

REOLOGÍA DINÁMICA DE SUSPENSIONES ACUOSAS DE MULLITA-ALMIDÓN

M. H. Talou (1); M. A. Villar (2); M. A. Camerucci (1)

(1) Lab. de Materiales Estructurales, Div. Cerámicos - INTEMA, Fac. de Ingeniería - UNMdP - CONICET Av. J. B. Justo 4302 (7600) Mar del Plata, Argentina
e-mail: mtalou@fi.mdp.edu.ar

(2) Planta Piloto de Ingeniería Química (PLAPIQUI) - UNS - CONICET
Camino "La Carrindanga" Km 7 (8000) Bahía Blanca, Argentina

RESUMEN

En el procesamiento coloidal de cerámicos porosos, el almidón es uno de los agentes utilizado como consolidante-ligante de las suspensiones acuosas cerámicas y como formador de poros a alta temperatura. Los cambios en las características reológicas de las suspensiones de almidón, determinados por el proceso de gelatinización a temperatura y por la incidencia del polvo cerámico y aditivos adicionados, influyen en la cinética de formación del cuerpo cerámico y en sus características microestructurales finales.

En este trabajo se estudió el comportamiento reológico viscoelástico (medidas de G' y G'' a frecuencia constante) de suspensiones acuosas de almidones comerciales de mandioca y maíz y de suspensiones de mullita (Baikalox MULSM, Baikowski) y almidón, en función de la temperatura (30-95 °C) y de la deformación (0,1-625% a 40 °C). Se analizó la incidencia del polvo cerámico en el proceso de gelatinización de los almidones y en la resistencia de los geles desarrollados.

Palabras clave: Mullita, Consolidación directa con almidón, Reología dinámica.

1. INTRODUCCIÓN

La mullita ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) constituye un importante material cerámico debido a sus excelentes propiedades mecánicas aún a alta temperatura, bajos coeficiente de expansión térmica y conductividades térmica y eléctrica y buena estabilidad química, que lo hacen un potencial candidato para diversas aplicaciones, ya sea donde se

requieren cuerpos densos (elemento estructural, industria microelectrónica, entre otras) como porosos (aislamiento térmico, soporte para catalizadores, filtros, quemadores de combustión de gases, etc.)⁽¹⁾.

El almidón es considerado un polímero de condensación de la glucosa ($C_6H_{10}O_5$), en general, una mezcla de dos polisacáridos, uno de tipo lineal (amilosa) y otro ramificado (amilopectina). Se presenta en forma de pequeñas partículas o gránulos (1–100 μm) que son prácticamente insolubles en agua a temperatura ambiente. Sin embargo, cuando una suspensión de almidón se calienta a temperaturas entre 55 y 80 °C, las fuerzas intermoleculares dentro de los gránulos se debilitan y éstos experimentan un rápido e irreversible hinchamiento por absorción de agua. Este proceso, denominado gelatinización, se traduce en un aumento significativo en el tamaño de gránulo⁽²⁾.

Para el procesamiento de cerámicos porosos se ha desarrollado en los últimos años una nueva técnica de conformado por vía coloidal que se basa en el empleo de almidón como agente consolidante/ligante a temperatura de las partículas cerámicas en suspensión acuosa y como formador de poros a partir de su remoción a alta temperatura⁽²⁾. En este contexto, por un lado, es evidente la necesidad de contar con suspensiones acuosas estables de las partículas cerámicas, y por otro, de conocer como afectará a las propiedades de la suspensión cerámica el agregado de almidón. Por lo tanto, se debe prestar especial atención al estudio de la reología de las suspensiones en la cual la concentración del sólido y el tipo, cantidad y forma de adición de los aditivos orgánicos y su interacción, ya sea entre sí como con las partículas cerámicas, juegan roles relevantes.

Desde el punto de vista de la reología, la gelatinización de los gránulos de almidón está acompañada de un incremento en la viscosidad de la suspensión, una transición al comportamiento viscoelástico y la formación de un gel elástico. Por otra parte, la presencia del polvo cerámico y de los aditivos de procesamiento en la suspensión cerámico-almidón modifica el comportamiento de los gránulos con la temperatura y las características del gel desarrollado. Así, el cambio en las características reológicas de la suspensiones cerámicas con almidón, determinado tanto por el proceso de gelatinización en sí mismo como por la incidencia del polvo cerámico y aditivos adicionados, es uno de los factores que influye en la cinética de la formación del cuerpo cerámico y en sus características microestructurales finales.

El objetivo de este trabajo es estudiar la incidencia del polvo cerámico en el proceso de gelatinización de los almidones y en la resistencia de los geles desarrollados a partir de medidas reológicas dinámicas de suspensiones acuosas de

almidones comerciales de mandioca y maíz y de suspensiones de mullita-almidón en función de la temperatura y de la deformación.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Materiales y métodos

2.1.1. Almidones: Características y comportamiento reológico dinámico

Se emplearon dos almidones nativos comerciales de distinto origen biológico: almidón de mandioca (AVEBE, Argentina) y almidón de maíz (La Especiera Argentina, Argentina) ⁽³⁾. Los almidones en polvo se caracterizaron por medidas de densidad real determinadas por picnometría de helio (Multipycnometer, Quantachrome Co., USA), análisis granulométrico a partir de la determinación de las distribuciones de tamaños de partículas por difracción láser (Mattersizer S, Malvern, UK) en suspensiones acuosas de almidón y dispersante (Dolapix CE-64, Zschimmer & Schwarz, Alemania) aplicando ultrasonido (15 min), y análisis de la morfología de los gránulos por microscopía electrónica de barrido, SEM (JEOL JSM-6460, Japón). Se realizó también la determinación del porcentaje en peso de humedad por análisis termogravimétrico (Shimadzu, TGA-50, Japón) hasta 120 °C en aire a 10 °C/min, y se estimó la temperatura de formación de gel (T_p : temperatura del pico endotérmico) por calorimetría diferencial de barrido (Shimadzu DSC-50, Japón) hasta 120 °C a 5 °C/min empleando suspensiones de almidón en agua altamente diluidas (> 70% en peso) colocadas en cápsulas de aluminio selladas. En la Tabla 1 se muestran las características evaluadas para cada almidón y en la Figura 1 las micrografías de SEM de los polvos de almidón estudiados.

Tabla 1. Características de los almidones.

Almidones	Densidad real [g/cm ³]	Humedad (% peso)	T_p [°C] ^a	Distribución de tamaño de partículas	
				D_{50} [μm] ^a	W ^a
Mandioca	1,49	11,47	67,5	13,6	1,2
Maíz	1,49	10,88	66,8	14,8	1,1

^a T_p , temperatura del pico endotérmico; D_{50} , diámetro medio; W , ancho de la distribución ($W = [D_{90}-D_{10}]/D_{50}$ donde D_{90} y D_{10} son los diámetros de gránulo correspondientes a 90 y 10% en volumen, respectivamente).

Los valores de densidad picnométrica, porcentaje de humedad y temperaturas características determinadas por DSC para ambos almidones están en el rango de valores reportados para almidones de mandioca o maíz, determinados en condiciones experimentales similares ⁽⁴⁻⁵⁾. Los dos almidones presentaron

distribuciones bimodales, con bajo porcentaje en volumen (< 5%) de pequeñas partículas (0,5–3 μm) asociadas a impurezas o a gránulos rotos. Los diámetros medios de partícula de los almidones de mandioca y maíz resultaron similares (13,6 y 14,8 respectivamente). En cuanto al ancho de las distribuciones ($W = [D_{90}-D_{10}]/D_{50}$ donde D_{90} y D_{10} son los diámetros de gránulos para el 90 y 10% en volumen), los almidones no presentaron diferencias significativas, siendo ligeramente más angosta la distribución correspondiente al almidón de maíz.

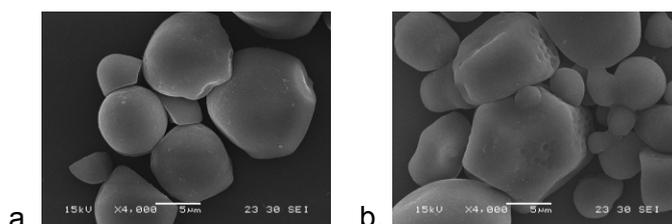


Figura 1. Micrografías de SEM de los almidones de: (a) mandioca; (b) maíz.

En la Figura 1 se observa que ambos almidones presentan gránulos con morfología poliédrica, siendo esta forma más marcada en los gránulos de almidón de maíz.

Con el objeto de determinar las propiedades reológicas de los almidones, se prepararon suspensiones acuosas 40% vol. por agitación a temperatura ambiente con agregado de 0,45% en peso de un dispersante polielectrolítico (Dolapix CE-64, Zschimmer-Schwarz). El estudio de la gelatinización de los almidones se realizó por reometría dinámica oscilatoria de pequeña amplitud en función de la temperatura (entre 30 y 95 $^{\circ}\text{C}$, a 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$) utilizando un reómetro rotacional (RDA-II, Rheometric Scientific, USA) operado con una geometría de platos paralelos de 25 mm de diámetro y un gap de 1 mm. Durante los ensayos se midieron las variaciones en el módulo elástico (G') y el módulo viscoso (G'') de las suspensiones en condiciones de frecuencia y deformación ('strain') constantes (1 rad/s y 0,5%, respectivamente). Para minimizar la pérdida de agua por evaporación durante los ensayos reológicos se cubrió el borde expuesto de los platos con una fina capa de aceite de silicona de baja densidad.

2.1.2. Mullita: Características y comportamiento reológico dinámico

Se trabajó con un polvo de mullita comercial (Baikalox MULSM, Baikowski) cuya caracterización se presentó en un trabajo previo ⁽⁶⁾. A partir del análisis químico por espectroscopía de emisión atómica se determinó que el polvo de mullita posee un exceso de 2,9% en peso de Al_2O_3 respecto de la composición estequiométrica ($\text{Al}_2\text{O}_3 = 71,8\%$ en peso, $\text{SiO}_2 = 28,2\%$ en peso). Este resultado se corresponde con

el análisis cualitativo por difracción de rayos X, DRX (equipo Philips, radiación de CoK_α a 30 mA y 40 kV y a 1° $2\theta/\text{min}$) a partir del cual se identificaron mullita como fase mayoritaria y alúmina como fase secundaria, además de una muy escasa cantidad de cristobalita, y con el valor de densidad picnométrica (medida en kerosén a 37°C) obtenido ($3,35 \text{ g/cm}^3$) que resultó intermedio entre los correspondientes a las densidades teóricas de las fases cristalinas mullita ($3,16 \text{ g/cm}^3$) y $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ($3,98 \text{ g/cm}^3$). El polvo presentó una distribución bimodal (equipo láser Mastersizer S, Malvern, UK) con un bajo tamaño medio de partícula de $1,46 \mu\text{m}$ que se corresponde con el alto valor de superficie específica ($13,5 \text{ m}^2/\text{g}$) determinado por el método BET de adsorción de nitrógeno en un punto (equipo Monosorb Quantachrome) y con la formación de aglomerados de hasta $50 \mu\text{m}$, que concuerda con el análisis microestructural realizado por microscopía electrónica de barrido, SEM (JEOL JSM-6460).

En un trabajo previo ⁽⁷⁾ se determinaron las condiciones óptimas de preparación de suspensiones acuosas estables del polvo de mullita a partir del estudio del comportamiento electroforético y reológico de suspensiones de mullita, considerando la influencia del agregado variable de dispersante, el pH de la suspensión y el tiempo de molienda/homogenización. Las condiciones experimentales seleccionadas para la obtención de suspensiones acuosas estables concentradas de mullita (40% en vol.) fueron: 0,45% en peso de Dolapix CE-64; pH de 8,7; 6 h de molienda/homogenización en molino de bolas.

El estudio de la variación de los parámetros viscoelásticos de la suspensión de mullita en función de la temperatura (entre 30 y 95°C , a $10^\circ\text{C}/\text{min}$) se realizó midiendo los cambios en G' y G'' en condiciones de frecuencia y deformación constantes (1 rad/s y $0,5\%$, respectivamente) empleando el mismo reómetro, geometría y condiciones experimentales que en el estudio del comportamiento reológico de las suspensiones de almidón.

2.2. Estudio reológico dinámico de suspensiones acuosas de mullita-almidón

Se prepararon mezclas acuosas de mullita-almidón (40% vol. total de sólidos) de acuerdo a las condiciones de procesamiento seleccionadas en los estudios realizados para las suspensiones de mullita (0,45% en peso de Dolapix CE-64; pH de 8,7; 6 h de molienda/homogenización en molino de bolas), y permitiendo 15 min de estabilización mediante agitación mecánica luego de la incorporación de las suspensiones de almidón ⁽⁷⁾.

El análisis de la influencia en el comportamiento reológico de diferentes cantidades relativas de mullita/almidón se llevó a cabo inicialmente para el almidón de mandioca. Las proporciones de mullita/mandioca seleccionadas para un contenido total de sólidos constante (40% vol.) fueron: 15/85, 30/70, 50/50 y 75/25. Con el objeto de comparar la influencia del tipo de almidón en las mezclas mullita-almidón, se estudiaron las características viscoelásticas de una suspensión acuosa (40% vol. total de sólidos) de mullita/maíz (75/25). La medición de las propiedades reológicas dinámicas de las suspensiones de mullita-almidón en función de la temperatura (entre 30 y 95 °C, a 10 °C/min) se llevaron a cabo empleando el mismo reómetro rotacional que en los estudios reológicos anteriores operado también con geometría de platos paralelos (25 mm de diámetro; 1 mm de gap) en las condiciones de frecuencia y deformación constantes utilizadas.

Se realizó una medida de la resistencia a la deformación de los geles que se formaron a partir de suspensiones (40% vol. de sólidos) de mullita/almidón (75/25) calentadas hasta 95 °C a una velocidad de 10 °C/min y enfriadas rápidamente hasta 40 °C. Dicho ensayo dinámico se realizó midiendo las variaciones en G' y G'' en función de un barrido de deformación (0,1-625% a 40 °C), utilizando el reómetro rotacional empleado anteriormente con geometría de platos paralelos (25 mm de diámetro; 1 mm de gap).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Reología dinámica de las suspensiones de almidón

Las curvas de G' y G'' en función de la temperatura para las suspensiones acuosas de los almidones de mandioca y maíz muestran un comportamiento reológico cualitativamente similar (Figura 2).

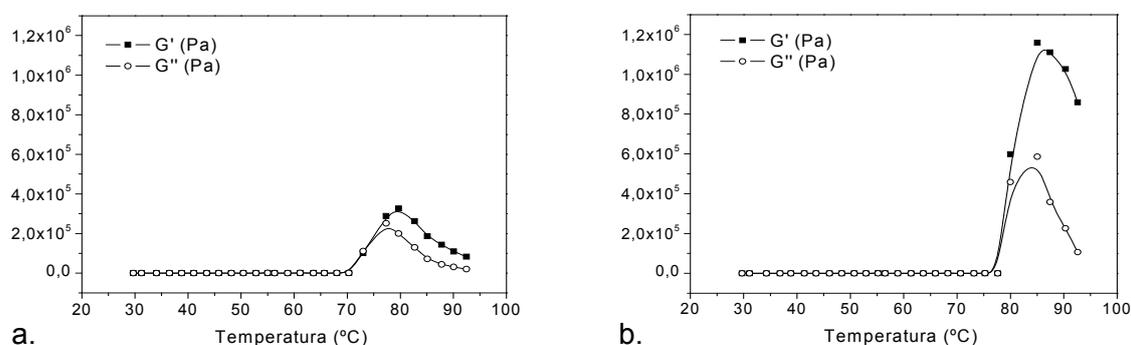


Figura 2. Módulo elástico (G') y módulo viscoso (G'') vs. temperatura para suspensiones acuosas 40% vol. de: (a) mandioca y (b) maíz.

Para ambos almidones, se produce un aumento más significativo en G' que en G'' a medida que se incrementa la temperatura, lo cual indica un mayor comportamiento elástico de la suspensión ⁽³⁾.

A partir de un cierto valor de temperatura (T 'onset') y a medida que ocurre el proceso de gelatinización, se produce el hinchamiento de los gránulos y un sustancial incremento en las propiedades elásticas de la suspensión (aumento de la viscosidad de la suspensión) al formarse una red tridimensional o gel. Un aumento posterior de temperatura ocasiona la disminución de las propiedades elásticas (disminución de la viscosidad de la suspensión), es decir, el debilitamiento de la estructura del gel formado.

El análisis cuantitativo de las curvas obtenidas mostró diferencias entre los almidones en lo que respecta a las características del gel formado y a la temperatura de formación. A partir de estas curvas se determinaron: el valor de la temperatura donde comienza a crecer significativamente el módulo elástico de la suspensión ('onset' de gelatinización), la temperatura del máximo valor de G' y el máximo valor de G' (Tabla 2).

Tabla 2. Valores del módulo elástico (G') y temperaturas características para suspensiones acuosas 40% vol. de almidón.

Tipo de almidón	$T_{G'i}$ [°C]	$T_{G'max}$ [°C]	G'_{max} [kPa]
Mandioca	70,3	79,5	330,0
Maíz	77,6	85,0	1158,5

$T_{G'i}$: temperatura 'onset' de gelatinización; $T_{G'max}$: temperatura en el máximo de G' ; G'_{max} : máximo valor en el módulo elástico.

Las diferencias en el comportamiento reológico de las suspensiones de los almidones dependen principalmente de las características estructurales de sus gránulos, su composición, distribución de tamaño, forma y fracción en volumen, las interacciones intergranulares y la viscosidad de la fase continua ⁽⁸⁾. Se observa que el almidón de maíz presentó mayores temperaturas de 'onset' y del máximo valor de G' , así como también, un valor del módulo elástico notablemente más grande que el almidón de mandioca (más de tres veces el valor correspondiente a mandioca).

3.2. Reología dinámica de las suspensiones de mullita-almidón

Se analizó la influencia de diferentes cantidades relativas de mullita/almidón (15/85, 30/70, 50/50 y 75/25) en el comportamiento reológico dinámico de suspensiones acuosas en función de la temperatura para lo cual se empleó el almidón de mandioca. En la Figura 3 se presentan las variaciones en los valores de

G' y G'' en función de la temperatura para suspensiones acuosas (40% vol. de sólidos) de: mandioca, mullita/mandioca 15/85, 30/70, 50/50 y 75/25 y mullita.

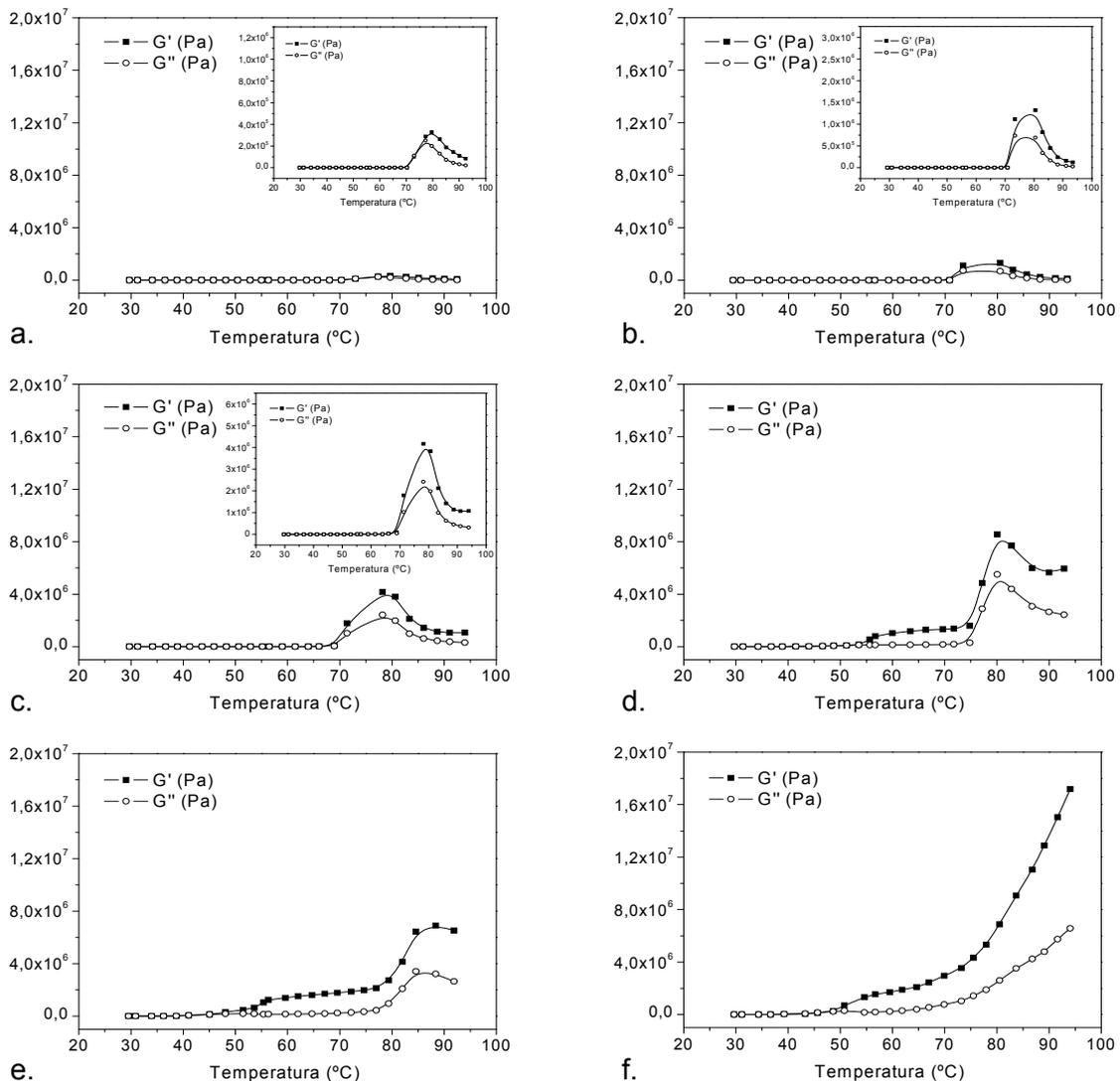


Figura 3. G' y G'' vs. temperatura para suspensiones acuosas (40% vol. de sólidos) de: (a) mandioca; (b) mullita/mandioca 15/85; (c) mullita/mandioca 30/70; (d) mullita/mandioca 50/50; (e) mullita/mandioca 75/25; (f) mullita.

Para la suspensión de mullita (Figura 3.f) se observa un aumento en los valores de las propiedades reológicas dinámicas (principalmente de G') con la temperatura, que se atribuye a la pérdida por evaporación de una pequeña cantidad de agua durante el calentamiento debido a un inconveniente experimental propio de la técnica, ya que el calentamiento de la muestra se realiza por medio de una corriente de aire seco. En este caso, dicho efecto resulta muy notable por tratarse de una suspensión concentrada en la cual el agua no participa de ningún proceso activado térmicamente, como el de gelatinización, que ocasione la disminución de su cantidad libre en la suspensión. Para una suspensión concentrada de mullita (40% vol.) se infiere que una mínima pérdida de agua origina la desestabilización de la

suspensión. Por otra parte, para descartar que dichos cambios observados en el comportamiento reológico se deban además a alteraciones en las propiedades reológicas de la suspensión con el tiempo, se llevó a cabo un ensayo dinámico (Figura 4) en función de esa variable a una temperatura fija (30 °C).

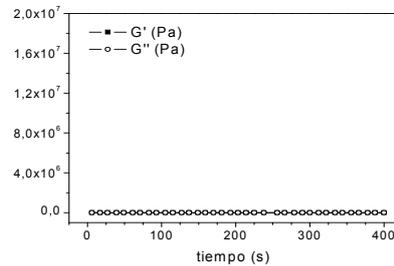


Figura 4. G' y G'' vs. tiempo para una suspensión acuosa de mullita (40% vol.)

En la figura 3 se observa que un aumento en la proporción de polvo cerámico en la cantidad total de sólidos hace más evidente el efecto de la pérdida de agua anteriormente mencionado para la suspensión de mullita, superponiéndose este efecto a los cambios en las propiedades viscoelásticas propios de la gelatinización del almidón.

Otro efecto adicional que contribuye al incremento en el valor de G' con la temperatura en suspensiones de mullita-almidón es la formación de un gel que incluye a las partículas cerámicas en su matriz.

En la Figura 5 se muestran las variaciones en la temperatura 'onset' de gelatinización ($T_{G'i}$), en la temperatura del máximo valor de G' ($T_{G'max}$) y en el máximo valor alcanzado por G' (G'_{max}), en función del contenido relativo de mullita en el total de sólidos (40% vol.) para las suspensiones de mullita-mandioca.

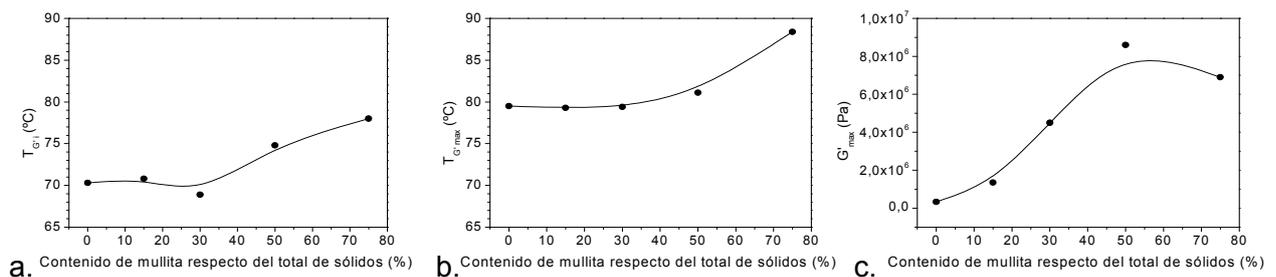


Figura 5. Variación de (a) $T_{G'i}$, (b) $T_{G'max}$ y (c) G'_{max} en función del contenido de mullita para suspensiones (40% vol. de sólidos) de mullita-mandioca.

Se aprecia un aumento en los valores de $T_{G'i}$ y $T_{G'max}$ para cantidades de mullita en suspensión mayores al 30% vol. del total de sólidos, que pone en evidencia un retraso en el inicio del proceso de gelatinización de los gránulos de almidón. Este comportamiento se podría atribuir a la menor disponibilidad de agua para la gelificación de la suspensión, debido a la interacción fisicoquímica (reacción de

quimisorción) que experimentan las moléculas de agua sobre la superficie de las partículas cerámicas, y a una disminución en la velocidad de difusión de las moléculas de agua hacia la superficie de los gránulos producida por la presencia del polvo cerámico.

El comportamiento de G'_{max} para cantidades crecientes de mullita en la suspensión de mullita-mandioca (Figura 5.c) puede explicarse teniendo en cuenta la incidencia de varios factores superpuestos: evaporación de agua, formación de un gel que incluye partículas cerámicas y ocurrencia de un proceso de gelatinización incompleto. Los dos primeros factores ocasionan un aumento en las propiedades viscoelásticas de la suspensión de mullita-almidón, principalmente en los valores de G' . La ocurrencia de un proceso de gelatinización incompleto se atribuye a la menor disponibilidad de agua para los gránulos de almidón, debido a la presencia de las partículas cerámicas en suspensión. Este efecto produce una disminución en el valor del módulo elástico (G') y su contribución resulta más significativa para las mayores cantidades de mullita ($> 50\%$ vol. de mullita respecto del sólido total). No se descarta que pueda ocurrir también un mayor debilitamiento de la estructura del gel formado y una disminución en G' en las suspensiones con mayores cantidades relativas de mullita debido al aumento en los valores de $T_{G'i}$ y $T_{G'_{max}}$.

En la Figura 6 se presenta el comportamiento reológico en función de la temperatura de la suspensión de mullita/maíz 75/25 junto al correspondiente para la suspensión de mullita/mandioca 75/25.

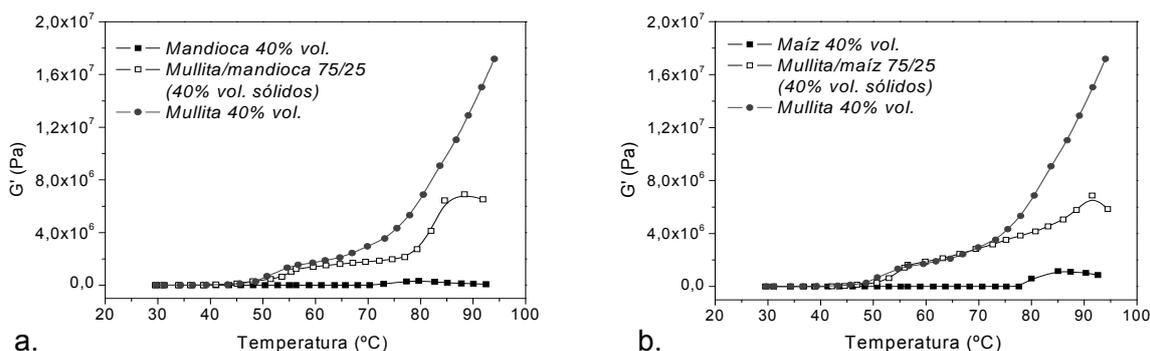


Figura 6. G' vs. temperatura para suspensiones (40% vol. de sólidos) de mullita, mullita/almidón (75/25) y almidón. Almidones de: (a) mandioca y (b) maíz.

Al igual que lo observado en la suspensión de almidón de mandioca, la presencia de partículas cerámicas retrasa el inicio del proceso de gelatinización ($T_{G'i} = 85\text{ }^{\circ}\text{C}$) y origina valores del módulo elástico superiores a los obtenidos con la suspensión acuosa de almidón. Además, el valor de G'_{max} para la suspensión de mullita-maíz resultó similar al alcanzado en la suspensión con almidón de mandioca

a pesar de que la suspensión de maíz sin partículas cerámicas presentó el más alto valor de G'_{max} . Esto se puede explicar teniendo en cuenta que a la alta temperatura de 'onset' de gelatinización de la suspensión mullita-maíz, la presencia de moléculas de agua es menor (evaporación) conduciendo a un menor desarrollo de la estructura del gel.

Una evaluación de las características de los geles desarrollados a partir de las suspensiones se realizó a partir de ensayos reológicos dinámicos en función de la deformación. El valor porcentual de la deformación para la cual se igualan los valores de G' y G'' se consideró como un indicador de la resistencia del gel ('gel strength'). A mayores deformaciones, en general, los valores de G'' superan a G' debido a la ruptura de la estructura del gel que origina un comportamiento de fluido o sólido viscoso.

En la Figura 7 se presentan las curvas obtenidas a partir de estos ensayos.

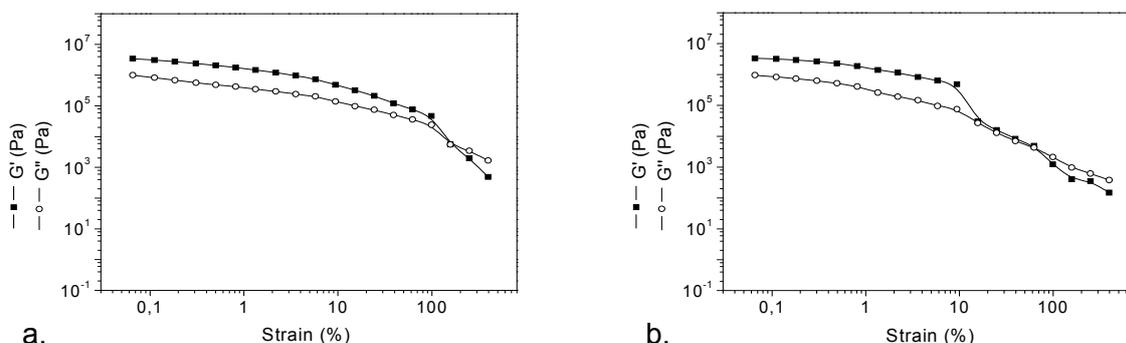


Figura 7. G' y G'' vs. deformación para suspensiones (40% vol. de sólidos) de mullita/almidón (75/25) calentadas hasta 95 °C a 10 °C/min y enfriadas rápidamente hasta 40 °C. Almidones de: (a) mandioca y (b) maíz.

La suspensión de mullita-maíz presentó un valor de resistencia del gel significativamente menor (al menos 10 veces menor) que el alcanzado por la suspensión de mullita-mandioca. Este resultado está de acuerdo con la ocurrencia de un proceso de gelatinización incompleto que origina un menor desarrollo en la estructura del gel.

4. CONCLUSIONES

A partir de medidas reológicas dinámicas de suspensiones de mullita-almidón se determinó la incidencia del polvo cerámico en el proceso de gelatinización de los almidones y en la resistencia de los geles desarrollados.

Por un lado, la formación de un gel que incluye a las partículas cerámicas en su matriz ocasiona un aumento en las propiedades viscoelásticas de la suspensión de

mullita-almidón, principalmente en los valores de G' . Otro efecto producido por la presencia de partículas cerámicas es el retraso en el inicio del proceso de gelatinización. Esto puede atribuirse a la menor disponibilidad de agua para la gelificación de la suspensión, debido a la interacción fisicoquímica que experimentan las moléculas de agua sobre la superficie de las partículas cerámicas, y a una disminución en la velocidad de difusión de las moléculas de agua hacia la superficie de los gránulos ante la presencia de las partículas de mullita.

Por otra parte, la menor disponibilidad de agua para los gránulos de almidón conduce a un proceso de gelatinización incompleto. Este efecto produce una disminución en el valor del módulo elástico (G') y su contribución resulta más significativa para las más altas proporciones de polvo cerámico en la suspensión.

En cuanto a la resistencia de los geles, la suspensión de mullita-maíz presentó un valor significativamente menor que el alcanzado por la suspensión de mullita-mandioca. La alta temperatura de 'onset' de gelatinización de la suspensión mullita-maíz conduce a una mayor pérdida de agua, ocasionando un proceso de gelatinización incompleto y un menor desarrollo en la estructura del gel.

5. REFERENCIAS

1. HIRSCHFELD, A. D.; LI, T. K.; LIU, D. M. *Key Eng. Mater.*, 115, p. 65, 1996.
2. LYCKFELDT, O.; FERREIRA, J. M. F. Processing of porous ceramics by starch consolidation. *J. Eur. Ceram. Soc.*, v.18, n.2, p.131-140, 1998.
3. TALOU, M. H.; VILLAR, M. A.; CAMERUCCI, M. A. Comportamiento de suspensiones de almidón para su aplicación en el procesamiento de materiales cerámicos porosos. In: 52° CONGRESO BRASILEIRO DE CERÁMICA, Florianópolis, SC, 2008. *Anales 52° Congreso Brasileiro De Cerámica*, Sao Paulo, ABC, 2008.
4. MAO, X.; WANG, S.; SHIMAI, S. Porous ceramics with tri-modal pores prepared by foaming and starch consolidation. *Ceramics International*, v.34, n.1, p.107-112, 2008.
5. ALVES, H. M.; TARI, G.; FONSECA, A. T.; FERREIRA, J. M. F. Processing of porous cordierite bodies by starch consolidation. *Materials Research Bulletin*, v.33, n.10, p.1439-1448, 1998.
6. TALOU, M. H.; CUMINO, A. C.; CAMERUCCI, M. A. Procesamiento de cerámicos porosos de mullita por consolidación directa con proteínas. In: 7° Congreso de Metalurgia y Materiales SAM/CONAMET, San Nicolás, Argentina, 2007. *Anales SAM-CONAMET 2007*.

7. TALOU, M. H.; CAMERUCCI, M. A; MORENO BOTELLA, R. Estudio del comportamiento reológico de suspensiones de mullita-almidón. In: 7° Congreso de Metalurgia y Materiales CONAMET/SAM, Santiago, Chile, 2008. **Anales CONAMET-SAM 2008**.

8. SINGH, J; KAUR, L; MCCARTHY, O. J. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications-A review. **Food Hydrocolloids**, v. 21, p. 1-22, 2007.

DYNAMIC RHEOLOGY OF MULLITE-STARCH AQUEOUS SUSPENSIONS

M. H. Talou (1); M. A. Villar (2); M. A. Camerucci (1)

(1) Lab. de Materiales Estructurales, Div. Cerámicos - INTEMA, Fac. de Ingeniería - UNMdP - CONICET Av. J. B. Justo 4302 (7600) Mar del Plata, Argentina
e-mail: mtalou@fi.mdp.edu.ar

(2) Planta Piloto de Ingeniería Química (PLAPIQUI) - UNS - CONICET
Camino "La Carrindanga" Km 7 (8000) Bahía Blanca, Argentina

ABSTRACT

The starch is one of the agents employed in the colloidal processing of porous ceramics in which acts as both consolidator/binder of the ceramic aqueous suspension and pore former at high temperature. The changes in the rheological behaviour of the starch suspensions, determined by thermal gelatinization process, and for the incidence of the ceramic powder and added aditives, influence in the formation kinetics of the ceramic body and in its final microstructural characteristics.

In this work, the viscoelastic rheological behaviour (measurements of G' and G'' at constant frequency) of aqueous suspensions of commercial starches of tapioca and corn, and of mullite suspensions (Baikalox MULSM, Baikowski) with starch, in function of the temperature (30-95 °C) and the deformation (0,1-625% at 40 °C), was studied. It was analysed the influence of the ceramic powder in the gelatinization process of the starches and in the strength of the developed gels.

Keywords: Mullite, Starch consolidation, Dynamic rheology.