



II CAIM 2010
Segundo Congreso Argentino
de Ingeniería Mecánica
San Juan - Noviembre 2010

“Descerado por microondas aplicado en el proceso de microfusión a partir de ceras compuestas con polímeros conductores”

M. P. Alcoba¹, R. Kohl¹, V. R. Miskovski¹, M. C. Miras² y C. A. Barbero²

¹ *Laboratorio de Materiales - Facultad de Ingeniería*

² *Grupo de Polímeros, Departamento de Química - Facultad de Ciencias Exactas, Físicoquímicas y Naturales*

Universidad Nacional de Río Cuarto

Ruta Nac. N° 36, Km. 601(X5804BYA) Río Cuarto, Argentina.

TEL/Fax: 54 358 4676246 - E-mail: malcoba@ing.unrc.edu.ar

RESUMEN

Las ceras industriales son materiales de diferentes tipos que comprenden ésteres alifáticos, ácidos grasos de cadena larga, terpenos e hidrocarburos. Sus constituyentes definen las propiedades finales y generalmente se obtienen por mezclado homogéneo. También es posible realizar mezclados heterogéneos de componentes con el objeto de preparar ceras compuestas (“composites waxes”). Este mezclado heterogéneo permite incorporar a la cera polímeros que le otorguen propiedades de interés, tales como: baja contracción térmica durante la solidificación (propiedad útil en ceras para moldes), conductividad (de interés para termostatos), coloración (útil en ceras para impresión láser) o absorción de radiación electromagnética (útil en transferencia térmica y adhesivos hot-melt). La formación de mezclas heterogéneas estables requiere contar con los polímeros en forma de nanopartículas o micropartículas con densidad similar entre el polímero y la matriz de cera.

Un tipo de cáscaras y/o micropartículas de gran utilidad que le brindan a las ceras propiedades de conductividad y permiten fundirlas usando radiofrecuencia son los polímeros conductores, materiales novedosos que presentan diversas propiedades de interés tecnológico.

De los muchos polímeros intrínsecamente conductores [1], la polianilina (PANI) es de gran importancia debido a que exhibe una adecuada estabilidad medioambiental y sus propiedades eléctricas pueden alterarse modificando el estado de oxidación. En el presente trabajo se sintetiza este polímero a partir de una polimerización química oxidativa en medio ácido (ácido clorhídrico) y en una solución micelar de ácido dodecilsulfónico. Los productos obtenidos se caracterizan por FTIR espectroscopia infrarroja de Transformada de Fourier (FTIR) y por el método de las cuatro puntas (conductividad eléctrica) para posteriormente aplicarlos comparativamente en ceras industriales tal de obtener ceras compuestas que pueden ser utilizadas exitosamente en tecnologías de “microfusión”, evaluando su desempeño a partir de la determinación de propiedades físicas requeridas por la American Foundrymen’s Society y el Investment Casting Institute para este tipo de materiales.

Palabras Claves: microfusión, polímeros conductores, ceras, microondas.

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de fundición de precisión, fundición a la cera perdida o microfusión es una técnica cuya aplicación se remonta a cientos, quizás miles de años. Esta técnica, es un proceso en el cual un modelo de cera es recubierto con una fina capa de cerámica, tal que una vez endurecida dicha capa, el master se destruye mediante calor. El procedimiento se completa al realizar una colada de metal en la cavidad creada para posteriormente destruir la capa de cerámica y así obtener un prototipo metálico réplica del master.

La vigencia de esta técnica milenaria radica en la posibilidad cierta de producir piezas de muy diversos y complicados diseños, con una mayor precisión en tolerancias y un acabado superficial de mucha mejor calidad que en otros procesos de fundición, hasta el punto que reduce -en muchos casos elimina- los posteriores costos de mecanizado.

En el proceso de fundición a la cera perdida, las ceras se constituyen en el principal material para la fabricación de los modelos a partir de un mezclado homogéneo de componentes individuales de distinta procedencia que posibilitan manipular propiedades como punto de fusión, viscosidad, expansión, contracción, velocidad de solidificación, dureza, ductilidad, contenido de ceniza, etc.[2]

En publicaciones de la American Foundrymen's Society (AFS) y del Investment Casting Institute (ICI) [3,4] se han definido una serie de requerimientos a cumplimentar por los materiales para la realización de modelos en microfusión, que podrían sintetizarse en los siguientes puntos:

1. Deben ser seguros al manejarse como un sólido, al ser fundido o quemado para producir el descerado, no debe dar lugar a humos nocivos y dejar cenizas en el molde cerámico.
2. Deben ser resistentes a cualquier solvente orgánico o álcali que puede estar presente en los barros para los recubrimientos teniendo en cuenta que los moldes para fundición de precisión se construyen sobre el modelo por medio de inmersiones sucesivas, en suspensiones que contienen partículas de refractarios.
3. En los modelos construidos por inyección, las ceras deben solidificar rápidamente.
4. La plasticidad o ductilidad de las ceras debe ser baja a temperatura ambiente, para que los modelos y los conjuntos no varíen en sus dimensiones bajo su propio peso, y al mismo tiempo, la cera no debe ser frágil.
5. Deben tener suficiente resistencia para ser manejados durante las operaciones de moldeo, mas un cierto grado de elasticidad en las uniones, particularmente en las áreas de los canales de colada que deben soportar el peso de los modelos mientras son sumergidos en los barros refractarios, todo ello combinado con alta soldabilidad, para producir uniones resistentes para que los racimos de los modelos pueda ejecutarse en forma adecuada.
6. El acabado superficial del modelo de cera debe ser bueno para que se logre una fiel reproducción en el molde cerámico.
7. Cuando se usa una mezcla de ceras para modelos, los materiales deben ser compatibles, es decir, deben disolverse entre sí a tal punto en el que no ocurrirá la separación de los componentes cuando la mezcla sea mantenida dentro de un determinado límite de temperaturas.
8. El comportamiento térmico de las ceras debe considerar una baja viscosidad a la temperatura de inyección simplificando así el llenado de los moldes, complementándose con una baja contracción, particularmente importante si se desea obtener en el molde una cavidad con precisión.
9. En un proceso óptimo, los materiales para modelos de ceras deben ser reutilizables, generando un mínimo de desechos ecológicamente aceptables considerando a su vez la implementación de tecnologías limpias.

Como resultado de todos estos requisitos, actualmente la fabricación de modelos utiliza mezclas de varios tipos de ceras, normalmente combinadas con resinas como la colofonia o resinas sintéticas generando una mezcla homogénea de los componentes individuales. La eficiencia del trabajo en la fundición de precisión puede ser incrementada mejorando uno o varios de los requerimientos descriptos en los párrafos anteriores, sin modificar el resto.

En la fundición de precisión, la **etapa de descerado** se realiza, mayoritariamente, en autoclaves industriales en los cuales los moldes conteniendo los modelos de cera son colocados para, posteriormente, fundirlos bajo condiciones controladas de calor y humedad a alta temperatura y presión, generando un producto que irreversiblemente incorpora residuos indeseables y agua, demandando a posteriori, procedimientos de purificación y acondicionamiento para su reutilización [5].

La posibilidad de incorporar un polímero conductor (PANI) en las mezclas de ceras, originariamente incluidas en el grupo de los termoplásticos de baja conductividad térmica y eléctrica, resultará en una mezcla heterogénea [6] donde las nanopartículas dispersas en la matriz nos permiten producir una cera compuesta ("composite wax") [7]. El composite obtenido, posibilitará el **proceso de descerado** a partir de la aplicación de microondas, favoreciendo un calentamiento selectivo y volumétrico de los materiales con un producto final de mejor calidad logrando simultáneamente minimizar el uso de energía y el impacto ambiental.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.1. Ceras:

Las ceras utilizadas en fundición de precisión son mezclas complejas de varios componentes incluyendo ceras naturales o sintéticas, resinas naturales o sintéticas, rellenos -ácido isoftálico, polietileno, poliestireno, bisfenol A, etc.-, aceites y plastificantes, etc.

En nuestro caso analizaremos y evaluaremos materias primas a ser utilizadas en mezclas para la construcción de modelos usados en el proceso de fundición a la cera perdida direccionando nuestra aplicación a materiales que se producen en Argentina o que se obtienen con facilidad en este mercado, a saber: resina colofonia y carnauba, cera de abejas, cera microcristalina y parafina.

Las resinas colofonia y carnauba, y la cera microcristalina y la parafina son provistas por RIWO S.R.L.

La cera de abejas es suministrada por productores primarios de la zona de Río Cuarto. El origen de esta materia prima obliga a la realización de un proceso previo de purificación que tiene por objetivo la eliminación de restos sólidos y sustancias no ceras –miel, propóleos, restos de material orgánico procedentes de los insectos, etc.

Tomando como premisa la necesidad de evaluar el uso de ceras de abeja, cera microcristalina, parafina, resina colofonia y resina carnauba como materias primas para la formulación de mezclas aptas para la construcción de modelos a ser empleados en microfusión, para su caracterización se siguen los procedimientos descriptos por AFS/ICI [8,9], a saber:

El **contenido de cenizas** [10] se obtiene calcinando 30 minutos una muestra de 20 \pm 0.1g a una temperatura de 700/800° C en un horno eléctrico (Horno de Mufla eléctrico TERMOQUAR, Mod. AKE; temperatura máxima 1100° C, con dispositivo de regulación electrónica digital de temperatura marca IES). La cápsula conteniendo la muestra calcinada es colocada en un desecador hasta alcanzar la temperatura

ambiente. Se evalúa el peso del residuo en una balanza analítica -precisión de 0,1mg- expresando el resultado como porcentaje de la muestra original.

La **densidad** [11] se determina experimentalmente a partir de la **gravedad específica** –relación existente entre la densidad absoluta del material investigado y la densidad del agua utilizada como sustancia de referencia y evaluada a 4 °C–, y, si bien es adimensional, numéricamente coincide con la densidad de la sustancia investigada.

La **estabilidad dimensional** se determina a partir de probetas de 10 x 10 mm de lado y 340 mm de largo siguiendo el procedimiento de taller desarrollado por Mullers [2], registrando para ello el cambio de longitud en función de la variación de la temperatura con una precisión de 0.01 mm. en un rango de interés 17/25 °C. La **dureza** en profundidad, expresada en dmm, corresponde a la penetración producida por una aguja estándar que se introduce verticalmente en una muestra del material bajo condiciones específicas de carga, tiempo y temperatura según lo estipulado por las normas ASTM D 1321 [12] y ASTM D 5 [13], y se realizó a través de un durómetro respondiendo a las normas citadas.

Para evaluar la **transición térmica** en las ceras, resinas y parafinas en un rango de temperaturas comprendidas entre 30° C y 100° C, se utiliza la técnica **calorimetría diferencial de barrido** (DSC), detectando cambios físicos o químicos que son acompañados por la absorción o liberación de calor, contando para ello con un dispositivo marca TA Instrument DSC 2010.

2.2. Polianilina (PANI):

Los polímeros conductores son materiales novedosos que presentan diversas propiedades de interés tecnológico. La atracción obvia proviene de combinar en un único material las propiedades eléctricas y aplicaciones posibles de los semiconductores con las ventajas de los polímeros.

De los muchos polímeros intrínsecamente conductores, la PANI es de gran importancia por presentar una amplia gama de aplicaciones, consecuencia de su estabilidad química y propiedades eléctricas, las cuáles pueden alterarse modificando el estado de oxidación de la cadena principal y/o mediante reacciones de protonación y deprotonación de la cadena [14].

En cuanto a su comportamiento, estos materiales combinan algunas propiedades muy interesantes de los polímeros termoplásticos (propiedades mecánicas y facilidad de procesamiento), con aquellas propiedades también interesantes de los metales y semiconductores inorgánicos (comportamiento eléctrico) y óptico.

2.2.1. Síntesis de PANI.

La PANI puede obtenerse principalmente por métodos químicos [15] y electroquímicos [16] en condiciones ácidas. La síntesis química, presenta la ventaja de poder obtener cantidades importantes de polímero con una cinética bastante reproducible. La síntesis electroquímica produce cantidades pequeñas del polímero, pero por otro lado presenta la ventaja de que el material obtenido queda depositado sobre el electrodo, la técnica permite además controlar la cantidad de material polimerizado y el producto obtenido es relativamente limpio y de alta pureza. Existen otros métodos de obtención de la PANI que son menos utilizados pero no por eso dejan de ser interesantes. La polimerización en emulsión [17], polimerización en plasma de fase gaseosa [18], dispersión coloidal [19], síntesis enzimática de la PANI [20], etc.

El método de síntesis utilizado para la producción de la PANI es un parámetro importante a tener en cuenta ya que influye en las propiedades del polímero.

La *polimerización química* de la PANI es una polimerización oxidativa en presencia de un agente oxidante tal como el persulfato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$), el dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) o el peróxido de hidrógeno (H_2O_2), etc. Generalmente se trabaja en medio ácido, principalmente en disolución de ácido sulfúrico o ácido clorhídrico. La reacción tiene lugar durante unas horas, tras las que el precipitado es filtrado y lavado, habitualmente con el mismo ácido utilizado como medio y finalmente con agua. Mediante este lavado se eliminan los oligómeros más solubles. De esta forma se obtiene la PANI en estado esmeraldina sal. Es posible realizar el paso de esmeraldina sal a esmeraldina base utilizando hidróxido de amonio, pudiendo posteriormente volver a dopar con una disolución ácida. Esta síntesis permite obtener grandes cantidades, por lo que es el método preferido para la fabricación a escala industrial.

Teniendo en cuenta que la polianilina o PANI, como la mayoría de los polímeros conductores, presenta algunas desventajas importantes desde el punto de vista tecnológico, entre otras, es necesario mencionar una procesabilidad limitada, así como también una restringida miscibilidad con otros polímeros, ya que es insoluble en todos los solventes comunes conocidos, siendo sólo soluble en ácidos concentrados. Estas desventajas (baja solubilidad y miscibilidad) se deben a las fuertes interacciones del tipo π - π y puente hidrógeno entre las cadenas del polímero. Resulta por lo tanto una tarea importante aumentar la solubilidad y consecuentemente la procesabilidad de la PANI, para poder emplearla en diferentes dispositivos.

En la búsqueda de nuevas alternativas que permitan la aplicación de PANI, y a los fines de aumentar la su procesabilidad, se reemplaza el ácido clorhídrico o el ácido sulfúrico, sustancias de uso generalizado en la polimerización química oxidativa, por otro tipo de dopantes. Utilizando el ácido dodecilbencensulfónico (DBSA) es posible sintetizar el polímero en una emulsión dentro de micelas. Este ácido orgánico cumple simultáneamente tanto el rol de surfactante como de dopante, incrementando la procesabilidad y estabilidad de las nanopartículas de PANI y simplificando, al mismo tiempo, el proceso de preparación sin necesidad de utilizar otro dopante. Con el producto así obtenido se facilita y aumentan la solubilidad en solventes no polares.

2.2.1.1. Síntesis masiva de PANI en ácido clorhídrico:

La preparación del polímero se realiza en un reactor de vidrio de 1 litro de capacidad, termostatzado por un baño de hielo-agua. La relación de oxidante (persulfato de amonio -APS) a monómero (anilina) utilizado es 1:1. En todos los casos, para la polimerización, se utiliza una solución acuosa de anilina (0,1 M) disuelta en ácido clorhídrico 1M. Las soluciones de oxidante y monómero fueron enfriadas hasta que la temperatura se estabilizó en 0° C, previamente a ser mezclados.

El procedimiento utilizado para la síntesis de PANI es el siguiente: el monómero de anilina (9.3g) es disuelto en 1 litro de una solución 1 M HCl en el reactor de polimerización. Al reactor, inmerso en un baño de hielo-agua, se le incorpora un agitador y la solución es agitada vigorosamente. Cuando la temperatura se estabiliza en 0 °C, se agregada 1 mol de persulfato de amonio, disuelto en 50 ml de agua bidestilada y enfriado a la misma temperatura que el monómero. La temperatura es registrada mediante el uso de una termocupla marca Digi-Sense (Cole Palmer). De esta forma obtenemos los perfiles temperatura-tiempo. Cuando el sistema se estabiliza a la temperatura inicial, la agitación es interrumpida y el contenido del reactor se filtra utilizando vacío. El filtrado es lavado con una solución 1 M HCl, posteriormente con 1 litro de agua bidestilada y es colocado en 250 ml de solución 0.1 M NH_4OH para transformar al polímero en su forma base. Después de 48hs. de agitación constante, el polímero es nuevamente filtrado, lavado con 1 litro

de solución 0.1 M NH₄OH y secados en estufa bajo vacío dinámico durante 48hs. El producto obtenido luego es nuevamente tratado con HCl para activarlo, luego se dispersara convenientemente en las ceras para evaluar el comportamiento de las mismas ante la acción de microondas.

Esta síntesis química, ampliamente estudiada [20] presenta la ventaja de poder obtener fácilmente cantidades importantes de polímero con una cinética bastante reproducible.

2.2.1.2. Síntesis de PANI en Acido Dodecibencensulfónico.

En este proceso de síntesis, la polimerización de anilina [0,05 M] se lleva a cabo en medio ácido con DBSA [0,05 M] como dispersante y agente dopante simultáneamente, y con APS [0,05 M] como oxidante a 20° C por 12 horas bajo agitación constante en un reactor de vidrio de 1 litro de capacidad.

Después de 12 horas, con el objeto de precipitar el polímero, se incorpora metanol a la mezcla; se continúa la agitación por 1 hora más. El producto obtenido es filtrado y lavado con agua destilada y metanol varias veces para remover impurezas tales como APS, DBSA libre y anilina sin reaccionar. Este producto luego se dispersara en las ceras para evaluar el comportamiento de las mismas ante la acción de microondas.

2.2.2. Caracterización:

La caracterización estructural del producto de la síntesis se realiza por espectroscopia infrarroja (espectrómetro Nicolet Impact 400) por transmisión de las muestras dispersas en pastillas de KBr.

Las medidas de conductividad se llevan a cabo por el método de las cuatro puntas [21, 22] sobre pastillas cilíndricas del polímero sintetizado –dimensiones: 1cm de diámetro y ≈ 0,2 cm de alto (altura evaluada con un tornillo micrométrico)–, fabricadas por presión (≈ 10.000Kg cm⁻²).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1. Caracterización de las ceras:

La Tabla 1 presentan los resultados de los ensayos realizados para la determinación del punto de fusión, densidad, porcentaje de cenizas y dureza de los cinco materiales propuestos:

Tabla 1. Propiedades de las Ceras.

Materiales	Temp. Fusión [°C]	Densidad [gr/cm ³]	Cenizas [%]	Dureza [dmm]
Cera de Abejas	65,1	0,9433	0,0042	9,19
Carnauba	83,9	0,9704	0,1032	0,03
Colofonia	37,5	1,0574	0,0045	0,13
Microcristalina	50,7	0,9098	0,0047	16,33
Parafina 54/56	55,9	0,8908	0,0010	12,87

Las resinas de origen vegetal poseen las mayores **densidades** y las parafinas los menores, mientras que la cera de abejas tiene un valor intermedio.

El **contenido de cenizas** afecta principalmente al acabado superficial del modelo, el cual será copiado fielmente por el metal a colar, pudiendo distinguirse claramente en la pieza fundida las imperfecciones superficiales originadas por la ceniza que quedo atrapada en las cavidades de la cáscara cerámica, tal que

requerimos la menor cantidad posible. Para los resultados presentados en la Tabla N° 1, la resina carnauba posee el doble del límite máximo de 0,05% aconsejado por AFS/ICI.

Los valores de **dureza** presentados en la Tabla N° 1, están asociados a las propiedades mecánicas de la cera, y se relacionan directamente con la posibilidad de facilitar la manipulación de los modelos o racimos evitando que estos se deformen o fracturen. Observamos que las cera microcristalina y la parafina 54/56 son las más blandas contrastando con el comportamiento genérico de las resinas con muy buena dureza. Se destaca la resina carnauba con un valor de penetración de 0,03 dmm dando cuenta de una dureza importante.

Las dimensiones y tolerancias finales del modelo así como el cálculo de las dimensiones de la matriz están estrechamente vinculadas con la dilatación lineal. La Figura 1 presenta los valores obtenidos en el ensayo de dilatación lineal para un rango de temperaturas de interés (17° C a 25° C), escogido intencionalmente teniendo en cuenta la incidencia de este parámetro durante el proceso de moldeo y secado, destacándose la dilatación casi nula de la resina colofonia, la cera de abejas y microcristalina presentan una dilatación inferior a 0,1 mm.

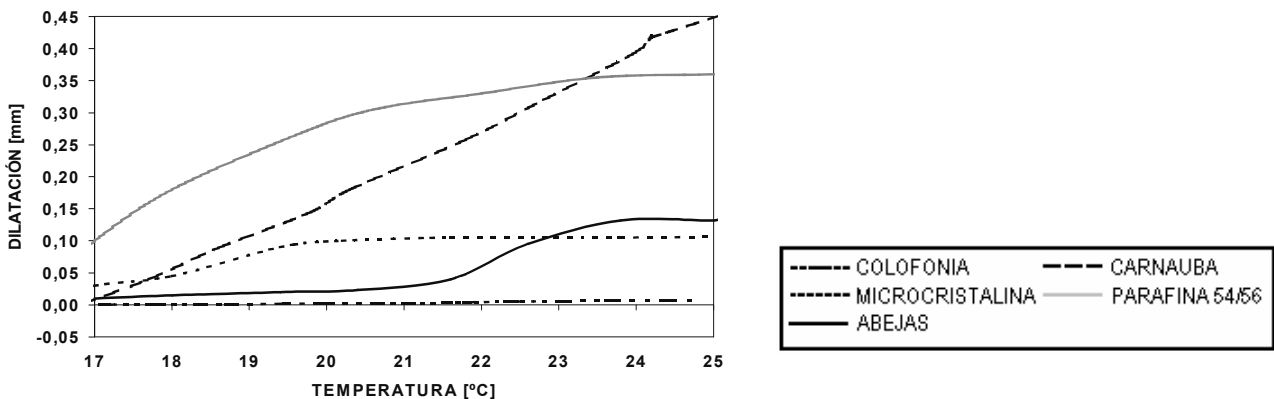


Figura 1. Dilatación lineal de materias primas. Rango de Temperatura: 17 a 25°C.

Mediante el uso del Calorímetro Diferencial de Barrido se analizó el comportamiento de los materiales entre 30°C y 100°C, los resultados obtenidos se pueden observar en la Figura 2.

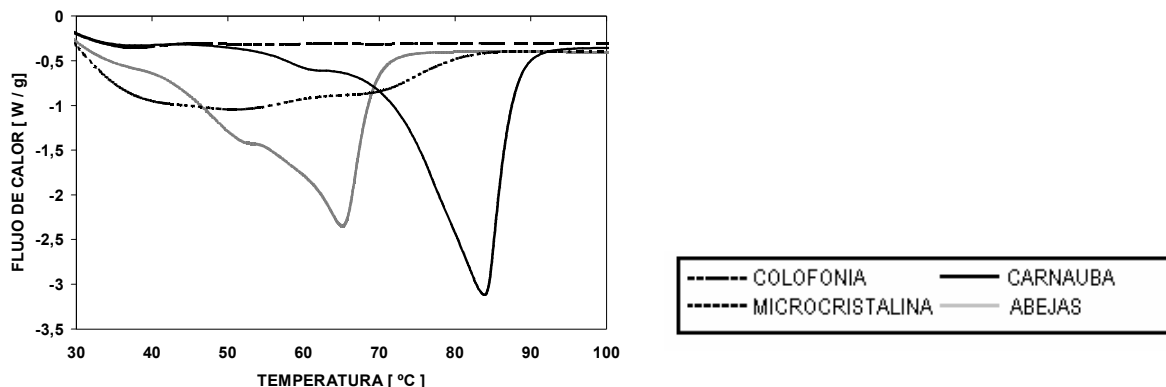


Figura 2. Análisis térmico de materias primas mediante DSC.

La resina colofonia no tiene una temperatura de fusión definida, a los 37,5 °C presenta un mínimo correspondiente a la temperatura de ablandamiento, por el contrario la carnauba si posee un pico que indica

una alta temperatura de fusión, de acuerdo con lo expresado por Grisemer y Knuutinen [23]. El análisis de la cera de abejas presenta un pico bien definido correspondiente a su temperatura de fusión situación que no se repite con la cera microcristalina quien posee un muy amplio rango de temperaturas donde el producto se encuentra en estado semisólido, esto dificulta las operaciones de soldadura de los modelos, ya que tiene un rango de temperaturas donde carece de estabilidad dimensional.

3.2. Caracterización de PANI.

El análisis de los espectros de infrarrojo (FITR) confirman que los materiales sintetizados a partir de anilina, en presencia de HCl y DBSA respectivamente, corresponden a la esmeraldina base (EB PANI) y PANI dopada con DBSA (DBSA PANI) [24]. La tabla 2 muestra las principales bandas de absorción de los diferentes modos vibracionales.

Tabla 2 Bandas de absorción características para espectros FTIR: DBSA, DBSA-PANI, EB-PANI.

Enlace (Modo de vibración)	Número de Onda (cm ⁻¹)		
	DBSA	EB-PANI	DBSA-PANI
C–N (estiramiento)	—	1306	1297
C=C (estiramiento anillos aromáticos)	1496	1504	1489
C=C (estiramiento de anillos quinonimídicos)	—	1590	1559
C–H (flexión fuera del plano)	832	832	801
>C–H (anillos aromáticos del DBSA)	1006		1007

Las medidas de conductividad obtenida a partir del método de las cuatro puntas presenta valores de conductividad que están en el rango de 2 S cm⁻¹ para la PANI sintetizada en HCl, en el caso de la obtenida en presencia de DBSA, los resultados de conductividad están en el orden de 0.1 S cm⁻¹, en ambos casos correspondencia con los presentados por la bibliografía [17 y 19].

3.3. Mezcla de Ceras.

Cada una de las ceras presentadas, individualmente no reúnen los requisitos mínimos necesarios para convertirse por si sola en la materia prima óptima en el proceso de fundición a la cera perdida, por ello se proponen mezclas en las que se reconoce las cualidades que cada uno de los materiales puede aportar al conjunto a partir de la valoración realizada en la caracterización de las misma. Además les incorporamos el polímero conductor con el objetivo de sumarle a los productos sensibilidad a la acción de microondas. Para ello, partiendo de los productos céreos en estado líquido, la PANI, en una proporción de 5% P/P, es sembrada por agitación permitiendo la obtención de mezclas heterogéneas donde las nanopartículas dispersas en la matriz nos permiten producir ceras compuestas (“composite wax”).

Las composiciones de trabajo escogidas para mezclas a utilizar en procesos de fundición de precisión son:

Mezcla 1: Cera de Abejas: 78 %; Carnauba: 14 %; Microcristalina: 3%; PANI: 5%.

Mezcla 2: Cera de Abejas: 77 %; Carnauba: 12 %; Colofonia: 2,5 %; Microcristalina: 2,5 %, Parafina: 1 %; PANI: 5%.

Estas proporciones se fundamentan en que se ha tratado de maximizar las propiedades químicas, mecánicas y térmicas requeridas para el óptimo desempeño de estos productos y evaluadas convenientemente en los párrafos anteriores. La Tabla 2 explicita las características generales obtenidas en las mezclas de ceras.

Tabla 2. Propiedades de las mezclas de ceras.

Materiales	Temp. Fusión [° C]	Densidad [gr/cm ³]	Cenizas [%]	Dureza [dmm]
Mezcla 1	64	0,9551	0,0188	9,50
Mezcla 2	60	0,9673	0,0167	9,81

Estas mezclas son coladas en recipientes metálicos cilíndricos para obtener probetas de base circular de 32 mm de diámetro y 10 mm de altura, con un peso aproximado de 8 gramos para proceder a evaluar el comportamiento a la acción del microondas (Horno de microondas de 2.45GHz, Marshall MTI de Potencia: máxima 700 Watt). Con el objetivo de independizar la transmisión de calor por parte del soporte, las probetas se colocan sobre placas de poliestireno expandido, material transparente a la acción del microondas, evitando de esta manera que el soporte de las probetas se caliente y se convierta en una fuente térmica que contribuya a fundir las muestras de ceras.

La Tabla 3 sintetiza los resultados obtenidos para las distintas probetas sometidas a la acción del microondas en potencia máxima tomando como referencia las muestras de ceras que mantienen las proporciones de los componentes anteriores sin la inclusión de PANI. La respuesta obtenida certifica la efectividad de la PANI en ceras compuestas y su aplicabilidad en procesos de fundición a la cera perdida.

Tabla 3. Respuestas de las mezclas de ceras a la acción del microondas

Mezcla	Tiempo de respuesta (seg.)
Mezcla ₁ BLANCO	A los 300 seg. de exposición no se evidencian modificaciones que sugieran la fusión.
Mezcla ₁ PANI-HCl	44 seg.
Mezcla ₁ PANI-DBSA	52 seg.
Mezcla ₂ BLANCO	A los 300 seg. de exposición no se evidencian modificaciones que sugieran la fusión.
Mezcla ₂ PANI-HCl	40 seg.
Mezcla ₂ PANI-DBSA	45 seg.

4. CONCLUSIONES.

Un detallado estudio de las materias primas utilizadas para modelos en el proceso de fundición a la cera perdida nos permitió proponer dos mezclas con características químicas, mecánicas y térmicas adecuadas para un óptimo desempeño de estos productos en la fundición de precisión, incorporando en forma novedosa un polímero conductor PANI obteniendo ceras compuestas para la utilización de microondas como alternativa a implementar en el proceso de descerado.

La posibilidad de implementar el uso de ceras compuestas en los procesos de fundición a la cera perdida habilita no solo un espacio asociado directamente al ahorro energético sino también de materias primas,

considerando la posibilidad de reciclado de las ceras, tal que en su conjunto contribuyen sustantivamente a disminuir costos en los productos finales.

Los mejores resultados –evaluados como tiempo de respuesta a la acción del microondas–, se lograron con las mezclas en las que se incorporó PANI obtenido vía síntesis oxidativa en ácido clorhídrico, acorde a los mejores valores de conductividad eléctrica alcanzada con el polímero conductor.

Simultáneamente, si se considera que en la composición propuesta para las *ceras compuestas* la mayor proporción de materia prima corresponde a la cera de abejas, es posible pensar procesos que consideren la producción de ceras compuestas para el uso en fundición de precisión, complementarias a la explotación convencional de la industria apícola en la región sur de la Provincia de Córdoba.

5. REFERENCIAS:

1. Stenger-Smith, J.D. "Intrinsically electrically conducting polymers. Síntesis, characterization and their applications". Progress in Polymer Science. pp.57-58. Vol 23. 1998.
2. B. Mullers F., M. Tagle D. Manual "Fundición de Precisión en Cáscara Cerámica". Workshop Internacional Universidad de Santiago-CHILE. Cap 1: Ceras. (1992).
3. Handbook on the Investment Casting Process, AFS/ICI, (1982).
4. Investment Casting Waxes, ICI, (1988).
5. H. Bleier and C. Kuala. "Quality in the production of wax patterns". Foundry Trade J., (2002), pp. 20-22.
6. W.D. Callister. "Materials Science and Engineering";1985, 3rd. ed., J. Wiley & Sons, New York.
7. D.L.Dorset. "Crystallography of Real Waxes: Branched Chain Packing in Microcrystalline Petroleum Wax Studied by Electron Diffraction". Energy & Fuel. Vol 14(3) (2000), pp. 685-691.
8. Wax Binder and Slurry Test Handbook, AFS/ICI. (1978).
9. J. Niles, J; Anibarro, M.;Fielder, H. Wax Characterization. Remet Development Lab. Ufca, New York. ICI 2000.(2000)
10. Ash content of waxes. Extracted from IP Standads for Petroleum and Its Products. Part I, Section I, 28th Edition, 1969: IP4/65.
11. "Wax Binder and Slurry Test Handbook". Pattern Waxes, Specific gravity. Cap. 1; pp. 15-16 Publicación de la American Foundry Society (AFS Investment Casting). (1978).
12. Norma ASTM D1321: Standard Test Method for Needle Penetration of Petroleum Waxes. (1986).
13. Norma ASTM D 5: Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials. (1986).
14. Mac Diarmid Alan G., "*Nobel Lecture: Synthetic metals: A novel role for organic polymers*". Reviews of Modern Physics, Vol 73, p p.701-712, Julio 2001.
15. Chandrasekhar, P. "*Conducting Polymers, Fundamentals and Applications: a practical approach*". Kluwer Academic, Boston. 1999.
16. Restrepo, H.; Cervera, J.; Hoyos, B. "*Síntesis de polianilina por oxidación electroquímica*". Dyna, Año 72, N° 147, pp.57-63.2005.
17. Han, M.; Cho, K; Oh, S; Im, S. "*Preparation and characterization of polyaniline nanoparticles synthesized from DBSA micellar solution*". Synthetic Metals, Vol. 126. pp. 53-60. 2000.
18. Millard, M. "*Synthesis of Organics Polymers Films in Plasma*". Techniques and Applications of Plasma Chemistry, Ed. Willey. N. York. 1974.

19. Stejskal, J.; Sapurina, I. "Polyaniline: Thin films and colloidal dispersions". Iupac Technical Report. Pure Appl. Chem., Vol 77, N°5, pp 815-826. 2005.
20. J. Stejskal, R.G. Gilbert. "Polyaniline. Preparation of a conducting polymer". IUPAC technical report. Pure Appl Chem 74, (2002). pp. 857–867.
21. Skotheim, T. et al. "Handbook of Conducting Polymers". 2nd. Ed. Marcel Dekker, New Cork, ISBN: 0824700503. Año 1998.
22. Keithley Instruments Inc. "Four-Probe Resistivity and Hall voltaje Measurements with the model 4200-SCS". Application Note Series, N° 2475. Año 2004. www.keithley.com
23. Knuutinen, U, Norman, A. "Wax Analysis in Conservation Objects by Solubility Studies, FTIR and DSC". 15th World Conference on Non-destructive Testing. Roma (Italy) (2000).
24. Han D.; Chu, Y.; Yang, L; Liu, Y y Lv,Z. "Reversed Michelle polymerization: a new route for the síntesis of DBSA-Polyaniline nanoparticles". Colloids and Surfaces 259, pp.179-187. 2005