

## Comportamiento del índice de plasticidad de una pasta arcillosa madurada naturalmente<sup>†</sup>

Judith Salinas, Kellner Nurinda, Javier Ramírez\*

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)  
Avenida Universitaria, PO Box 5595, Managua, Nicaragua

(recibido/received: 17-Oct-2014; aceptado/accepted: 19-Dic-2014)

### RESUMEN

En este trabajo, se determinó la influencia de la maduración de la pasta arcillosa sobre la propiedad tecnológica plasticidad. Para tal fin, se realizó el tratamiento de una mezcla de arcilla pulverizada provenientes de 3 diferentes sitios de la región de San Juan de Oriente, a las cuales se les determinó su distribución de tamaño de partículas, el índice de plasticidad, tipo de suelo y humedad. Las pastas arcillosas se elaboraron con dos tipos de arena (arrollo y playa) con las proporciones de mezclas usadas por artesanos locales. Seguidamente, se dejó reposar en baldes plásticos oscuros durante 16 días, para que la pasta se madurara. El seguimiento al proceso se realizó tomando una muestra cada 2 días, y midiéndole el índice de plasticidad para determinar la influencia de la maduración en esta propiedad. Por último, se realizó la prueba de sensibilidad al secado y el grado de contracción de las pastas arcillosas maduradas. Las pastas elaboradas presentaron un índice de plasticidad inicial en un rango entre 17 y 19, después de 16 días de maduración se alcanzó un índice de plasticidad con valores entre 22 y 25 para ambas pastas, presentando una tendencia a incrementar linealmente en función del tiempo. Sin embargo, las pastas elaboradas con arena de arroyo alcanzaron más rápido un valor de plasticidad máximo (25). Al mismo tiempo, se determinó que las pastas sufrieron una contracción (entre 7 y 14%), con un leve agrietamiento en la superficie del bloque, más no en el cuerpo.

Palabras clave: Arcilla; Pasta arcillosa; Plasticidad; Maduración; Granulometría; Secado

### ABSTRACT

In this work, the influence of the maturation of the clay paste on the technological property plasticity was determined. For this purpose, the treatment of a mixture of powdered clay from three different sites in the region of San Juan de Oriente were used to determine the particle size distribution, plasticity index, soil type and moisture. The clay pastes were prepared with two types of sand (creek and beach) and using the local artisans' mixture proportions. Then, the pastes rested in dark plastic buckets for 16 days, thus allowing them to mature. One sample was taken every two days; the plasticity index was measured to determine the influence of the maturation on this property. Finally, the sensitivity to drying and the degree of contraction tests of the matured pastes were performed. The initial plasticity index ranges between 17 and 19. After the 16 days, the plasticity index ranges between 22 and 25, thus presenting a tendency to increase linearly as a function of time. However, the pastes prepared with creek sand reached faster a maximum plasticity value of 25. At the same time, it was determined that the pastes suffered a contraction (between 7 and 14 %), with a slight cracking on the surface of the block, but not in the body.

Keywords: Clay; Clay paste; Plasticity; Maturation; Granulometric; Drying

<sup>†</sup>Dedicado al Prof. Dr.-Ing. Joaquín Martínez (KTH/Suecia) con motivo de su 65 cumpleaños.

\* Autor para la correspondencia. Tel.: +505 22781463.  
Correo electrónico: jramirez@uni.edu.ni (J. Ramírez).

## 1. Introducción

El desarrollo de la artesanía artística es de mucha importancia para la economía Nicaragüense. Cada departamento del país se caracteriza por algún estilo, material, diseño y técnica en particular que es representativo de algún pueblo o ciudad. En el departamento de Masaya se encuentra el municipio de San Juan de Oriente, ubicado a 41 km al sur de la capital Managua, pertenece al corredor turístico de los Pueblos Blancos, su mejor baluarte es la elaboración de piezas de cerámica precolombina, contemporánea y utilitaria a base de arcilla.

Los artesanos de San Juan de Oriente usan pasta arcillosa (mezcla de agua, arcilla y arena), para la elaboración de piezas artísticas, producidas de forma artesanal. Las características del producto final son función de la técnica usada en cada proceso, la cual depende de la experiencia de cada artesano y por ende las características de la pasta arcillosa utilizada. Aunque, los artesanos elaboran el producto cerámico aplicando las etapas básicas; preparación de la pasta arcillosa, elaboración de la pieza, secado y cocción de la misma. Uno de los problemas se presenta en la preparación de la pasta arcillosa, ya que cada artesano lo hace acorde a su experiencia, la formulación desigual usada por cada uno de los productores para la elaboración de la pasta conlleva a que en las etapas de secado y cocción el control de la temperatura sea distinto, esto provoca pérdidas en las piezas ya que agrietan y se quiebran durante los procesos de secado y cocción, lo que significa pérdidas económicas para los artesanos, así como un uso inadecuado de la arcilla conllevando a un deterioro ambiental. Por tanto, el contar con una pasta homogénea, podría contribuir a que las piezas elaboradas al final del proceso tengan características similares entre sí y por tanto la misma calidad.

Es importante reconocer que a pesar de la experiencia que el artesano posee para elaborar sus productos, se requiere mejorar tecnológicamente para competir en el mercado internacional. Uno de los aspectos más importantes es mejorar tanto las propiedades

tecnológicas de la pasta como las etapas de su proceso de elaboración, de manera que se aproxime lo más posible a los parámetros con los que se trabaja internacionalmente. Uno de los primeros pasos para lograr un mejor desempeño tanto fuera como dentro del país, es determinar el valor del índice de plasticidad que las pastas poseen ya que este valor determina que tan moldeable serán sin presentar agrietamientos una vez secas.

Este trabajo se determinará el comportamiento de la plasticidad, y se evaluará la sensibilidad al secado de la pasta arcillosa madurada de forma natural, elaborada para la producción de cerámica artística en San Juan de Oriente.

## 2. Material y Métodos

Para la realización de este trabajo se realizaron una serie de visitas a San Juan de Oriente, esto es con el fin de llegar a un acuerdo con los productores de cerámica sobre la facilitación de la materia prima, así como también su participación en la preparación de las mezclas que se realizaron.

El material arcilloso se obtiene de los bancos de arcilla y se pulverizó en una empresa semi-artesanal, la cual se utilizó como materia prima para la elaboración de las pastas arcillosa estudiada, aplicando la técnicas análisis y procedimientos detallados en las siguientes secciones.

### 2.1. *Elaboración de la mezcla para la elaboración de la pasta arcillosa*

La preparación de la pasta arcillosa se realizó tomando como referencia las proporciones de arcilla pulverizada, arena y agua empleadas por el artesano Francisco Calero y uno de los proveedores de este producto a los artesanos de San Juan de Oriente, así como los resultados obtenidos y recomendaciones orientadas en el estudio realizado por García y González (2010), los cuales oscilan en los rangos siguientes: material arcilloso (22.57-34.10 % w/w), limo (13.04-22.07 % w/w), arena (19.5-22.01 % w/w) y agua (30.49-35.05 % w/w), también se consideraron como base de comparación las

características técnicas para pastas cerámicas-Collet, S.A (humedad 18-22 %, índice de plasticidad final 17-24 y contracción al secado 3.4-7.5 %), realizándose posteriormente las pruebas descritas a continuación.

### *2.2. Determinación granulométrica de la arcilla pulverizada*

La distribución de tamaño de partícula, se realizó por medio tamizado para partículas mayores a 0.074 según la norma ASTM D 422-63, y sedimentación para partículas menores a 0.074 mm según la norma ASTM D-422-63. Estos ensayos se realizaron en el Centro de Investigación de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIGEO-UNAN).

### *2.3. Determinación del índice de plasticidad de arcilla pulverizada*

El índice de plasticidad para cada una de las tres muestras de arcilla pulverizada utilizadas en este estudio (ver Tabla 1), se determinó por el método de los límites de Atterberg. Este método consiste en determinar el límite líquido (LL), el límite plástico (LP) y el índice de plasticidad (IP), los resultados se plasman en el diagrama de plasticidad. Los procedimientos para la determinación esta propiedad tecnológica están indicadas en la norma ASTM D 4318-00.

### *2.4. Determinación granulométrica de la arena*

Para este trabajo se utilizó arena proveniente de la playa del lago Cocibolca y otra proveniente de arroyo utilizada actualmente por los artesanos, con el fin de comparar como afecta la arena a las propiedades tecnológicas (índice de plasticidad y sensibilidad al secado) de la pasta.

La arena utilizada se lavó con el fin de remover cualquier material ajeno (materia orgánica, basura, etc.) luego se tamizó para determinar el tamaño de partículas aplicando el procedimiento de la norma ASTM D 422-63, ambos experimentos se realizaron en el laboratorio de suelo de la Facultad de Tecnología de la Construcción del Recinto Universitario (UNIRUPAP).

### *2.5. Preparación de la pasta arcillosa*

El mezclado de los materiales se llevó a cabo manualmente, agregando primero la arcilla pulverizada, luego la arena y por último el agua (ésta se agregó de manera gradual para evitar la formación de grumos, hasta obtener una pasta de consistencia homogénea y semifluida).

Para la elaboración de las mezclas, se tomaron las proporciones definidas por García y González (2010), en este estudio se elaboraron 3 pastas arcillosas (PA) con cada arena (arroyo y playa), y en la Tabla 2 se muestran las composiciones porcentuales de Arcilla Pulverizada (AP), arena y agua utilizadas. Siendo PA-1 la pasta arcillosa elaborada con arena de arroyo, y PA-2 la elaborada con arena de playa. A cada una de las pastas se les realizó le medición del índice de plasticidad y se seleccionaron las que presentaron un valor mínimo establecido de  $IP = 17$ , la cual fue considerada como el valor inicial de esta propiedad tecnológica.

### *2.6. Maduración de la pasta arcillosa*

La pasta arcillosa se dejó madurando durante 16 días en baldes de plástico oscuros y sellados para prevenir pérdida de humedad en la pasta por evaporación, así como la presencia de algún cuerpo extraño que pudiera provocar alguna alteración en las propiedades de la misma.

### *2.7. Comportamiento del índice de plasticidad de la pasta arcillosa madurada*

Durante el proceso de maduración de las pastas PA-1 y PA-2 se tomaron muestras cada 2 días y se les realizaron las pruebas de índice de plasticidad según la norma ASTM D 4318-00, hasta llegar el último día de maduración. Los valores de índice de plasticidad obtenidos se graficaron en función del tiempo y se realizó un ajuste polinomial que corresponda al comportamiento de la plasticidad obtenida experimentalmente.

Este procedimiento se realizó por triplicado a cada grupo de pasta arcillosa, para obtener un valor promedio del modelo ajustado.

### 2.8. Análisis de sensibilidad de secado de la pasta arcillosa madurada

La determinación de la contracción de la pasta arcillosa madurada se detalla a continuación:

- Se elaboran moldes de madera con dimensiones de 8 cm × 8 cm × 3 cm, debidamente marcados, y se pesaron.
- Los moldes se aceitaron, y se rellenaron con cada pasta arcillosa y se hizo presión con ayuda de un mazo de madera para asegurar la eliminación de aire presente en la matriz del material. Se marcaron dos diagonales y se midieron.
- Las muestras se introdujeron a un horno a temperatura ambiente hasta alcanzarlos 110 °C.

- Una vez alcanzada esta temperatura, se dejaron en el horno por 24 horas hasta alcanzar un peso constante.

- Los moldes se colocaron en un desecador por 5 horas y luego se midieron la longitud de cada diagonal.

- La contracción debido a la pérdida de agua se determina por medio de la Ecuación (1):

$$C_s = \frac{L_i - L_{fs}}{L_i} \times 100 \quad (1)$$

donde  $C_s$  es la contracción de la pasta arcillosa madurada debido al secado,  $L_i$  es la longitud inicial de la marca antes del secado y  $L_{fs}$  es la longitud final de la marca después del secado.

Tabla 1 Descripción de las muestras de arcilla pulverizada utilizadas.

Nombre	Descripción
AP-1	Esta muestra de arcilla pulverizada está conformada por una mezcla de 3 arcillas provenientes de distintos bancos de materia prima.
AP-2	Esta es una muestra conformada por las 3 arcillas que conforman AP-1, de manera individual.
AP-3	Al igual que AP-1, esta es una mezcla de las 3 arcillas pulverizadas, en proporciones iguales.

Tabla 2 Proporciones de componentes para la mezcla de pasta arcillosa.

Nombre		Contenido Porcentual (%)		
		Arcilla Pulverizada	Arena	Agua
PA-1	1	45	21	34
	2	47	19	34
	3	49	19	32
PA-2	1	45	22	33
	2	47	19	34
	3	49	20	31

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1. Propiedades de la arcilla pulverizada

En la Tabla 3 se muestran las características de las propiedades físicas y tecnológicas de la arcilla (composición granulométrica, gravedad específica, plasticidad), usada para la elaboración de la pasta arcillosa. Se observa que la arcilla pulverizada presenta mayor proporción de material fino (88%) que la arena (12%), presentando a la vez un índice de plasticidad igual a 17. Sin embargo, este valor se encuentra en el límite inferior requerido para la pasta arcillosa a elaborar, lo que implicaría que una vez mezclado con la arena, el índice de plasticidad disminuiría. Como respuesta inmediata a este inconveniente, se realizaron tomas de muestras individuales de los distintos bancos de material de los que el artesano Francisco Calero obtiene la arcilla para trabajar. Los resultados contenidos en la tabla 4 para cada arcilla pulverizada muestran que la plasticidad oscila entre 20-25, así como el límite líquido (52-58) y el límite plástico (27-38). Por tanto estas se clasifican en el límite que separa a las "Arcillas inorgánicas de alta plasticidad (CH)" y a los "Limos inorgánicos de alta compresibilidad y arcillas inorgánicas (MH)".

#### 3.2. Granulometría de la arena

El análisis granulométrico manifiesta que la arena de arroyo contiene una mayor cantidad de partículas gruesas que la arena de playa (ver Tabla 4) con una diferencia de 53.31%, dado que la arena sirve de material desengrasante, esta característica es de vital importancia en la elaboración de pastas arcillosas.

#### 3.3. Índice de plasticidad de pastas arcillosas

Las pastas arcillosas se elaboraron Los índices de plasticidad determinados para cada una de las pastas arcillosas elaboradas (PA-1 y PA-2) se presentan en la Tabla 5. Obteniéndose que estas presentan valores de índice de plasticidad (IP) en un rango entre 15 y 22. Sin embargo, solamente las pastas PA-1.1 y PA-2.2 se eligieron para la realización de este trabajo, ya que presentaban los valores de IP inicial (límite inferior) para realizar el estudio de índice de plasticidad. La obtención de solamente una mezcla con cada tipo de arena para la etapa de maduración hizo necesaria la elaboración de réplicas para estas pastas, preparándose en total 3 mezclas con arena de arroyo y 3 mezclas con arena de playa, con sus respectivas composiciones.

#### 3.4. Variación del índice de plasticidad para las pastas arcillosas maduras (PA-1 y PA-2)

En las Figs. 1 y 2 se observa el comportamiento del índice de plasticidad obtenido para las pastas arcillosas PA-1 y PA-2, respectivamente, obteniéndose que esta propiedad tecnológica varía linealmente en el tiempo al ajustar de los datos experimentales para ambos grupos de pastas arcillosas, con un polinomio lineal se obtuvieron las ecuaciones mostradas en las Tablas 6 y 7. Debido a que el valor de las pendientes obtenidas de los ajustes es muy cercano, se obtuvo un promedio de las tres ecuaciones obtenidas para cada bloque, siendo estas las Ecuaciones (5) y (9). Estos modelos matemáticos servirán para determinar el tiempo de maduración necesario para alcanzar un índice de plasticidad requerido, si se conoce el índice de plasticidad inicial de la pasta arcillosa.

Tabla 3 Índice de plasticidad de arcilla pulverizada (AP-2).

Banco de Material	LL	LP	IP	Clasificación
Enrique Gutiérrez (E)	52	27	25	CH
José Gutiérrez (J)	58	38	20	MH
Zacarías Espinoza (Z)	54	34	20	MH

Tabla 4 Composición granulométrica de la arena.

Material según granulometría	Límites de las dimensiones (mm)	Contenido porcentual (%)	
		Arena Arroyo	Arena Playa
Arena Gruesa	2.0-0.2	72.61	18.85
Arena Fina	0.2-0.02	25.74	75.54
Limo	0.02-0.002	1.65	5.16

Tabla 5 Índice de plasticidad inicial de las pastas arcillosas.

Nombre	N°	LL	LP	IP
PA-1	1	34	16	18.0
	2	38	18	19.3
	3	40	18	18.0
PA-2	1	32	17	17.2
	2	34	17	17.7
	3	38	18	17.1

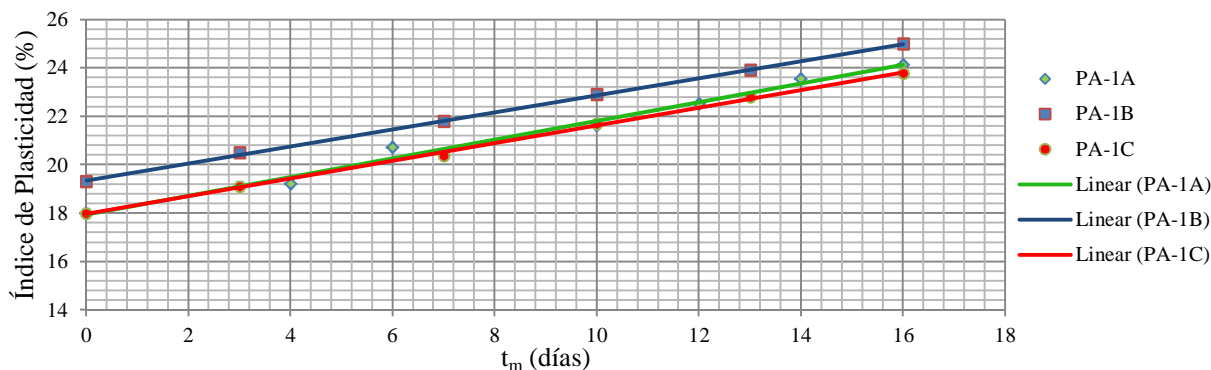


Fig. 1 Comportamiento del índice de plasticidad durante el proceso de maduración del grupo PA-1.

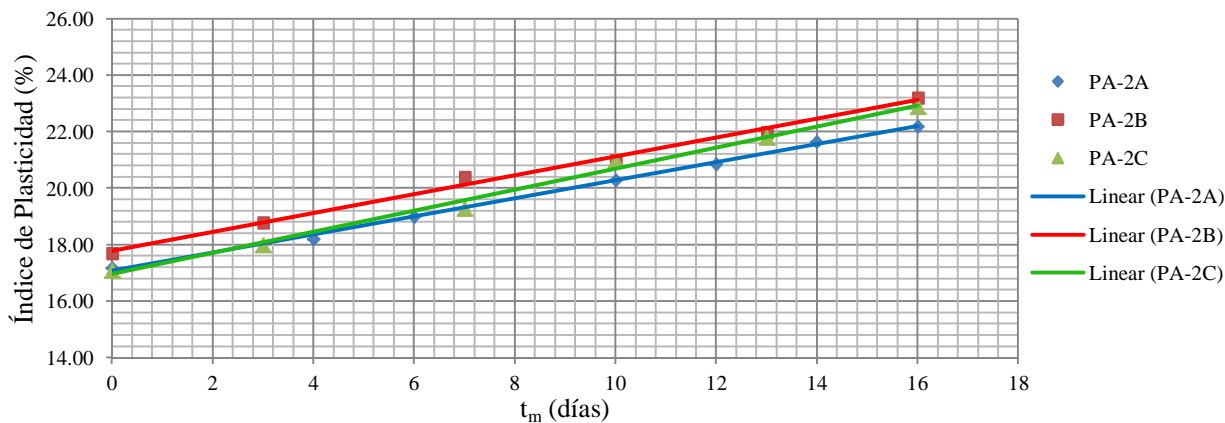


Fig. 2 Comportamiento del índice de plasticidad en el proceso de maduración del grupo PA-2.

Tabla 6 Ajustes de los datos experimentales del índice de plasticidad para PA-1.

Pasta arcillosa madurada	Ajuste matemático	$r^2$	
PA-1A	$IP = 0.3868 t + 17.954$	0.9880	(2)
PA-1B	$IP = 0.3521 t + 19.358$	0.9994	(3)
PA-1C	$IP = 0.3653 t + 17.973$	0.9982	(4)
Promedio PA-1	$IP = 0.3682 t + IP_o$		(5)

Tabla 7 Ajustes de los datos experimentales del índice de plasticidad para PA-2.

Pasta arcillosa madurada	Ajuste matemático	$r^2$	
PA-2A	$IP = 0.3202 t + 17.081$	0.9975	(6)
PA-2B	$IP = 0.3345 t + 17.786$	0.9941	(7)
PA-2C	$IP = 0.3724 t + 16.976$	0.9923	(8)
Promedio PA-2	$IP = 0.3424 t + IP_o$		(9)

### 3.5. Sensibilidad al secado de las pastas arcillosas maduras

Ambos grupos de pastas muestran una tendencia similar de humedad final entre 34% y 37% en peso. Lo que indica que durante el secado las pastas maduras eliminaron alrededor de un tercio de su contenido inicial de agua, siendo el grupo PA-2 quien más agua eliminó. Ambas pastas presentaron agrietamiento una vez

terminada esta operación. Después de 24 horas de secado y su completo enfriamiento, las pastas presentaron contracción tanto vertical como horizontal. Los porcentajes de contracción de las pastas arcillosas se muestran en la Tabla 8. Un aspecto muy importante a notar es que PA-1 presentó una contracción promedio de 7.59% mientras que PA-2 se contrajo un promedio de 13.73%.

Tabla 8 Porcentaje de contracción al secado de las pastas.

Grupo	Nombre	$C_s$ %
PA-1	PA-1A	7.14
	PA-1B	6.95
	PA-1C	8.69
PA-2	PA-2A	14.28
	PA-2B	13
	PA-2C	13.91

## 4. Conclusiones

Se determinó que durante la etapa de maduración de la pasta arcillosa incrementa su índice de plasticidad linealmente en el tiempo, alcanzando valores máximos de plasticidad de 25 en un tiempo de 16 días. Así mismo se obtuvieron dos ecuaciones lineales que permitirán estimar el índice de plasticidad de las mezclas en función de los días de maduración, siendo para la pasta elaborada con arena de

arroyo (PA-1) la ecuación  $IP = 0.3682 t + IP_o$ , y para la mezcla con arena de playa (PA-2) la ecuación  $IP = 0.3424 t + IP_o$ . Las pastas arcillosas PA-1 elaboradas presentaron menor contracción (7%-9%) durante el secado que las PA-2 (13%-14%). El hecho que la arena de arroyo tiene mayor tamaño de partícula, contribuye a que la contracción durante el secado sea menor. Sin embargo, ambas pastas sufrieron de agrietamiento, siendo PA-1 la que presentó menor cantidad.

### **Agradecimientos**

El desarrollo de este estudio se logró culminar con éxito por el interés presentado por los señores artesanos: Pedro Guerrero y Francisco Calero, quienes muy amablemente nos brindaron parte de su tiempo, la materia prima y compartieron sus experiencias en la elaboración de cerámica artística. Así como, al apoyo brindado por la Facultad de Tecnología de la Construcción (FTC) de la Universidad Nacional de Ingeniería, por permitir usar los equipos del laboratorio de suelos y el apoyo del personal que administra este.

### **Referencias**

ASTM D422-63 (1998). Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.

ASTM D422-63 (2007). Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.

AMICTLAN-PIXOA, INIFOM-PFDM y AMUNIC-PASMA II. Plan Ambiental Municipal de San Juan de Oriente 2008-2018.

García, D., González, E. (2010). Diagnostico Tecnológico del Proceso de Elaboración de Pasta Arcillosa para la Producción de Cerámica Artística en el Municipio de San Juan de Oriente. Tesis de Ingeniería Química. Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Managua, Nicaragua.

Harmer, D.E. (1964). The testing and inspection of engineering materials. McGraw-Hill Civil Engineering Series. Third edition.

Lambert, W.T., Whitman, R.U. (1987). Mecánica de Suelos. Editorial Limusa, México.

Marshall, T.J., Colmes, J.W., Rose, C.W. (1996). Soil Physics. Editorial Cambridge. Third Edition.