformes en superficies, que en el caso del corcho se aplican como aislantes térmicos o acústicos.

PALABRAS CLAVES:

granulometría, corcho, aplicación.

ABSTRACT

Granulometric study of form and size of the particles of black re-granulated of cork residuals and low quality cork, have a great interest because it influences the proportion of resin and necessary cork for the formation of bound black regranulates by means of the use of natural resin /subresin) as of different synthetic resins and in their application in projection teams of commercial particles for the formation of uniform films with a more economic cost.

In accordance with the results obtained in this and another works, it is recommended like good values of the particles a half size among (1-2,5) mm, since minimizes the effect it bounces and the quantity of resin so much natural as synthetic what allows a degree of good compactin. Everything it, supposes to improve the industrial applications and to optimize the use of commercial teams of projection of cork particles to obtain uniform movies in surfaces (insulating thermal or acoustic).

KEYWORDS:

granulometric, cork, application.

* Doctor en ciencias químicas, profesor asociado del área de ciencias materiales e ingeniería metalúrgica, Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Extremadura.

** Licenciado en ciencias químicas, ingeniero industrial, profesor asociado del área de ciencias materiales e ingeniería metalúrgica, Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Extremadura.

*** Licenciado en ciencias exactas, becario del departamento de matemáticas de la Universidad de Extremadura.

INTRODUCCIÓN

El corcho ha sido utilizado por el hombre desde tiempos inmemoriales. Existen pruebas de su empleo para tapones de vasijas y como material de flotación en artes de pesca por parte de egipcios, griegos y romanos. Además de estos usos, los árabes lo utilizaron para el aislamiento térmico de viviendas, así como para trabajos de ornamentación y utensilios domésticos, y los chinos para la elaboración de zapatos. No obstante, su aceptación y uso industrial se sitúan en la segunda mitad del siglo XVII debido a la necesidad de conseguir un cierre hermético para los vinos espumosos, lo que propició la conversión del tratamiento del corcho en una industria en desarrollo que se extiende por toda Europa [1].

El incremento de la demanda de tapones a través del tiempo por la industria vinícola, se debe a las excelentes cualidades de este material. Ante la imposibilidad de abastecer el mercado, surgió la necesidad de aprovechar los residuos resultantes de la manufactura del corcho natural, así como las planchas de corcho de peor calidad no aptas para la industria del taponamiento y el proceso de industrialización. Todo ello permitió que John T. Smith, en el año 1891, elaborara los primeros aglomerados negros o expandidos, constituidos por

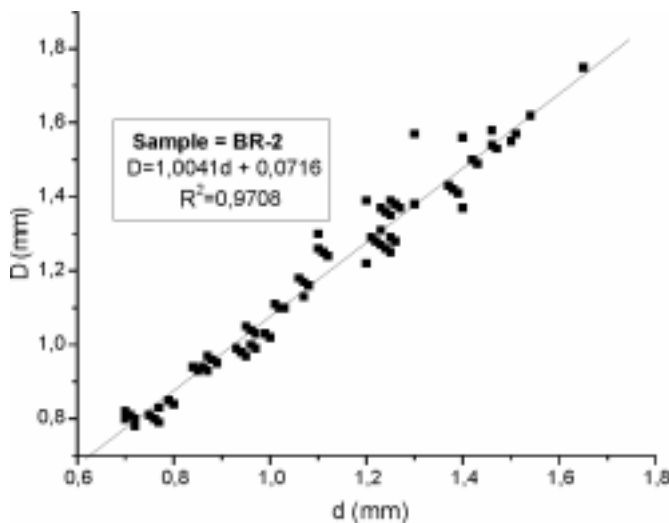


Figura 2. Diámetro mayor frente a diámetro menor en la muestra BR-2.

regranulados de corcho aglutinado entre sí por su propia resina natural [2-4].

Teniendo en cuenta que las fábricas suministran el regranulado según distintas granulometrías, sin un control excesivo sobre el tamaño y la forma, en este artículo se da cuenta de la importancia de estas variables en determinadas aplicaciones [5,6].

El objetivo del presente estudio ha sido determinar la forma (aproximada) y el tamaño de las partículas de cada uno de los regranulados negros (BR) utilizados, para comprobar el efecto producido y las aplicaciones industriales derivadas de ellas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras utilizadas en este trabajo proceden de los residuos de la industria taponera del corcho de San Vicente de Alcántara, en el suroeste de España.

Tabla 1. Resultado del estudio granulométrico del regranulado negro de corcho

Muestra	D (mm)	d (mm)	Modelo	f (mm)	Sp·10 ⁶ (m ² /part)	S ₉₀₀ (m ² /g)
BR-1	0,73	0,63	Esfera	0,68	1,45	0,133
BR-2	1,20	1,14	Esfera	1,17	14,78	0,0439
BR-3	2,51	2,34	Esfera	2,42	18,39	0,0388
BR-4	4,50	2,10	Cilindro	3,30	13,85	0,065

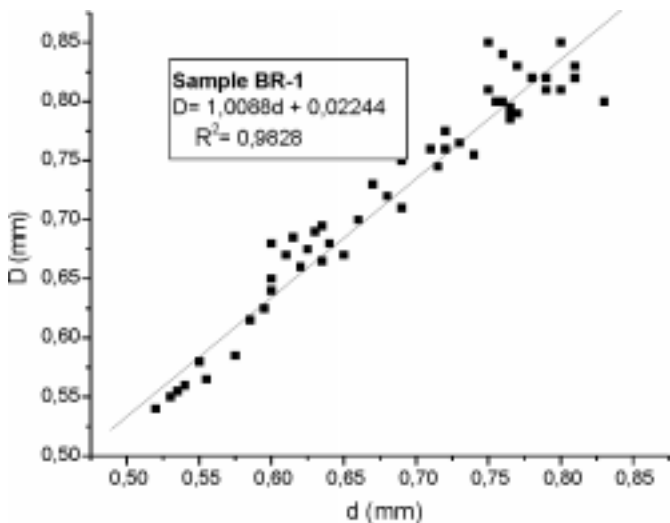


Figura 1. Diámetro mayor frente a diámetro menor en la muestra BR-1.

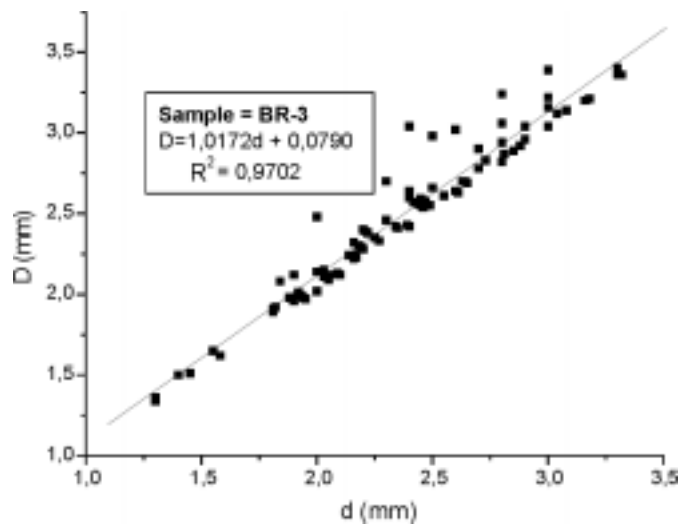


Figura 3. Diámetro mayor frente a diámetro menor en la muestra BR-3.

La preparación de las muestras de regranulado negro (BR) de corcho, es decir, de residuos de corcho y corcho de baja calidad no apto para uso industrial, se realizó triturando el material de partida en un molino de estrella o de dientes para obtener un granulado de tamaño adecuado y realizar una primera eliminación de impurezas (tierra, polvo, etc.). El producto resultante se pasa por un triturador de martillo, donde se produce

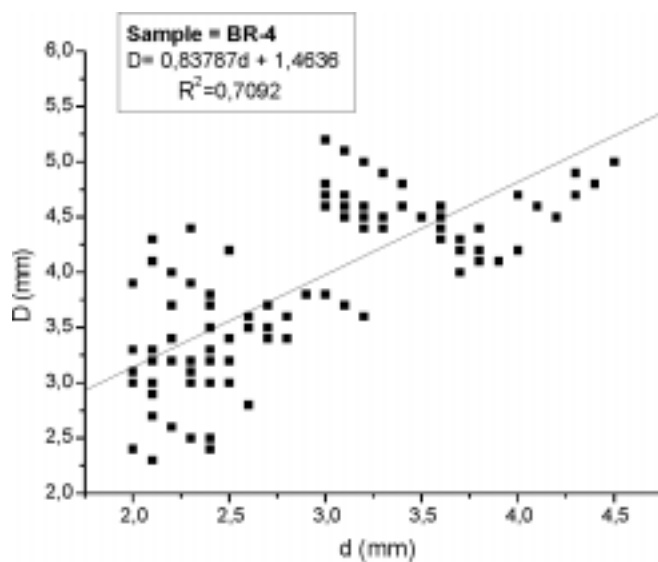


Figura 4. Diámetro mayor frente a diámetro menor en la muestra BR-4.

un nuevo troceado y separación de impurezas. El granulado obtenido, cada vez más purificado, se pasa a un triturador de cuchillas, donde se consiguen las diferentes granulometrías.

Tras las etapas de molienda, se procede a la separación y selección de diferentes tamaños de granos mediante tamices. Posteriormente, se lleva a cabo el estudio granulométrico de los distintos regranulados de corcho, con la ayuda de un fotomicroscopio Carl Zeiss II. La muestra de regranulado se colocó sobre un portaobjetos y se procedió a la medida de los diámetros mayor (D) y menor (d) de cien partículas consideradas representativas, calculando a continuación el diámetro medio, $\phi = (D + d)/2$, de las mismas.

A partir de los valores de D y d , representados en las figuras 1 a 4, se calcularon los diámetros medios ϕ , de las partículas de regranulados negros, así como (supuestas esféricas), (figuras 5-7) la superficie geométrica (S_{geo}) de las mismas (tabla 1). En el caso de la muestra BR-4 (figura 8) (considerando $D = h$ y $d = \phi$), se determinaron los valores medios del diámetro de las bases y de la longitud del cilindro al que se pueden asimilar las partículas de este regranulado. El cálculo de la media ponderada (ϕ_p) de los valores de ϕ se efectuó, para todas las muestras, teniendo en cuenta la distribución de los mismos (figuras 9 a 12).

A partir de ϕ (y de ϕ y h en el caso de BR-4) se calculó el volumen medio de las partículas y a partir de la densidad se determinó el número de partículas por gramo, valor que se ha utilizado para determinar la superficie externa de cada una de las partículas (S_p), así como la superficie geométrica (S_{geo}) del conjunto de partículas contenidas en la unidad de masa. Los valores de S_p y S_{geo} se indican también en la tabla 1.

Tabla 2. Preparación de aglomerados negro y compuesto

Aglomerado negro			Aglomerado compuesto			
Muestra	Tamaño partícula (mm)	Espesor (mm)	Muestra	Tamaño partícula (mm)	Proporción resina/corcho	Espesor (mm)
BA-1	0,68	15	CA-1	0,68	80/100	15
BA-2	1,17	25	CA-2	1,17	80/100	25
BA-3	2,42	30	CA-3	2,42	80/100	30
BA-4	3,30	35	CA-4	3,30	120/100	35
			CA-5	1,17	150/100	40



Figura 5. Partículas de la muestra BR-1.

Para determinar la densidad, se tomó cantidad suficiente de cada muestra para rellenar un recipiente cúbico de 2 dm³ (NC 10A) o 1 dm³ (NC 10B), según se trate de regranulados de tamaño de partícula superior a 2,8 mm o menor de 2,8 mm, respectivamente.

A continuación, a una temperatura de aproximadamente 20 °C y en una atmósfera de humedad relativa de 65 ± 5%, se mantiene durante 24 horas. Posteriormente, se llenan los recipientes cúbicos y se realizan tres pesadas para cada muestra, tomando como valor final la media aritmética de los tres valores determinados. Conocidos la masa y el volumen, se procede a calcular la densidad.

Una vez conocidos el tamaño, la forma y demás parámetros del regranulado negro, éstos se utilizan como punto de partida para obtener los aglomerados negros (BA), regranulados negros de corcho que a 250 °C y presión de 150 kp/cm² destilan la resina natural del corcho (suberina) que actúa como ligante de los granos y de los aglomerados compuestos (CA) que ligan el regranulado mediante una resina sintética de poliuretano (MC-7600-D, suministrada por Synthesia Española, S.A.) (tabla 2). En este proceso, además de otras variables son fundamentales el tamaño de grano y la forma, ya que estos parámetros condicionan la proporción resina/corcho y su posible aplicación. Los aglomerados negros y los aglomerados compuestos, se usan, aparte de la industria taponera, como aislantes térmicos y acústicos en el revestimiento de superficies.

Para la realización de las experiencias acústicas se utilizó un aparato de onda estacionaria Bruel & Kjaer modelo 4002 y se siguió la norma ASTM-C-384-56, que permite determinar la razón de onda (n), coeficiente de absorción acústica (α) y el coeficiente de reducción de ruido (NCR) utilizando las ecuaciones (1) y (2).

$$\alpha = 1 - \frac{(n-1)^2}{(n+1)^2} = \frac{4n}{n^2 + 2n + 1} \quad (1)$$

$$CNR = \frac{\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000}}{4} \quad (2)$$

La conductividad térmica λ de BA y CA se medía con un equipo Ketherm QTM-D3 mediante una sonda de temperatura QTM PA1. Los valores se obtenían a partir de la temperatura de la sonda, según la ecuación (3).

$$\lambda = 0,00015T_m + 0,03133 \quad (3)$$

Finalmente, el efecto rebote se medía en forma manual, proyectando cien partículas sobre la superficie, y se evaluaba el número de partículas que no se fijaban a la pared.



Figura 6. Partículas de la muestra BR-2.



Figura 7. Partículas de la muestra BR-3.



Figura 8. Partículas de la muestra BR-4.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

A la vista de los resultados experimentales representados (en la forma D vs d) en las figuras 1 a 4, se observa que en general existe una buena correlación entre los valores de D y d y que, en las muestras BR-1, BR-2 y BR-3, la pendiente de cada una de las rectas D vs d es la unidad; esto sugiere que las partículas son aproximadamente esféricas, y como esferas se estudia la posible influencia a la hora de formar el aglomerado negro y el aglomerado compuesto.

La esfericidad (aproximada) de las partículas de regranulado se confirma a la vista de las figuras 5 a 7. A diferencia de los que ocurre con las muestras BR-1, BR-

2 y BR-3, en la cuarta (BR-4) no hay correlación entre D y d , lo cual no debe extrañar puesto que en este último caso las partículas no pueden considerarse esféricas sino cilíndricas, según se puede apreciar en la figura 8. Sin embargo, a la hora de realizar cálculos estas partículas se asimilarán a esferas equivalentes de diámetro medio $\phi = (D+d)/2$, con lo cual se simplifica en gran medida el citado cálculo. Obviamente, en el caso del BR-4 los cálculos tendrán un mayor error (derivado del modelo geométrico considerado).

A la vista de los resultados recogidos en las figuras 9 a 12, se pone de manifiesto que los valores obtenidos de ϕ_p (media ponderada) son muy parecidos a los indicados en la tabla 1, lo que destaca la bondad del método.

Tabla 3. Parámetros obtenidos para el regranulado negro de corcho

Muestra	Tamaño partíc. (mm)	Resina/corcho relación	λ^* ($\text{kcal}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{C}^{-1}$)	CNR** (%)	Efecto rebote (%)
BA-1	0,68	80/100	0,0348	30,20	12,20
BA-2	1,17	80/100	0,0350	29,98	2,45
BA-3	2,42	80/100	0,0367	29,20	3,05
BA-4	3,30	80/100	0,0382	28,90	10,97
CA-1	0,68	120/100	0,0427	34,60	9,70
CA-2	1,17	120/100	0,0383	35,00	1,67
CA-3	2,42	120/100	0,0413	31,70	2,35
CA-4	3,30	120/100	0,0451	31,90	8,53
CA-5	1,17	150/100	0,0405	30,40	1,59

* λ : conductividad térmica.

** CNR: coeficiente de reducción de ruidos.

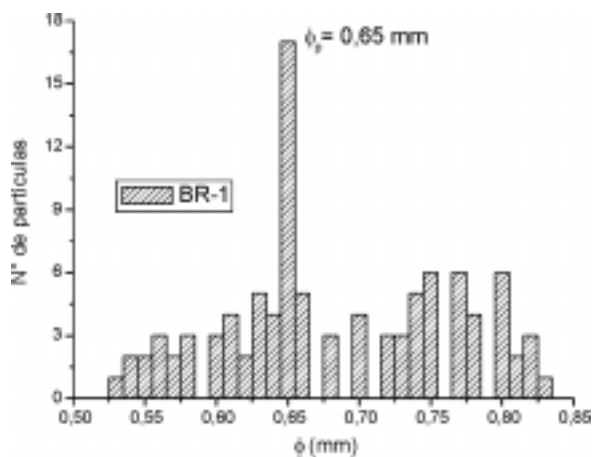


Figura 9. Tamaño de partícula de la muestra BR-1.

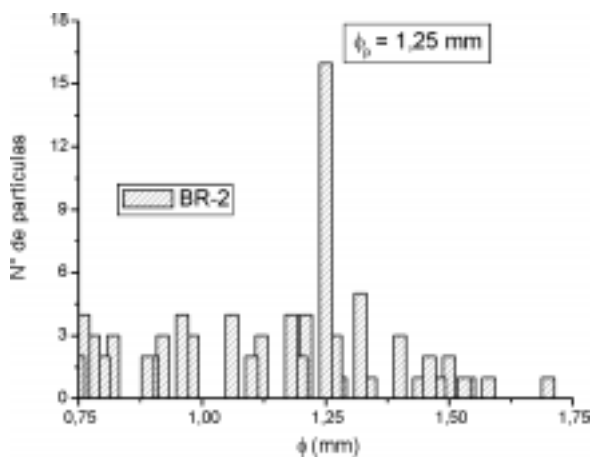


Figura 10. Tamaño de partícula de la muestra BR-2.

El conocimiento de la granulometría en el aglomerado negro, BA (regranulado negro, BR, ligado mediante resina natural de corcho, suberina) y el aglomerado compuesto, CA (regranulado negro, BR, ligado mediante resina sintética), tiene un campo de aplicación importante en la preparación de correctores acústicos y térmicos de superficies (paredes, techos, etc.). En recientes trabajos realizados por nosotros, consistentes en utilizar equipos de proyección de partículas para formar películas uniformes sobre paredes, suelos, etc., notamos que hay que controlar aspectos trascendentales como la granulometría, la dosificación resina/corcho y el efecto rebote que ocasionan estas partículas al incidir sobre la superficie.

El conocimiento del tamaño medio de partículas y la forma (aproximada) ayudan a solucionar problemas técnicos (corrección térmica y acústica de las superficies sobre las que se aplica el producto obtenido a partir del regranulado negro) y económicos (rentabilidad en el trabajo que se va a realizar).

Desde el punto de vista técnico, recientes trabajos realizados por este equipo [7-9] ponen de manifiesto (tabla 3) que el tipo de granulometría seleccionada condiciona, de modo importante, el comportamiento del producto como aislante térmico o acústico.

A la vista de la tabla 3 hay que decir que existe para cada tipo de granulometría un valor máximo de dosificación de resina/corcho, para el cual el aire, antes pre-

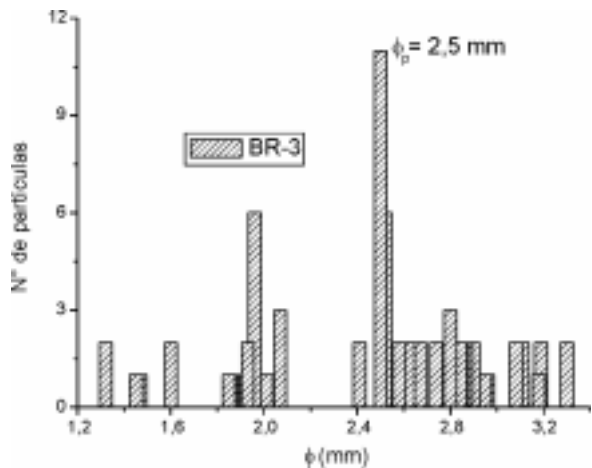


Figura 11. Tamaño de partícula de la muestra BR-3.

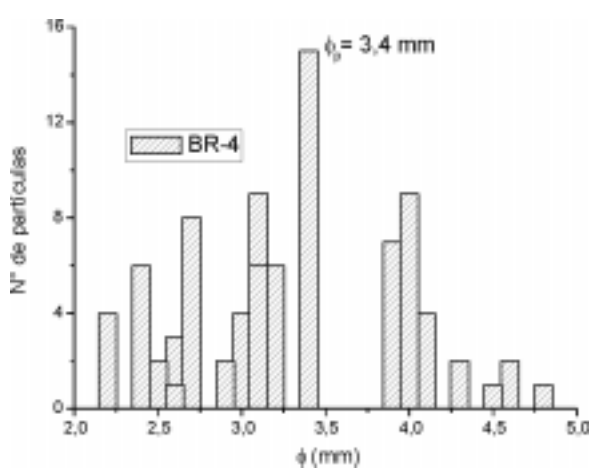


Figura 12. Tamaño de partícula de la muestra BR-4.

sente en los poros de la estructura del aglomerado, es desplazado y sustituido totalmente por un exceso de resina. En las muestras de aglomerado negro se observa que manteniendo constante la relación de resina y variando la granulometría, conforme aumenta ésta disminuye el coeficiente de reducción de ruidos y se incrementa la conductividad térmica.

Si el contenido de aire es nulo, desaparecerá la transmisión de calor debida al fenómeno de microconvección, y a partir de entonces cualquier incremento del contenido de resina implicará un aumento de densidad y un incremento inevitable de la transmisión de calor λ por conducción a través de dicho ligante BA-2 (0,0350), CA-2 (0,0383), CA-5 (0,0405).

Igualmente, para cada tipo de granulometría existe un valor máximo de dosificación de resina/corcho, para el cual el aire es desplazado y sustituido totalmente por un exceso de resina. A partir de entonces, al no existir canales internos de disipación y fricción de la energía sonora, el poder de absorción acústica CNR se vería seriamente afectado BA-2 (29,98), CA-2 (35,00), CA-5 (30,40).

Desde el punto de vista económico, conviene tener en cuenta la relación de la granulometría con los dos factores siguientes: dosificación mínima de resina/corcho y porcentaje de rebote. Así podemos afirmar que para granulometrías menores se requieren cantidades superiores de resina para conseguir en la mezcla resultante la resistencia mínima exigida; este mayor consumo de materia prima conduce, inevitablemente, a una mayor inversión económica.

En cuanto al efecto rebote, que se produce cuando se proyecta el producto sobre la superficie, teniendo en cuenta el equipo empleado para ello, da lugar a pérdidas económicas que se suavizan de manera importante con un conocimiento adecuado de la forma y tamaño medio de la granulometría y del porcentaje de resina BA-2 (2,45), CA-2 (1,67), CA-5 (1,59). Así, en trabajos recientes realizados [7-9] se ha podido obser-

var que granulometrías pequeñas de (1-2,5 mm) minimizan este efecto rebote.

En resumen, podemos afirmar que, de acuerdo con los resultados obtenidos, el conocimiento de la forma, tamaño y proporción resina/corcho de las partículas permite optimizar de manera importante el uso de los equipos de proyección de partículas para obtener revestimientos de paredes con películas uniformes de corcho, economizando regranelado de corcho y resina (aislantes térmicos o acústicos).

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Bernardo, H.B., "Da origem e evolução da industria cortiçeira", *Boletim JNC*, 92, 1945.
- [2] Velasco Fernández, L., "Aglomerados y disco de corcho. Sus cualidades en el aislamiento y el taponamiento". Madrid, Inia, 1974.
- [3] Pinro, R., "Isolamento: aglomerado negros de cortiça e outros materiais aislantes". Suplemento ao *Boletim do Instituto dos Produtos Florestais* (IPP), 602, Lisboa, 1988.
- [4] Pérez Márquez, F. y Pérez González M.C., "El alcornoque y el corcho". Badajoz, Asociación Cultural Vicente Rollano, 1996.
- [5] Gamero Guerrero, F., "La calidad del corcho a examen". *Revista Albear*, Badajoz, 1993.
- [6] Mourad, Mustafá, "Technologie et Qualite du liege", Rabat, Centre National de la Recherche Forestiere, 1997.
- [7] Macías-García A., Díaz-Diez M.A., Díaz Parralejo A., Rosa Blanco P., Gómez Serrano V., "The use of cork agglomerates as acoustic absorbers" (Sending to Materials Letters).
- [8] Macías-García A., Díaz-Diez M.A., Díaz Parralejo A., Rosa Blanco P., Gómez Serrano V., "Study of black and composite agglomerates of cork as thermal insulating materials" (Sending to Scripta Materialia).
- [9] Macías-García A., Díaz-Diez M.A., Díaz Parralejo A., Rosa Blanco P., Gómez Serrano V., "Preparation of agglomerates from cork wastes. A study of the density" (aceptado en *Journal Materials Science and Technology*).