

## Sistema de precisión para colado en cinta de materiales cerámicos avanzados

J. JIMENEZ\*, M. POYATO\*\*, J. F. FERNANDEZ\*

\* Departamento de Electrocerámica, Instituto de Cerámica y Vidrio, C.S.I.C., 28500 Arganda del Rey, Madrid.

\*\* Departamento de Diseño y Prototipos, Instituto de Cerámica y Vidrio, C.S.I.C., 28500 Arganda del Rey, Madrid.

**RESUMEN:** Sistema de precisión para colado en cinta de materiales cerámicos avanzados.

Se ha desarrollado un sistema de precisión para el colado en cinta de materiales cerámicos avanzados. El sistema permite la obtención de forma reproducible de láminas cerámicas con espesores de  $>10 \mu\text{m}$  hasta varios milímetros. El desplazamiento continuo y sin vibraciones en un amplio rango de velocidades de la cuchilla doble posicionada mediante tornillos micrométricos de gran precisión, aseguran el plano-paralelismo de la cinta. Mediante esta técnica se pueden obtener substratos cerámicos, recubrimientos cerámicos controlados, elementos cerámicos multicapa y materiales cerámicos controlados con gradiente de función, entre otros.

**PALABRAS CLAVE:** Materiales cerámicos, colado en cinta, barbotina.

**ABSTRACT:** Precision System for Advanced Ceramic Tape Casting.

A laboratory precision system for advanced ceramic tape casting was developed. The system allowed to obtain ceramic sheets with controlled and reliable thickness from  $> 10 \mu\text{m}$  to several millimetres. The doctor blade carried displacement was maintained continuous and without vibration in a wide range of speeds. The micrometric adjusts guarantee the flatness and the smoothness of the sheets. By this technique advanced ceramics as substrates, controlled coatings, multilayer ceramic structures and functionally gradient ceramics can be performed.

**KEY WORKS:** Ceramics, Tape Casting, Doctor Blade, Slips.

### 1. INTRODUCCION

Algunas de las más modernas e interesantes aplicaciones tecnológicas de los materiales cerámicos requieren la utilización de elementos planos, delgados y que presenten grandes superficies. Junto a estas especificaciones, habitualmente son requeridas técnicas que permitan obtener los materiales de forma económica mediante un fácil conformado, que sea altamente reproducible y que no requiera posteriores mecanizados de las piezas. Una de las técnicas que satisface dichas exigencias es la de colado en cinta («tape casting» en terminología anglosajona) (1-3), la cual viene empleándose con éxito en la industria cerámica.

El proceso de colado en cinta consiste básicamente en la preparación de una suspensión de polvos inorgánicos en un medio líquido, acuoso o no acuoso. El medio líquido está compuesto por disolventes, dispersantes, aglomerantes, plastificantes y homogeneizadores, entre otros (4,5). La suspensión debidamente preparada se cuela sobre una superficie plana deslizante mediante una cuchilla (doctor blade) que produce una lámina de espesor y anchura controlados (6,7). Una etapa posterior de secado, conformado en verde del material, quemado de los elementos orgánicos y sinterizado dan lugar a materiales cerámicos con las geometrías requeridas.

Los procesos de fabricación por colado en cinta hacen posible que los materiales cerámicos conformados mediante este sistema copen buena parte del mercado de materiales cerámicos avanzados (8). En particular las principales aplicaciones se corresponden con substratos cerámi-

cos de alúmina, alúmina-mullita y AlN para soportes de circuitos en electrónica; substratos borosilico-aluminosos utilizados en empaquetamientos de estructuras multicapa para circuitos híbridos de alta y muy alta densidad de componentes en electrónica; condensadores cerámicos multicapa basados en titanato de bario y relaxores cerámicos; piezoeléctricos multicapa basados en zirconato titanato de plomo y sus soluciones sólidas; ferritas; varistores; termistores; sensores; células de combustible tipo SOFC; superconductores; etc.; así como las diferentes estructuras multicapas que tienden a la integración de materiales cerámicos con funciones diferentes en un único elemento. De esta forma, aunque no existe un límite prefijado para la obtención de materiales cerámicos en láminas, se posee una amplia experiencia en la obtención de un buen número de materiales que se emplean habitualmente en la industria electrónica. Sin embargo, en los últimos años la técnica de colado en cinta se viene empleando con éxito en materiales cerámicos con aplicaciones estructurales, recubrimiento con materiales cerámicos, materiales cerámicos con gradiente de función y materiales cerámicos llamados tradicionales como es el caso de pavimentos y revestimientos cerámicos.

Debido a la fuerte carencia tecnológica de sistemas en España y la CEE para la producción de materiales cerámicos por colado en cinta, que unida a la falta de información en la literatura por encontrarse patentadas o bajo secreto de fabricación los principales avances en dichas técnicas, en el Instituto de Cerámica y Vidrio se ha desarrollado un prototipo consistente en un sistema de precisión para el colado en cinta de materiales cerámicos. El sistema permite a nivel de laboratorio o planta piloto y de una forma reproducible, la obtención de láminas con espesores de  $>10 \mu\text{m}$  hasta varios milímetros, aplicables a

distintos materiales cerámicos. En el presente trabajo se aborda, en forma técnica, el diseño, construcción y características de dicho sistema.

## 2. DISEÑO Y CONSTRUCCION

El sistema está compuesto de una cuchilla que regula el espesor de la lámina (fig. 1). Esta se desplaza mediante

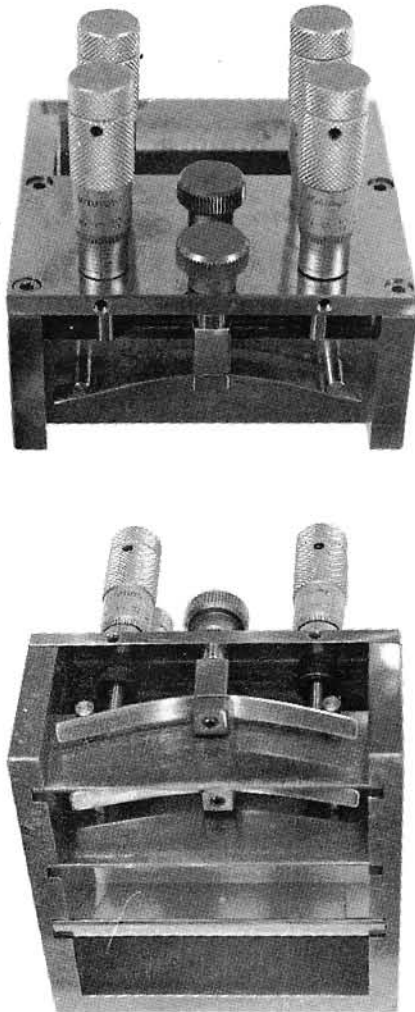


Fig. 1. Cuchilla doble (Doctor Blade) desarrollada en el presente trabajo. a) Vista superior, b) Vista inferior.

un husillo ensamblado en una mesa nivelada que integra el sistema mecánico, eléctrico y los elementos de control. Así mismo, se han diseñado los elementos de almacenamiento y calefactores para el correcto secado de las láminas obtenidas (fig. 2).

### 2.1. Cuchilla

La cuchilla es doble (6), presentando ángulos de ataque y espesores optimizados con el fin de controlar las fuerzas hidrodinámicas y tensiones superficiales producidas cuando la barbotina pasa debajo de las mismas. La

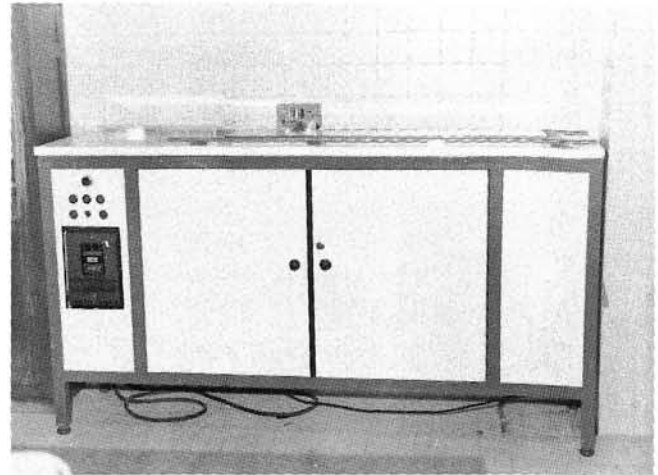


Fig. 2. Vista general de la mesa para colado en cinta que integra los sistemas mecánico, eléctrico y de control, así como el almacenamiento y secado de las láminas coladas.

segunda cuchilla permite mantener la altura de la barbotina constante, la cual se mantiene desde el inicio hasta segundos antes del final del colado. El conjunto de cuchillas ha sido mecanizado en aceros especiales tratados y posteriormente cromados para mejorar su resistencia a la corrosión y al desgaste. Las cuchillas se posicionan mediante tornillos micrométricos dobles con una precisión de  $< \pm 5 \mu\text{m}$ , y una configuración que asegura el perfecto planoparalelismo de la lámina resultante. El ancho de la cinta resultante es de 7 cm, obteniéndose cintas de hasta 1 metro de longitud. El ancho y largo de las cintas puede ser objeto de modificación en función de cuchillas más anchas y longitudes de mesa mayores según los requerimientos de utilización. La capacidad del depósito de barbotina es suficiente para lograr una cinta de las dimensiones indicadas y de hasta 2 mm de espesor.

### 2.2. Sistemas mecánico, eléctrico y de control

Para lograr un desplazamiento continuo y sin vibraciones en las cuchillas, se utiliza un cilindro mecánico sin vástago (WIESEL NEFF WOO) cuyo carro se desliza por el desplazamiento de un tuercas simple en un husillo a bolas al que se encuentra unido. El husillo a bolas está guiado en los extremos por unos soportes con rodamientos y montado en el interior de un tubo perfilado, sobre el que se desliza el carro que está unido a la tuerca. Este cilindro mecánico transforma movimientos de entrada rotativos en movimientos de salida lineales.

El sistema está dotado de un regulador programador (Movitrac@ 1.006-403-4) que actúa como convertidor de frecuencia para el motor de corriente alterna. La frecuencia de salida puede variar entre 2 Hz y 127 Hz con una resolución de 0.5 Hz y una gran estabilidad. Esta regulación de frecuencia permite obtener velocidades de desplazamiento de las cuchillas entre 0.4 cm/s hasta 20 cm/s (fig. 3), siendo la velocidad habitual de 1.2 cm/s. La potencia e intensidad nominales de salida son 1.4 kVA y 2A respectivamente. El motor se encuentra apoyado con un refuerzo de par (boost) cuando la velocidad es baja. El convertidor de frecuencia posee un display LCD

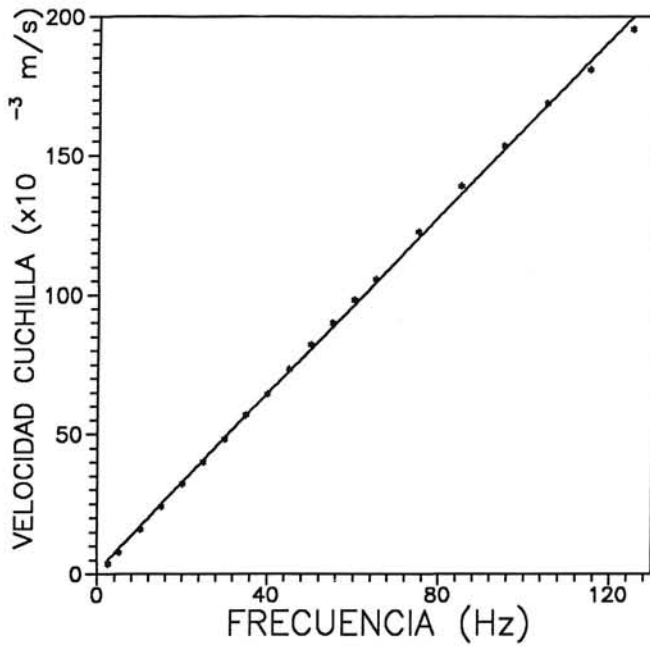


Fig. 3. Velocidad de desplazamiento de la cuchilla en función de la frecuencia de salida del motor suministrada por el convertidor de frecuencias.

donde indica el estado de funcionamiento, condiciones de operación y diagnóstico de fallo.

Para asegurar el óptimo funcionamiento del sistema se han incorporado interruptores de fin de carrera y pulsadores anexos al programador que permiten una mayor automatización del sistema, facilitando las condiciones de operación.

### 3. CONDICIONES DE OPERACION

El espesor de la lámina es una función de los siguientes parámetros: viscosidad de la barbotina, velocidad de desplazamiento de las cuchillas y altura de las mismas. Chou y colaboradores (9) modelizaron el flujo de una barbotina bajo la acción de una cuchilla «doctor blade» para barbotinas newtonianas, encontrando las correlaciones entre los parámetros anteriormente descritos y el espesor final de la lámina. A medida que la viscosidad de la barbotina aumenta, el espesor de la lámina se hace independiente de la velocidad de colado. Los valores de viscosidad de las barbotinas empleadas habitualmente oscilan entre 1.000 y 5.000 mPa.s, dependiendo de la formulación empleada, estos valores pueden ser ajustados mediante adición de disolventes o tratamientos térmicos para la eliminación de los mismos. La velocidad de colado varía entre 5 a 100 cm/min dependiendo de las velocidades de secado y del espesor de lámina requerido. La apertura de las cuchillas suele guardar una relación de 2:1 con el espesor de la lámina una vez secada.

Las láminas se depositan sobre placa de vidrio plano y/o películas plásticas adecuadas (Mylar®, Teflon®,...) (fig. 4). Algunas de las películas plásticas se encuentran recubiertas de grasas de silicona que facilitan las labores de despegue de las láminas coladas.

El conjunto dispone de un protector telescópico que regula la evaporación y elimina la deposición de partícu-

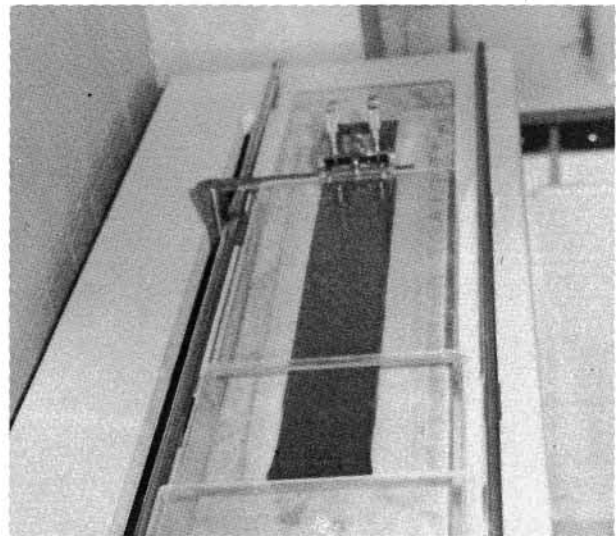
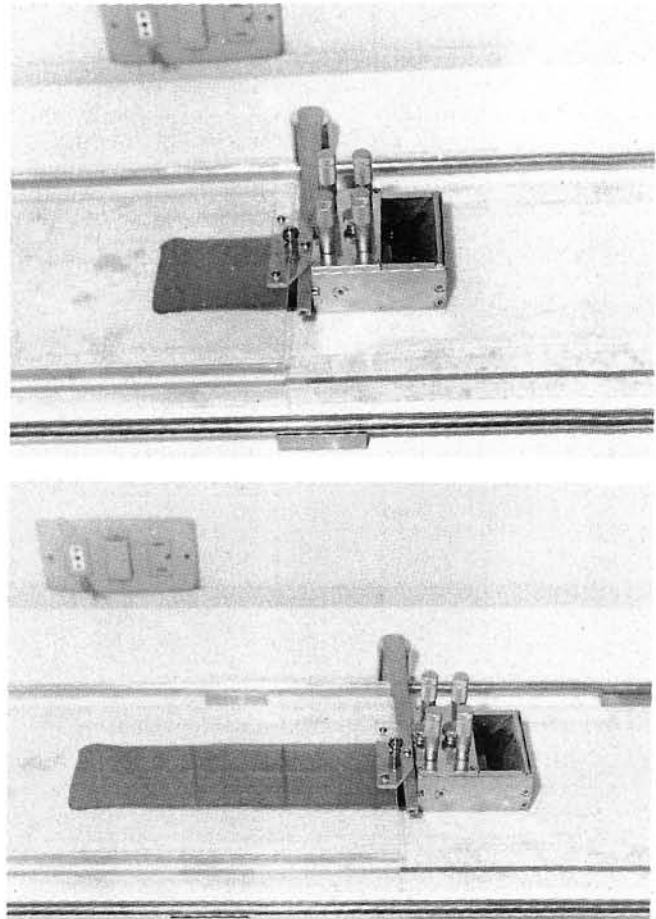


Fig. 4. Proceso de colado en cinta de materiales cerámicos superconductores tipo  $YBa_2Cu_3O_x$  (10) sobre mylar®, utilizando como soporte una placa de vidrio plano.

las externas sobre al superficie libre de la lámina colada, ampliándose así las posibilidades de utilización del sistema en cámaras que no sean exclusivamente limpias.

### 4. CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un sistema de precisión de colado en cinta (tape casting) que permite la obtención de lámi-

nas plásticas de alto contenido en polvos cerámicos, >80%, y con espesores entre >10 µm y varios milímetros. El sistema se encuentra integrado en una mesa que reúne los componentes mecánicos, eléctricos y de control, así como la cámara de secado de las láminas coladas.

Estas láminas son la base de las más modernas aplicaciones en electrocerámica, materiales con gradiente de función térmica o mecánica y recubrimientos controlados, pudiéndose ampliar las posibilidades de sistemas cerámicos tradicionales.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su agradecimiento a la CICYT por el soporte financiero de este trabajo (n.º MAT91-597), así como a D. Francisco Capel por su colaboración en el diseño y a D. Francisco Morales y D. Pedro Cubero por la realización del sistema eléctrico.

## 6. REFERENCIAS

1. MISTLAR, R. E.; SHANFIELD, D. J.; RUNK, R. B.: Tape Casting of Ceramics. pp. 411-447 en *Ceramic Processing Before Firing*. Edit. G. Y. Onoda y L. L. Hench. John Wiley & Sons, New York 1978.
2. MISTLER, R. E.: Tape Casting: The Basic Process for Meeting the Needs of Electronics Industry. *Am. Ceram. Soc. Bull.* 69, 6, 1.022-1.-26 (1990).
3. MORENO, R.; REQUENA, J.: Introducción al colaje de cinta. *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vid.* 31, 2, 99-108 (1992).
4. MORENO, R.: The Role of Slip Additives in Tape-Casting Technology: Part I. Solvents and Dispersants. *Am. Ceram. Soc. Bull.* 71, 10, 1.521-1.531 (1992).
5. MORENO, R.: The Role of Slip Additives in Tape-Casting Technology: Part II. Binders and Plasticizers. *Am. Ceram. Soc. Bull.* 71, 11, 1.647-1.657 (1992).
6. RUNK, R. B.; ANDREJCO, M. J.: A Precision Tape Casting Machine for Fabricating Thin Ceramic Tapes. *Am. Ceram. Soc. Bull.* 54, 2, 199-200 (1975).
7. WILLIAMS, J. C.: Doctor Blade Process pp. 173-198 en «Treatise on Materials Science and Technology. Vol. 9: Ceramic Fabrication Processes. Edited by F.F. Y. Wang. Academic Press, New York, 1976.
8. NISHIOTA, T.: New Developments in Advanced Ceramics for the 90's. Complete Aspects of Expanding Application of Advanced Ceramics and Future Trends. Toray Research Centre. Inc. Japan. 1992.
9. CHOU, Y. T.; KO, Y. T. Y YAN, M. F.: Fluid Model for Ceramic Tape Casting. *J. Am. Ceram. Soc.* 70, 10, C280-C282 (1987).
10. TARTAJ, J.; FERNANDEZ, J. F.; MOURE, C.; DURAN, P.: Preparation and Characterization of Superconducting Thick Films Obtained by Tape-Casting pp. 445-504. en *Superconductivity in Spain. 1990-1992 Research Activities*. Edited by F. Yndurain. Midas Program, Madrid 1993.