



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA.
FACULTAD DE ARQUITECTURA

**Trabajo Monográfica para optar al Título de
INGENIERO QUÍMICO**

Tema

**Determinación del comportamiento del índice de plasticidad
de una mezcla de pasta arcillosa durante la etapa de
maduración**

Autores

Br. Judith de los Ángeles Salinas Jarquín
Br. Kellner Ramsés Nurinda Barquero

Tutor

Arq. Msc. Javier Enrique Ramírez Meza

Octubre del 2013
Managua Nicaragua

Managua, 9 de Septiembre del 2013

Opinión del catedrático guía

El presente estudio monográfico titulado: **Determinación del comportamiento del índice de plasticidad de una mezcla de pasta arcillosa durante la etapa de maduración**, realizado por los Bachilleres Kellner Ramsés Nurinda Barquero y Judith de los Ángeles Salinas Jarquín, es un estudio de aplicación de mucha importancia para el sector productivo de la cerámica artística del municipio de San Juan de Oriente.

Los bachilleres Nurinda y Salinas durante el desarrollo de su monografía implementaron conocimientos adquiridos durante sus estudios en la carrera de Ingeniería Química, así como el desarrollo investigativo que a nivel de pregrado se requiere. Por lo tanto considero que han cumplido con la última etapa de su preparación universitaria y están preparados para presentar sus resultados públicamente. Por otro lado el documento cumple con lo establecido en el reglamento de culminación de estudio de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Es importante señalar que los resultados obtenidos en esta monografía servirán para el mejoramiento de la producción de pasta arcillosa en el municipio de San Juan de Oriente durante la etapa de maduración, ya que estos serán presentados e implementados por los productos que suplen de esta valiosa materia prima a los productores de cerámica artística en San Juan de Oriente.

Por todo lo expuesto anteriormente, aseguro que los bachilleres Nurinda y Salinas, reúnen en este trabajo lo requisitos para que opten al título de Ingeniero Químico.

Sin más a que referirme, me despido.

Cordialmente



*Javier Enrique Ramírez Meza
Profesor Titular
Departamento de Operaciones Unitarias
Facultad de Ingeniería Química
Universidad Nacional de Ingeniería
jramirez@uni.edu.ni*

Contenido

Agradecimiento	i
Dedicatoria	ii
Resumen.....	iii
I. Introducción.....	1
II. Objetivos	3
2.1 <i>Objetivo General</i>	3
2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	3
III. Marco teórico.....	4
3.1 <i>Arcilla</i>	4
3.2 <i>Propiedades físicas de la arcilla</i>	5
3.2.1 <i>Humedad</i>	5
3.2.2 <i>Densidad</i>	5
3.2.3 <i>Composición Granulométrica - Tamaño de Partícula</i>	5
3.3 <i>Propiedades tecnológicas de la arcilla</i>	7
3.3.1 <i>Límite Líquido</i>	7
3.3.2 <i>Límite Plástico</i>	8
3.3.3 <i>Índice de Plasticidad</i>	8
3.5 <i>Materiales Cerámicos</i>	8
3.6 <i>Proceso Productivo de la Cerámica Artesanal</i>	9
3.6.1 <i>Obtención de la Pasta Arcillosa</i>	9
• <i>Extracción del banco de materiales</i>	9
• <i>Secado Solar y Limpieza</i>	9
• <i>Mezclado</i>	10
• <i>Extrusión</i>	10
• <i>Evaporación de la pasta</i>	10
• <i>Maduración o Almacenamiento Anaeróbico</i>	10
3.6.2 <i>Elaboración de la Pieza</i>	10
• <i>Modelado</i>	10
• <i>Tratamiento de la Superficie</i>	11
• <i>Secado</i>	11
• <i>Cocción</i>	12
• <i>Técnicas de decoración</i>	13
3.7 <i>Maduración de la Pasta Arcillosa</i>	13

3.8 Sensibilidad al secado.....	14
IV. Metodología.....	16
4.1 Elaboración de la mezcla para la elaboración de la pasta arcillosa.....	16
4.2 Determinación de las propiedades físicas y tecnológicas de la arcilla pulverizada.....	16
4.2.1 Índice de plasticidad	17
4.3 Determinación granulométrica de la arena	19
4.4 Características del agua.....	19
4.5 Preparación de la pasta arcillosa.....	19
4.6 Maduración de la pasta arcillosa	20
4.7 Determinación de la variación de índice de plasticidad	20
4.8 Determinación del comportamiento del índice de plasticidad de la pasta arcillosa durante la etapa de maduración.....	21
4.9 Determinación de la humedad final de la pasta arcillosa madurada.....	21
4.10 Análisis de sensibilidad de secado de la pasta arcillosa madurada	21
4.11 Comparación de resultados con las características técnicas de Collet S.A.	22
V. Discusión de los resultados.....	23
5.1 Aspectos generales	23
5.2 Propiedades de la arcilla pulverizada	23
5.3 Humedad Inicial de los materiales.....	25
5.4 Granulometría de la arena.....	26
5.5 Características de las pastas arcillosas elaboradas.....	26
5.5 Índice de Plasticidad.....	27
5.6 Variación del índice de plasticidad	28
5.6.1 Variación del índice de plasticidad de PA-1.....	28
5.6.2 Variación del índice de plasticidad de PA-2.....	30
5.6.3 Proyección del comportamiento del índice de plasticidad	33
5.7 Sensibilidad al secado.....	34
5.8 Humedad final.....	37
5.9 Comparación de resultados.....	37
VI. Conclusiones	39
VII. Recomendaciones	40
VIII. Nomenclatura.....	41

IX. Bibliografía	42
X. Anexos	44
<i>10.1 Tablas de distribución de tamaño de partículas.....</i>	<i>44</i>
<i>10.2 Tablas de contracción al secado de las pastas maduras.....</i>	<i>45</i>
<i>10.3 Características técnicas para pastas cerámicas de Collet S.A.....</i>	<i>46</i>

Agradecimiento

Al culminar este trabajo monográfico, agradecemos primeramente a Dios que es la fuente de toda sabiduría, agradecemos también a nuestros padres, que con tanta abnegación nos han apoyado incondicionalmente en todo el desarrollo de este trabajo.

De igual forma agradecemos a los señores artesanos: Pedro Guerrero y Francisco Calero, quienes muy amablemente nos brindaron parte de su tiempo y nos compartieron sus experiencias en la elaboración de cerámica artística.

Y en última instancia pero no por ser menos importante agradecemos a nuestro tutor el Ing. Javier Ramírez Meza quien con tanta dedicación nos brindo su apoyo, su tiempo y sobre todo sus conocimientos, los cuales fueron fundamentales para llevar a cabo la culminación de este trabajo monográfico.

Dedicatoria

Dedicamos nuestra monografía con todo nuestro amor y cariño.

A Dios:

por permitirnos nacer en una familia que nos ama y nos apoya incondicionalmente, por darnos salud, sabiduría, entendimiento y sobre todo por darnos mucha paciencia para no darnos por vencidos en los momentos difíciles y en las adversidades que pasamos en el trayecto de este trabajo.

A nuestros padres:

Por ser el pilar fundamental en nuestras vidas, por ser ellos quien con tanto amor nos han acompañado cada momento de nuestro existir, por darnos educación, por ser siempre nuestro ejemplo de vida, por hacer de nosotros personas de bien, por su confianza, por los sacrificios que han hecho para darnos una vida digna y sobre todo por amarnos tanto.

Resumen

En Nicaragua, el proceso de transformación de la arcilla en productos de artesanías (fundamentalmente), ha tomado un carácter primordial para el desarrollo de comunidades como una de las fuentes de ingreso primario, pues por sus características geográficas, hace que la metamorfosis de la arcilla sea una de las actividades que mayor aporte hace al desarrollo económico de dichas comunidades y por ende al país.

En el municipio de San Juan de Oriente, departamento de Masaya, la arcilla roja (llamada así por su color característico) es la principal materia prima en la elaboración de cerámica artística, debido a que constituye un insumo bastante consistente e importante para dicha actividad.

En el presente trabajo se determinó la influencia de la maduración de la pasta arcillosa elaborada por artesanos sobre la propiedad tecnológica plasticidad.

Para tal fin se realizó el tratamiento de una mezcla de arcilla de 3 yacimientos diferentes de la región de San Juan de Oriente, determinando su distribución de tamaño de partículas, el índice de plasticidad, así como el tipo de suelo y textura al cual pertenece.

Para la realización de éste segmento del trabajo, se contó con la colaboración del Instituto de Geología y Geofísica IGG-CIEGO/UNAN-Managua en una primera instancia y posteriormente, se continuaron los experimentos en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Tecnología de la construcción del Recinto Pedro Arauz Palacios (RUPAP), de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) .

Concluidas las pruebas preliminares, se elaboraron las pastas arcillosa considerando tanto: los tipos de arena (Arrollo y playa del lago Cocibolca) y las proporciones de mezclas que utilizan los artesanos Pedro Guerrero y Francisco y Calero. Seguidamente se procedió a dejar reposar en baldes plásticos oscuros durante 16 días para que la pasta se madurara brindándole seguimiento al proceso tomando una muestras para medir el índice de plasticidad y así determinar la influencia de la maduración en esta propiedad. Por último se realizó la prueba de sensibilidad al secado para determinar el nivel agrietamiento y el grado de contracción de las pasta arcillosa madurada.

Las pastas elaboradas inicialmente presentaron un índice de plasticidad con valor comprendidas en un rango entre 17 y 19, después de 16 días de maduración se alcanzó un índice de plasticidad de 22 y 25 para ambas pastas, presentando un tendencia de esta propiedad a incrementar linealmente en función del tiempo, obteniéndose que las pastas elaboradas con arena de arroyo alcanzó más rápido el valor de plasticidad máximo (25). Al mismo tiempo, se observó que las pastas sufrieron una contracción (entre 7% y 14%) y que éstas sufrieron un leve agrietamiento en la superficie del cuerpo, mas no en el cuerpo del bloque que se secó

Así una vez concluidas todas las pruebas, y recopilados todos los datos se obtuvieron los resultados que se presentan a lo largo de este trabajo.

I. Introducción

Nicaragua posee, dentro de la región Centroamericana, la más grande y exitosa variedad de artesanías. Cada departamento del país se caracteriza por algún estilo, material, diseño y técnica en particular que es representativo de algún pueblo o ciudad¹ (Img, 2009)

En el departamento de Masaya se encuentra el municipio de San Juan de Oriente, ubicado a 41Km al sur de 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 (una mezcla empírica 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.

El proceso para la elaboración de un producto cerámico involucra las siguientes etapas básicas: preparación de la pasta arcillosa, elaboración de la pieza, secado y cocción de la misma. Sin embargo, la elaboración de una pasta arcillosa homogénea, podría contribuir a que las piezas elaboradas al final del proceso tengan características similares entre sí y por tanto la misma calidad.

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, basándose en la experiencia y conocimiento que se les haya heredado de acuerdo a la formulación que utilizan y no de forma homogenizada. Esto provoca pérdidas en las piezas ya que éstas se agrietan y se quiebran durante los procesos de secado y cocción, lo que significa pérdidas económicas para los artesanos, y un deterioro al medio ambiente, debido al uso inadecuado de la arcilla usada para elaborar las piezas.

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 las propiedades tecnológicas de la pasta y de las etapas de su proceso de elaboración de manera que se aproxime lo más posible a los parámetros con los que se trabaja internacionalmente.

¹ 19 de Enero de 2009. Yalpri Img, nota paraturismocompatible.blogspot.com

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, tiene como fin determinar el comportamiento de la plasticidad para la pasta arcillosa madurada de forma natural, así como evaluarla mediante la sensibilidad al secado, elaborada para la producción de cerámica artística en San Juan de Oriente.

II. Objetivos

2.1 Objetivo General

Determinar el comportamiento de la propiedad tecnológica (índice de plasticidad) durante la etapa de maduración del proceso productivo de pasta arcillosa para la elaboración de cerámica artística

2.2 Objetivos Específicos

- Elaborar mezclas de pasta arcillosa, con arena de playa y arena de arroyo en base a las proporciones con que son elaboradas por productores de San Juan de Oriente.
- Determinar el tiempo de maduración de la pasta arcillosa, así como la variación del índice de plasticidad para las pastas elaboradas con arena de playa y de arroyo durante el proceso.
- Evaluar las propiedades tecnológicas y la sensibilidad al secado de las pastas maduras con respecto a características técnicas de Cerámica Collet S.A..

III. Marco teórico

3.1 Arcilla

Las arcillas son rocas o materiales terrosos formados principalmente por silicatos aluminicos con materia coloidal y trozos de fragmentos de rocas, que generalmente se hacen plásticas cuando están húmedas y pétreas por la acción del fuego. La fabricación tiene su fundamento en la plasticidad o capacidad de moldear por deformación plástica que tienen las arcillas según su contenido de agua. Una vez conformadas las piezas, por desecación y cocción se producen las transformaciones irreversibles que le dan carácter pétreo (se vuelve sólido, parecido a una piedra).

Estas propiedades dan a las arcillas su utilidad, puesto que se les puede moldear en casi todas las formas, las cuales conservan después de ser sometidas a la acción del fuego. La arcilla tiene muchos otros usos además de la cerámica, principalmente en la construcción y fabricación.

Las arcillas son de origen secundario, es decir que se han formado en la naturaleza por la meteorización y la erosión físico-química de las rocas ígneas causada por el agua, el CO₂ y los ácidos inorgánicos.

Están constituidas esencialmente por aluminosilicatos hidratados con una estructura laminar o de capas, acompañados de otros minerales denominados “accesorios” entre los que podemos citar cuarzo, calcita, óxidos y sulfuros de hierro, yeso, rutilo (TiO₂), ilmenita (FeTiO₃), dolomita, álcalis (que se derivan principalmente de las micas y feldespatos, aunque parte se debe al intercambio catiónico de las propias arcillas), materia orgánica, etc.

Por lo general, las arcillas son mineralógicamente filosilicatos o silicatos laminares de tamaño de grano muy fino y morfología laminar lo que les confiere un elevado valor de superficie específica y por lo tanto una amplia superficie de reacción fisicoquímica que facilita su interacción con multitud de sustancias en especial con compuestos polares como el agua. De ello se derivan sus propiedades plásticas y reológicas y su capacidad de cambio catiónico. Este conjunto de propiedades hace que las arcillas tengan muchas aplicaciones industriales en los campos de la cerámica, los absorbentes y el petróleo. (Trujillo et al, 2011)

3.2 Propiedades físicas de la arcilla

3.2.1 Humedad

Es la cantidad de agua contenida en los poros. La capacidad de absorción de la arcilla está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad); se dan dos tipos de procesos: absorción (cuando se trata de procesos físicos como la retención por capilaridad) esta es mayor del 100% con respecto al peso, y la adsorción cuando existe una interacción química entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y el líquido denominado adsorbato. Cuando el contenido de humedad aumenta, las partículas de suelo se orientan bajo el efecto de una presión, siendo la tensión de las láminas de agua que mantienen juntas y orientadas las partículas, modificando así la erosión y la plasticidad.²

3.2.2 Densidad

Es la relación del peso por unidad de volumen. La máxima densidad de un suelo se obtiene si los espacios entre partículas de un diámetro determinado se rellenan con partículas de diámetro menor. Cuanto más denso es un suelo más sólido es el mismo, pero existen arcillas densas con hinchamiento las cuales para el estado de saturación pierden la solidez y su resistencia a la erosión. El peso específico de los suelos cohesivos entre pequeños límites promedios de 2.60 a 2.75 gr/cm³ por lo tanto no influye en la erosión. La densidad de la arcilla seca oscila en un rango de 1,200 a 2,100 kg/m³ aproximadamente³.

3.2.3 Composición Granulométrica - Tamaño de Partícula

El tamizado se emplea para obtener las fracciones correspondientes a los tamaños mayores del suelo; generalmente se llega así hasta el tamaño correspondiente a la malla del tamiz N° 200 (0.074 mm). Posteriormente se realiza la medición de las partículas más finas usando el método del hidrómetro establecido por Golshmidt y Bouyoucos. El hidrómetro está fabricado en cristal y consta de un tallo que contiene una escala numerada y de un bulbo, en cuya parte inferior se encuentra un lastre. El hidrómetro de Bouyoucos no es más que un densímetro al cual se ha colocado una escala capaz de medir gramos de suelo en suspensión. Este método requiere el uso de reactivos como agentes dispersantes (hexametafosfato de sodio) y antiespumantes (alcohol amílico).

²Harmer E. Davis. The testing and inspection of engineering materials. McGraw-Hill Civil Engineering Series. Tercera edición. 1964

³ Lambert T. William, Whitman Robert U. Mecánica de Suelos, 1987.

La textura del suelo está determinada por la proporción en la que se encuentran en una determinada muestra de suelo las partículas elementales de varias dimensiones que lo conforman, estas se grafica en el llamado Triangulo de Texturas⁴ ver figura 3.1, así mismo los suelos se clasifican por medio del Sistema de Clasificación de Suelo Unificado (en inglés USCS) para describir textura y tamaño de partícula del suelo directamente relacionado con el Limite Liquido. El USCS tiene tres grupos de clasificación mayores:⁵

1. Suelos de grano grueso (arenas y gravas)
2. Suelos de grano fino (limos y arcillas)
3. Suelos altamente orgánicos (referidos como lodo, fango, etc)

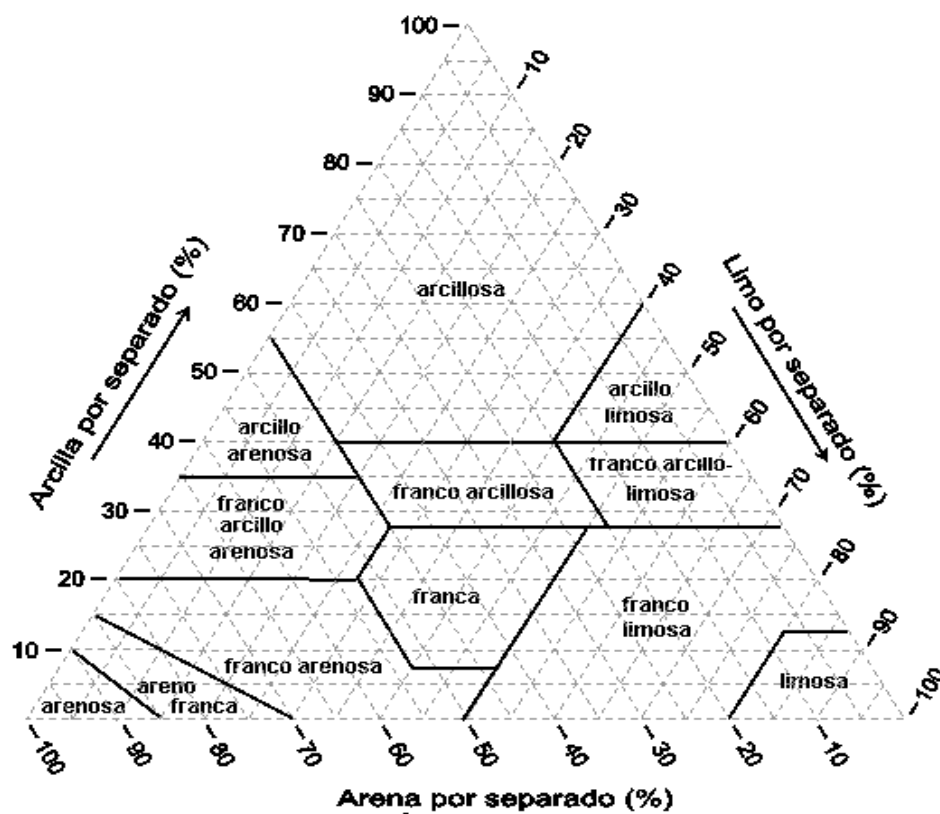


Figura 3.1 Triángulo de Texturas

⁴⁻⁵ T.J. Marshall, J.W. Colmes y C.W. Rose, 1996, Soil Physics, Editorial Cambridge. Third Edition

3.3 Propiedades tecnológicas de la arcilla

Las propiedades tecnológicas de mayor relevancia para el presente estudio son:

3.3.1 Límite Líquido

Es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico. Indica también si el suelo contiene humedad suficiente para superar la fricción y cohesión interna. A este nivel de contenido de humedad el suelo está en el vértice de cambiar su comportamiento al de un fluido viscoso. En los granos gruesos de los suelos, las fuerzas de gravitación predominan fuertemente sobre cualquiera otra fuerza; por ello, todas las partículas gruesas tienen un comportamiento similar. En los suelos de granos muy finos, sin embargo, fuerzas de otros tipos ejercen acción importantísima; ello es debido a que en estos granos, la relación de área a volumen alcanza valores de consideración y, fuerzas electromagnéticas desarrolladas en la superficie de los compuestos minerales, cobran significación. En general, se estima que esta actividad en la superficie de la partícula individual es fundamental para tamaños menores que dos micras (0.002 mm)⁶ (Marshall et al, 1996).

Por el valor numérico el límite líquido⁷ se clasifica como sigue:

Baja: LL < 30
Media: 30 < LL < 50
Alta: LL > 50

Además este se encuentra graficado en la Carta de Plasticidad en la figura 3.2 y el suelo se define por su ubicación dentro de la carta.

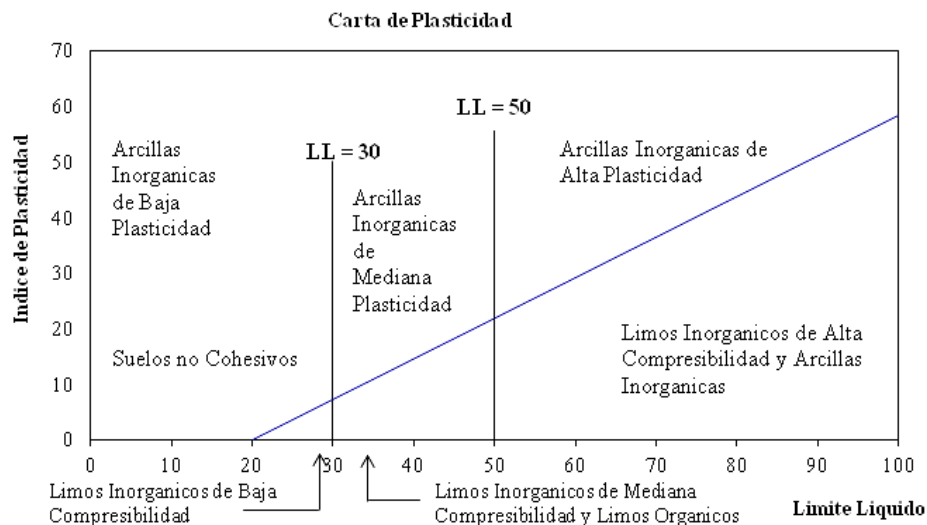


Figura 3.2 Carta de Plasticidad

⁶T.J. Marshall, J.W. Colmes y C.W. Rose, 1996, Soil Physics, Editorial Cambridge. Third Edition

⁷ <http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/uscsM2.htm>

3.3.2 Límite Plástico

La frontera convencional entre los estados semisólido y plástico de un suelo, se llama límite plástico, su valor esta dado por el contenido de humedad que tiene la arcilla en tal estado límite. Es la propiedad que presenta la arcilla de modelarse, estirarse o comprimirse hasta cierto límite sin romperse.

3.3.3 Índice de Plasticidad

La plasticidad es la propiedad de un material, por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse. Esta es una de las propiedades más marcadas de la arcilla, la cual al humedecerse bajo el efecto de una acción exterior toma la forma deseable sin que aparezcan interrupciones ni grietas, y conservar la forma adquirida durante el secado y la cocción. Esto se debe al contenido de partículas finas que ejercen una influencia importante en la compresibilidad del suelo, mientras que el pequeño tamaño propio de esas partículas hace que la permeabilidad del conjunto sea muy baja. La plasticidad no es una propiedad permanente de las arcillas, sino circunstancial y depende de su contenido de agua⁸ (Lambert et al, 1987).

El índice técnico de la plasticidad se evalúa por el número de la plasticidad, que es una medida cuantitativa, el cual refleja la diferencia numérica entre el límite plástico del suelo y el límite líquido, es decir presenta la diferencia entre las humedades de la arcilla en el límite inferior de fluidez y en el límite de plasticidad. Permite medir la capacidad de compresión y la cohesión del suelo. Los valores menores de 10 indican baja plasticidad, y valores cercanos a los 20 señalan suelos muy plásticos⁹.

3.5 Materiales Cerámicos

Son materiales de carácter inorgánico que se ha obtenido de una materia prima mineral, no metálica, que han sido moldeados en frío y que han sido consolidados de modo irreversible por la acción de la temperatura mediante una cocción. Según esta definición entran dentro de los materiales cerámicos los materiales inorgánicos no metálicos obtenidos por fusión, como los vidrios, refractarios electro fundidos y ligantes hidráulicos.

El parámetro que diferencia los materiales cerámicos de los metales y polímeros orgánicos es el tipo de enlace químico, es decir la estructura electrónica. Los materiales cerámicos presentan enlaces iónicos y covalentes, los polímeros orgánicos presentan enlaces covalentes y los metales presentan enlace metálico.

⁸ Lambert T. William, Whitman Robert U. Mecánica de Suelos, 1987.

⁹ <http://www.monografias.com/trabajos15/suelos-consistencia/suelos-consistencia.shtml>

Así como los metales presentan estructura cristalina y los polímeros orgánicos estructura amorfa, los productos cerámicos suelen estar constituidos de fase amorfa y/o cristalina.

Los materiales cerámicos tradicionales se fabrican a elevadas temperaturas. En estos materiales, por lo menos uno de los componentes permanece sólido. En la cocción se presenta una mayor o menor cantidad de fase vítrea según se produzca la fusión de uno o varios componentes. Si la temperatura es tal que lleva a la fusión de todos los componentes, el proceso se denomina de fritado. Los materiales cerámicos presentan generalmente una estructura más o menos porosa, dependiendo del tipo de producto y de la técnica de fabricación. A causa de esta estructura, algunos productos cerámicos deben recubrirse de un revestimiento vítreo impermeable, ya sea por exigencias prácticas o por estéticas y decorativas. (Trujillo et al, 2011)

3.6 Proceso Productivo de la Cerámica Artesanal

Dependiendo del lugar de procedencia de las piezas de cerámica artística, así es su proceso de elaboración ya que depende de las enseñanzas que los artesanos han adquirido de sus padres y abuelos, pero por lo general siguen los mismos pasos del proceso.

Para poder hablar sobre la elaboración de la pieza es necesario antes saber, de dónde proviene la materia prima que se utiliza para el proceso.

3.6.1 Obtención de la Pasta Arcillosa

De manera general se distinguen estas etapas¹⁰ (García et al 2007):

- **Extracción del banco de materiales:** La materia prima principal que se utiliza es arcilla, que se extrae de los bancos de materiales que se encuentran en la zona. Se extrae únicamente la materia prima del lugar ya sea cavando con pico y palas unos pocos metros o fuera de la corteza.
- **Secado Solar y Limpieza:** La arcilla extraída del banco de materiales se deja al aire libre por un periodo promedio aproximado de una semana debido a la humedad presente en ésta al ser extraída, se deja expuesto a la luz solar durante el día para eliminar la humedad que tiene al ser extraída y tapada con plástico por las noches para protegerla de cualquier ocurrencia. Al mismo tiempo del secado se realiza la limpieza, por medio de golpes con un mazo o martillo para fragmentar los terrones, y eliminar los agregados e impurezas como piedras y raíces.

¹⁰García D., González E., 2007, Diagnostico Tecnológico del Proceso de Elaboración de Pasta Arcillosa para la Producción de Cerámica Artística en el Municipio de San Juan de Oriente

- **Mezclado:** La arcilla seca y limpia se mezcla previamente en seco con arena y luego se le agrega agua en las proporciones ya definidas para cada materia prima, con la ayuda de un tanque mezclado horizontal que facilita obtener una mezcla homogénea; el mezclado es detenido hasta que la pasta obtenga la consistencia “necesaria”, definida por la experiencia del mismo productor.
- **Extrusión:** La pasta es pasada a la amasadora, este proceso tiene como fin eliminar las burbujas de aire internas, homogenizar mucho más la pasta y darle la consistencia deseada, determinada por la experiencia del artesano tocando la mezcla hasta que la textura se sienta lisa en la palma de la mano.
- **Evaporación de la pasta:** La pasta se seca por evaporación, en la amasadora de arcilla, efectuando el precalentamiento de la pasta con vapor a temperaturas entre 50 y 80 °C, en la cámara de vacío se elimina en parte el aire y vapor de agua de la masa, logrando un volumen de aire en la masa entre el 3 y el 5 %.
- **Maduración o Almacenamiento Anaeróbico:** La pasta arcillosa se deja reposar entre dos y cuatro semanas depositándose en gruesas bolsas de plástico dobles en un cuarto oscuro sin corrientes de aire para que conserve el punto exacto de humedad que se requiere al momento de moldearla.

3.6.2 Elaboración de la Pieza

Una vez obtenida la pasta, se procede a elaborar la pieza mediante los siguientes pasos:

- **Modelado**

1. A mano: Las vasijas más sencillas se hacen ahuecando el centro de una bola de arcilla y dándole forma entre el pulgar y los dedos. Esta técnica se suele usar sólo para hacer pequeñas vasijas redondeadas o como técnica secundaria para realizar elementos adicionales que se añaden a la pieza elaborada.

También se pueden juntar tiras planas de arcilla apretando o pinchando los bordes. Aunque es más adecuada para hacer vasijas rectangulares, con esta técnica se pueden fabricar vasijas circulares. También se pueden hacer vasijas uniendo series de rollos como si fuesen anillos o formando una espiral continua.

Una vez la vasija ha alcanzado cierto tamaño es necesario moverla. Se la puede colocar sobre un soporte móvil, como una estera, o una base fija hecha especialmente para la fabricación de cerámica.

2. En el torno: El torno más sencillo, también denominado torno de manubrio o rueda simple, es un sencillo volante que gira sobre un pivote central. La superficie más elevada tiene una pequeña depresión en un punto cerca del perímetro; en esta oquedad se inserta un manubrio, con ayuda del cual se inicia la rotación del torno o se le acelera cuando ésta disminuye.

El torno tipo pozo está compuesto por dos volantes unidos a un largo eje central y sostenidos por una agarradera abajo y un soporte arriba. El disco inferior es más grande y pesado y es el que mantiene el impulso aplicado por la persona que imprime el movimiento de rotación con el pie.

- **Tratamiento de la Superficie**

Las operaciones de desbarbado y raspado sirven para alisar las irregularidades que deja la fabricación con anillos o tiras de barro, así como para unir las distintas partes, pero al mismo tiempo alteran la apariencia de la vasija.

Uno de los tratamientos de la superficie más comunes es el bruñido, que consiste en frotar la vasija con un guijarro liso o con alguna otra herramienta para que la superficie se vuelva compacta y quede una serie de facetas y cierto lustre sobre la superficie. Hay otros tipos de decoración de la superficie. Muchos de ellos implican la necesidad de horadar, comprimir o cortar la superficie de la pieza con una herramienta.

- **Secado**

La pieza ya acabada se pasa a la etapa de secado, con el fin de eliminar el agua acumulada junto a las partículas de arcilla. Este proceso se puede llevar a cabo al aire libre o en cobertizos calentados especialmente.

Durante el secado la pieza se encogerá, lo que causa una presión que puede acabar en grietas. La forma y posición de estas grietas refleja en cierto modo los procedimientos empleados en la manufactura de la vasija; uno de los ejemplos más frecuentes es la grieta en forma de S en la base de las vasijas hechas a torno.

El proceso de secado concentra también las sales disueltas y las partículas finas de arcilla en la superficie debido al movimiento del agua a través de la pared. Es importante distinguir esto de los efectos producidos por los engobes, las pinturas y otros tratamientos de la superficie.

- **Cocción**

El propósito de la cocción es transformar los minerales de arcilla en un material nuevo, la cerámica. En algunas arcillas los cambios se producen al alcanzar los 550-600°C. La cerámica que no alcanza esta temperatura durante la cocción suele desintegrarse cuando se le sumerge en agua.

Existen 2 tipos de cocción:

1. La cocción abierta, también denominada cocción en montón o en hoguera, en la que las piezas y el combustible entran en contacto directo y se amontonan sobre el suelo o en un hoyo excavado en el terreno.

El método habitual consiste en amontonar las piezas sobre una capa de combustible además de mezclarlo dentro y alrededor de la cerámica, cubriendo incluso todo el montón con más combustible y/o con una capa de fragmentos de cerámica procedentes de cocciones anteriores. Se prende el combustible y se quema todo. Puede que la característica más notable de la cocción abierta sea el rápido incremento de la temperatura desde el primer momento y su corta duración.

La temperatura tarda unos pocos minutos en alcanzar su intensidad máxima; al cabo de poco rato se pueden retirar las piezas ya cocidas.

El más simple de los fuegos abiertos únicamente permite la cocción de un número reducido de piezas, tal vez sólo una o dos, en un hoyo excavado en el suelo. Una vez retiradas estas, la ceniza que queda se puede emplear como fertilizante.

2. La cocción en horno, en la que la cerámica y el carburante están separados; la vasija suele estar en una cámara calentada por los gases calientes y las llamas del combustible.

Se pueden utilizar hornos domésticos, como los empleados para el pan, para cocer cerámica, aunque es más frecuente construir una estructura especial. La cocción en horno tiene como característica principal que la combustión se produce en un espacio distinto al lugar en que se depositan los recipientes a cocer, pero ambos están en comunicación. Esta cocción, a altas temperaturas, es más regular y evita fracturas por cambios fuertes de temperatura.

- **Técnicas de decoración.**

1. Se utilizan para adornar la pieza, y pueden utilizarse uno de los siguientes métodos:
2. Impresión: se aplica un objeto duro sobre la superficie aún blanda de la arcilla. Objetos para la impresión: cestería, dedos, uñas, conchas, punzones, etc.
3. Incisión: Se aplica un objeto sobre el recipiente y se desplaza o arrastra por éste. El perfil de las incisiones suele ser en “uve” o “u”(acanaladas)
4. Esgrafiado: incisión poco profunda que se realiza cuando el recipiente está seco, incluso cocido.
5. Escisión: decoración con zonas en altorrelieve (motivo) y otras en bajorrelieve (negativo del motivo como consecuencia de la extracción de material.
6. Plástica: aplicación sobre la superficie de la cerámica de mamelones, cordones, conchas, piedras, buscando una decoración.
7. Pintado: los motivos decorativos se realizan con algún tipo de pigmento.

Todas estas técnicas también se pueden combinar entre sí.

3.7 Maduración de la Pasta Arcillosa

Este método se basa en el almacenaje de la pasta arcillosa bajo diferentes condiciones de temperatura y humedad, y tiene como propósito incrementar la plasticidad de la pasta, logrando una mejor manejabilidad de la misma, permitiendo un moldeo con aplicación limitada de una fuerza de extrusión y obteniendo propiedades de moldeo adecuadas bajando el contenido de humedad.

Weiss (1963) reportó que el proceso de añejamiento provoca la maduración de la pasta debido a la delaminación de partículas de kaolinita, que previamente estaban intercaladas con iones de amonio, que según el autor se originaban de excreciones urinarias de bovinos, lo que posiblemente provocaba la formación de productos metabólicos de microbios, los cuales se pensaban que influían en la plasticidad.¹¹

^{11y 13}Kerstin Petrick, 2011. How does mineralogy control the technical properties of paper kaolins and ceramic clays? Baden-Baden, Alemania.

Hasta ahora el papel de los microorganismos en el proceso de añejamiento no se entiende por completo, pero es tema de varias investigaciones (Menger-Krug et al., 2008; Petrick et al., 2008; Gaidzinski et al., 2009)¹² (Petrick, 2011).

El término de maduración también se aplica al contexto de almacenar pasta arcillosa en una suspensión de diferentes soluciones salinas (Sánchez et al., 2002). Los autores observaron un aumento en la plasticidad cuando mayor es el tiempo de maduración y concluyeron que los cambios en la plasticidad son el resultado de modificaciones estructurales causadas por la degradación de minerales en la pasta arcillosa. Sánchez et al (2002), expresan esta degradación en términos de cristalinidad, la cual disminuyó a medida que avanza el añejamiento. Estos resultados concuerdan con Grim (1968), quien observó una relación inversa entre cristalinidad y plasticidad¹³ (Petrick, 2011).

3.8 Sensibilidad al secado

La etapa de secado tiene como fin la conducción de energía hasta el producto que se desea desecar, con mínimas pérdidas y en los plazos de tiempo más cortos que garanticen su integridad.

El secado de la pasta arcillosa presenta 2 fases marcadas:

1. Una primera fase en la que la velocidad de secado es de manera constante y,
2. La segunda fase que presenta una velocidad de secado decreciente.

A medida que la arcilla va perdiendo humedad, la retracción cesará tan pronto como las partículas del material dejen de moverse al colisionar por la acción de los esfuerzos capilares. No obstante, en la arcilla sigue habiendo agua que llena los capilares y los poros. El nombre técnico de esta agua es “agua intersticial”, a distinción de la eliminada en el proceso de contracción denominada “agua de retracción”.

Una vez cesada la retracción, el nivel de evaporación comienza a desplazarse gradualmente hacia el interior del objeto y la superficie de este se clarifica. El agua es eliminada por difusión interna y las capas solvatadas comienzan a desecarse.

¹³Kerstin Petrick, 2011. How does mineralogy control the technical properties of paper kaolins and ceramic clays? Baden-Baden, Alemania.

Lo más correcto es relacionar la retracción con el volumen de la pasta arcillosa desecada y sin poros. El volumen de agua eliminado durante este periodo es igual al volumen de tracción, es decir el volumen en que se contrajo el objeto. En la pasta queda, no obstante, cierto volumen de agua intersticial que será eliminado durante el secado posterior, momento en el cual la pasta ya no presentará retracción alguna¹⁴ (Avgustinik 1983).

¹⁴A.I Avgustinik, Cerámica, Reverte, 1983

IV. Metodología

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.

La materia prima se obtiene de bancos distintos de arcilla, sin embargo, hay pequeñas empresas que mezclan el material arcilloso de los bancos para obtener arcilla pulverizada, la cual se utilizó como materia prima a ser mezclada con arena y agua para la elaboración de las pastas arcillosa estudiadas, aplicando la técnicas análisis y procedimientos detallados en los siguientes acápite.

4.1 Elaboración de la mezcla para la elaboración de la pasta arcillosa

La preparación de la pasta arcillosa se realizó partiendo de las experiencias de los artesanos. Tomando como referencia la pasta arcillosa elaborada por el productor (Francisco Calero) y proveedor de este producto a los productores de San Juan de Oriente, así como los resultados obtenidos y recomendaciones orientadas en el estudio realizado por González y García 2010, los cuales oscilan en los rangos siguientes: material arcilloso (22.57 - 34.10% en peso), limo (13.04 - 22.07% en peso), arena (19.5 - 22.01% en peso) y agua (30.49 - 35.05% en peso), 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:

4.2 Determinación de las propiedades físicas y tecnológicas de la arcilla pulverizada

La determinación de la distribución de tamaño de partícula de la arcilla pulverizada, se realizó en el Centro de Investigación de Geología (CIGEO-UNAN), haciendo uso del método de tamizado según la norma ASTM D 422 – 63 1998, para determinar el contenido de arcilla, limo y arena. De igual manera para partículas menores a 0.074 mm se empleó el método de sedimentación según la norma ASTM D-422. Este método requiere el uso de un hidrómetro de Bouyucos, hexametafosfato (agente dispersante) para separar partículas de arcilla y limo.

4.2.1 Índice de plasticidad

Para encontrar el índice de plasticidad de la arcilla pulverizada se utilizó el método de los límites de Atterberg: Este 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, donde se encontrará la plasticidad de la pasta elaborada.

Los procedimientos establecidos para la determinación esta propiedad tecnológica de la pasta se describen a continuación:

Determinación del Límite Líquido: Se emplea la norma ASTM D 4318 – 00, en la cual se miden los límites de humedad de la pasta elaborada a partir de los límites de Atterberg que definen tanto la plasticidad como la identificación y su respectiva clasificación.

Procedimiento:

- Se toman 100 g del material arcilloso pulverizado que pasa por el tamiz N° 40 y se coloca en una capsula de porcelana, donde se usa una espátula para mezclarla hasta obtener una pasta homogénea y de consistencia suave, durante esta etapa se agrega una pequeña cantidad de agua para evitar que la arcilla se seque.
- Seguidamente se toma un poco de esta mezcla con la espátula y se coloca en la copa de Casagrande, formando una torta alisada de un espesor de 1 cm en la parte de máxima profundidad de la copa.
- El material colocado en la copa de Casagrande se divide en la parte media en dos porciones, utilizando para ello un ranurador.
- Una vez obtenida la ranura sobre el material se acciona la copa a razón de dos golpes por segundo, contando el número de golpes necesarios para que la parte inferior del talud de la ranura se cierre precisamente a 1.27cm.
- Obtenido un valor consistente del número de golpes, se toman aproximadamente 10 g del material de la zona próxima a la ranura cerrada y se determina el contenido de agua de inmediato.
- Se unen los dos puntos marcados para el intervalo obtenido en el experimento con una recta y se señala el punto medio. Se repite para los dos o tres puntos dentro del intervalo.

- Se conectan los dos puntos medios con una línea recta que se llama curva de fluidez. El contenido de humedad indicado por la intercepción de esta línea con la del número de golpes es el límite líquido del suelo.

Determinación del Límite Plástico: Para la determinación del límite plástico del suelo, se hace uso del material que ha sobrado de la prueba del límite líquido mezclado con agua, el procedimiento utilizado se describe a continuación:

- Se toman 1.5 g de la muestra y se evapora la humedad por medio de calor, generado por la fricción que resulta de amasar la muestra entre las manos, hasta lograr una mezcla plástica fácilmente moldeable.
- Se forma una pequeña bola y se roda en una placa de vidrio aplicando la suficiente presión a efecto de formar filamentos.
- Cuando el diámetro del filamento resultante fue de 3.17 mm sin romperse, se juntó la muestra de nuevo en forma de bola y se volvió a rodar.
- Cuando al rodillar la bola se rompa el filamento al diámetro de 3.17mm, se toman los pedacitos, se pesan, se secan al horno, se vuelven a pesar ya secos y se determina la humedad correspondiente al límite plástico.

Por último, se hace uso de la carta de plasticidad, desarrollada por Casagrande, para determinar la plasticidad de las arcillas o compacidad en limos, de acuerdo con los valores de límite líquido (LL) se puede clasificar en:

Baja:	$LL < 30$
Media:	$30 < LL < 50$
Alta:	$LL > 50$

Las propiedades tecnológicas se le realizaron a las 3 muestras de arcilla pulverizada que se utilizaron para la realización de este trabajo, las cuales se identificaron como se describe en la tabla 4.1

Tabla 4.1 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.

4.3 Determinación granulométrica de la arena

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

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.

4.4 Características del agua

El agua utilizada para la elaboración de la pasta arcillosa es agua potable proveniente del recinto universitario (UNI-RUPAP), esto debido a que por problemas almacenamiento en el laboratorio del RUPAP no se usó el agua propia de San Juan de Oriente, la cual es utilizada por los artesanos para la elaboración de sus mezclas.

4.5 Preparación de la pasta arcillosa

La elaboración de las mezclas de pasta arcillosa no requirieron de maquinaria industrial ni semi-industrial, si no que se elaboraron en cantidades de 500 gr, a nivel de laboratorio

La preparación de la pasta arcillosa, se llevó a cabo en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Tecnología de la Construcción, UNI-RUPAP, ya que cuenta con los equipos necesarios para llevar a cabo los experimentos requeridos para la realización de este trabajo. El mezclado de los materiales se llevo a cabo de manera manual, agregando primeramente 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.

En la tabla 4.2 se muestran las composiciones porcentuales de Arcilla Pulverizada, arena y agua utilizadas para la preparación de las pastas arcillosas analizadas en este estudio, las cuales se denominaron PA, donde PA-1 corresponde a la pasta arcillosa elaborada con arena de arroyo y PA-2 a la elaborada con arena de playa respectivamente.

Tabla 4.2 Composiciones de mezcla para pasta arcillosa

Nombre		Contenido Porcentual (%)		
		AP	Arena	Agua
PA-1	A	45	21	34
	B	47	19	34
	C	49	19	32
PA-2	A	45	22	33
	B	47	19	34
	C	49	20	31

A estas pastas se les determinó el índice de plasticidad inicial siguiendo el procedimiento descrito en el acápite 4.2.

Las mezclas se elaboraron en pares, una de PA-1 con una de PA-2 a la vez, ya que si se elaboraban en un solo momento todas las mezclas, el valor de índice de plasticidad no hubiese sido determinado por falta de tiempo, e iniciarían el proceso de maduración, lo que conllevaría a valores imprecisos de índice de plasticidad inicial y se provocaría un mayor retraso al momento de buscar este valor.

4.6 Maduración de la pasta arcillosa

La maduración de la pasta arcillosa se llevo a cabo durante 16 días. La pasta se colocó en baldes de plástico oscuros y sellados con plásticos para prevenir cualquier pérdida de humedad en la pasta, así como la presencia de algún cuerpo extraño que pudiera provocar alguna alteración en las propiedades de la misma.

4.7 Determinación de la variación de índice de plasticidad

Para determinar la variación del índice de plasticidad, así como establecer un comportamiento definido de esta propiedad, a las pastas expuestas en la tabla 4.2 se les determinó el índice de plasticidad siguiendo los métodos descritos en el acápite 4.2.1 En primera instancia, se les determinó el índice de plasticidad inicial ya que este valor dictaría si la pasta elaborada sería de utilidad para este trabajo.

Las pastas seleccionadas debían de tener un valor que se encontrara en el rango establecido en el acápite 4.1 y serían aquellas que presentaran el menor valor de éste, debido a que la pasta al someterse a la maduración iba a sufrir un aumento del índice de plasticidad. A las pastas que cumplieran con esto se le tomaron muestras, una cada 2 días y se les realizaron las pruebas de índice de plasticidad hasta llegar a la última semana de maduración, siendo la primera muestra la pasta arcillosa cruda, que sirve como punto base de la medida de la plasticidad.

4.8 Determinación del comportamiento del índice de plasticidad de la pasta arcillosa durante la etapa de maduración.

Los valores de índice de plasticidad obtenidos durante las pruebas se graficaron en función del tiempo (días) mediante el uso de la herramienta Excel de Microsoft, obteniendo así una curva que muestra el cambio que ha sufrido esta propiedad a lo largo de los 16 días de maduración, también se realizó un ajuste polinomial acorde al comportamiento de la plasticidad obtenida en los experimentos. Esto se realizó con el fin de definir el comportamiento del índice de plasticidad durante esta etapa del proceso de elaboración de cerámica.

4.9 Determinación de la humedad final de la pasta arcillosa madurada

Para determinar esta humedad se utilizó la norma ASTM D 2216. Esta humedad se calcula indirectamente por la diferencia de pesos entre la masa húmeda de pasta arcillosa después de la maduración y la masa seca de pasta arcillosa después del secado.

$$\%humedadfinal = \frac{m_{humeda} - m_{seca}}{m_{seca}} * 100 \quad \text{ec.4.1}$$

Donde m_{humeda} : masa húmeda de pasta arcillosa después de la maduración;
 m_{seca} : masa seca de pasta arcillosa después del secado.

Esto se determina con el fin de establecer la cantidad de agua presente en las mezclas justo antes de pasar a la etapa de secado.

4.10 Análisis de sensibilidad de secado de la pasta arcillosa madurada

Durante esta etapa, se estudia que tanto se contrae la pasta arcillosa debido al secado. Se mide en términos de volumen de agua que se liberó durante este paso. El procedimiento realizado para la determinación de la contracción de la pasta arcillosa madurada se detalla a continuación.

- Se elaboran moldes de madera con dimensiones de 8cm * 8cm * 3cm, debidamente marcados, y se pesan.
- Los moldes se aceitan, y se rellenan con cada pasta arcillosa correspondiente y se hace presión con ayuda del mazo de madera para asegurar la eliminación de aire presente en la matriz del material.
- Se pesa el molde con la cantidad de pasta arcillosa a secar y se marcan dos diagonales las cuales deben medirse.

- Las muestras se introducen a un horno a temperatura ambiente hasta alcanzarlos 110°C. Una vez alcanzada esta temperatura, se mantienen en el horno por 24 horas hasta que alcanzan un peso constante.
- Los moldes se colocan en un desecador por 5 horas y luego se mide la longitud de cada diagonal.

La contracción estará dada por:

$$C_s = \frac{L_i - L_{fs}}{L_i} * 100$$

ec. 4.2

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.¹⁵

El porcentaje de contracción refleja que tanto se puede esperar que la pieza disminuya su tamaño luego del secado, y como efecto inmediato que tanto se espera que se agriete de forma cualitativa.

4.11 Comparación de resultados con las características técnicas de Collet S.A.

Los resultados de las propiedades de índice de plasticidad, contracción al secado y humedad de las pastas maduras se compararon con los valores establecidos por Cerámica Collet S.A. con el fin de observar si existe similitud entre las pastas elaboradas industrialmente y las elaboradas de manera artesanal.

¹⁵García D., González E., 2007, Diagnostico Tecnológico del Proceso de Elaboración de Pasta Arcillosa para la Producción de Cerámica Artística en el Municipio de San Juan de Oriente

V. Discusión de los resultados

5.1 Aspectos generales

Las muestras obtenidas de arcilla pulverizada y arena para la realización de este trabajo fueron brindadas por los artesanos Francisco Calero y Pedro Guerrero, los productores con los cuales se tuvo comunicación y brindaron su apoyo a esta investigación. El material utilizado por los productores antes mencionados es: arcilla pulverizada, arena de playa del lago Cocibolca y arena de arroyo de riachuelos que cruzan San Juan de Oriente.

La arcilla pulverizada usada como materia prima para la elaboración de pasta arcillosa en la producción de cerámica artística en el Municipio de San Juan de Oriente, es una mezcla de 3 arcillas proveniente de los bancos de materiales arcillosos ubicados en terrenos cuyos propietarios son: Enrique Gutiérrez, José Gutiérrez y Zacarías Espinoza, las cuales son pulverizadas en un molino de martillos y mezcladas manualmente en la casa-taller propiedad del artesano Francisco Calero.

Para la elaboración de piezas de cerámica artística, el artesano Francisco Calero utiliza una mezcla de arcilla pulverizada, agua y arena de playa obteniendo así una pasta arcillosa la cual utiliza para consumo propio y para vender a otros artesanos. Por otro lado, el artesano Pedro Guerrero, hace uso de esta pasta arcillosa para producir sus piezas cerámicas, pero este último agrega arena de arroyo a la mezcla que compra, ya que según su experiencia, es necesaria arena con partículas de arena un poco más grande para obtener la consistencia correcta para la pasta. Sin embargo, en este estudio se trabajó con pastas arcillosas elaboradas con arena de arroyo sin la presencia de arena de playa.

5.2 Propiedades de la arcilla pulverizada

En la tabla 5.1 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.

Tabla 5.1 Características físicas e índice de plasticidad de la mezcla AP - 1.

1.- Material : Mezcla de Arcilla			
2.- Propiedades Físicas			
2.1.- Gravedad Específica		2.47 gr/cm ³	
2.2.- Composición Granulométrica			
Según Escala de Atterberg.			
Grupo	Partículas	Limites de las dimensiones	Contenido Porcentual (%)
I	Arena Gruesa	2.0-0.2 mm	0
II	Arena Fina	0.2-0.02 mm	12
III	Limo	0.02-0.002 mm	51
IV	Arcillas	Menores de 0.002 mm	37
2.3.- Clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación – USCS			
Nombre del Grupo		Símbolo del Grupo	
Limo Altamente Compresible		MH	
3.- Propiedades Tecnológicas			
Limite Liquido	Limite Plástico	Índice de Plasticidad	Tipo de arcilla
50	33	17	Muy plástica

Se puede observar que la arcilla pulverizada presenta una composición con una cantidad de material fino (88%) mucho mayor 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 las pasta arcillosa a elaborar, lo que quiere decir que una vez que se mezcle el material arcilloso con la arena, el índice de plasticidad disminuirá.

Como respuesta inmediata a este inconveniente, se realizó una nueva visita a San Juan de Oriente, con el fin de obtener muestras individuales de los distintos bancos de material de los que el artesano Francisco Calero obtiene la arcilla para trabajar. Esto con el fin de determinar si la primer muestra brindada realmente es una representación fiel de la mezcla de los 3 bancos de material, basada en el índice de plasticidad que éstas pueden presentar. Los resultados contenidos en la tabla 5.2 para cada material arcilloso muestran que la plasticidad oscila entre 20 – 25, así como el límite líquido (52 – 58) y el limite plástico (27 – 38). Estos valores llevan a pensar que posiblemente la primera muestra no representaba una mezcla uniforme o incluso completa de los 3 bancos, y probablemente era falta de material fino. Esto, se apoya con el conocimiento de que durante la mezcla artesanal de arcilla y arena, el material más fino es removido del material arcilloso y luego agregado durante la mezcla.

Tabla 5.2 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

En la Figura 5.1 se observa que las muestras de arcilla brindadas por los artesanos, si bien pertenecen a un grupo en específico, se encuentran 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". AP-3 es una nueva mezcla, conformada por las mismas de AP-1 y AP-2, pero con proporciones equivalentes para asegurar, con base en los datos de la tabla 5.2, que el valor del índice de plasticidad de AP-3 sería mayor de 17.

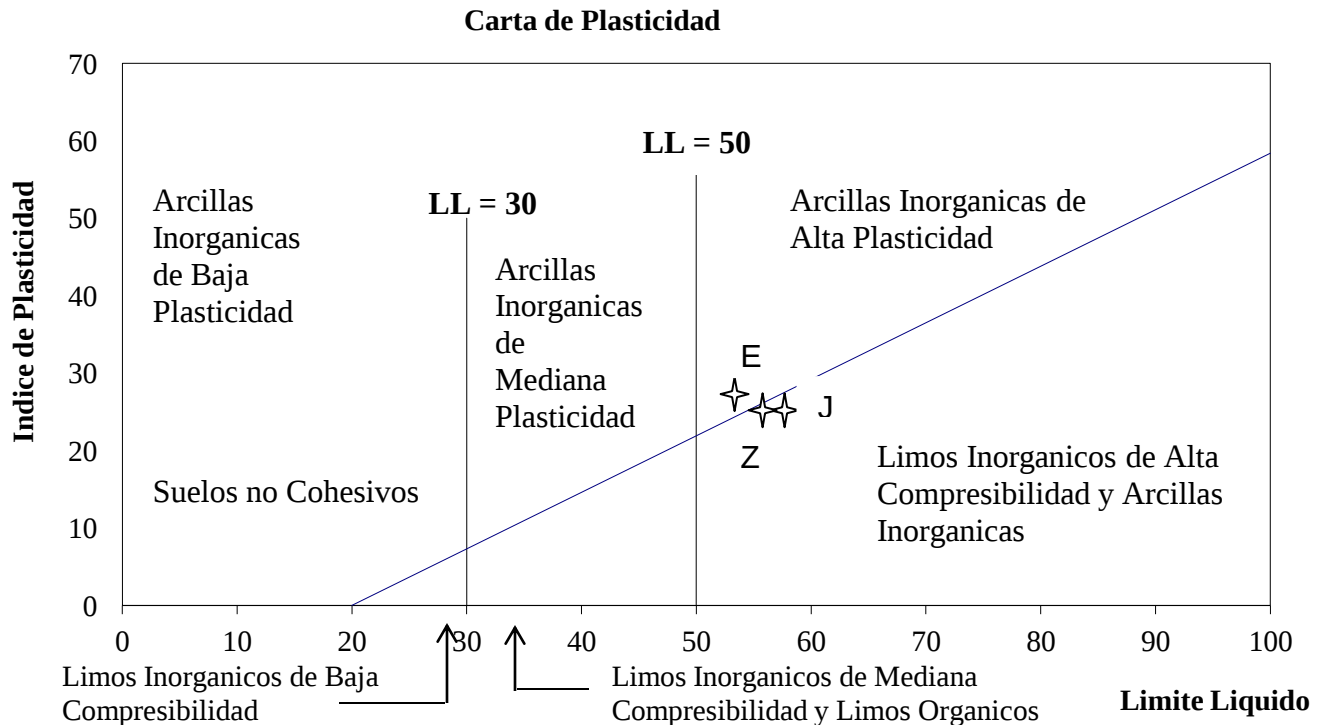


Figura 5.1 Carta de plasticidad para materia prima individual

5.3 Humedad Inicial de los materiales

La humedad inicial de cada materia prima se presenta en la tabla 5.3, observándose que la arcilla tiene una humedad de 6.68% mientras que la arena de arroyo y de playa tienen humedad baja de 0.84% y 0.35 % respectivamente. Comparando ambas arenas, la arena que utiliza el artesano Francisco presenta menor humedad ya que al ser arena de playa, pasa constantemente bajo la luz del sol de manera directa, manteniéndola prácticamente seca todo el tiempo. Cabe recordar que la arena utilizada por Pedro es de arroyo, y a pesar de tener contacto con la luz del sol, ésta no es tan directa ni prolongada y la vegetación permite que la arena no libere agua en la misma cantidad que la arena de playa.

También puede deberse a la porosidad y superficie específica, las cuales pueden permitirle a la arena de arroyo absorber una mayor cantidad de agua. Cabe señalar que las muestras de arena que fueron brindadas ya habían pasado por un proceso de secado previo, realizado por los artesanos que secan la arena para la elaboración de las piezas de cerámica.

Tabla 5.3 Humedad inicial de materiales.

Material	Arcilla Pulverizada	Arena Arroyo	Arena Playa
Peso Húmedo (gr)	100.5	100.52	100.34
Peso Seco (gr)	93.79	99.68	99.99
Peso Seco (%)	93.32	99.16	99.65
Contenido de Agua (%)	6.68	0.84	0.35

5.4 Granulometría de la arena

El análisis granulométrico mostró que la arena de arroyo presenta un contenido de partículas gruesas mayor que la arena de playa (ver tabla 5.4), con una diferencia de 53.31%, indicando que posee partículas de material desengrasante mayores, siendo beneficioso para la elaboración de las pastas arcillosas.

Tabla 5.4 Composición granulométrica¹⁶ de la arena

		Contenido porcentual (%)	
Material según granulometría	Límites de las dimensiones (mm)	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

5.5 Características de las pastas arcillosas elaboradas

Para la elaboración de las mezclas, se tomaron proporciones similares a las encontradas por García et al., elaborando 3 mezclas con cada arena a las cuales se les realizaron las pruebas de índice de plasticidad y así trabajar con la más adecuada.

¹⁶ T.J. Marshall, J.W. Colmes y C.W. Rose, 1996, Soil Physics, Editorial Cambridge. Third Edition

Las composiciones de las pastas arcillosas elaboradas se presentan en las tablas 5.5 y 5.6:

Tabla 5.5 Proporciones de mezcla PA-1

Arena de arroyo						
Nº	Composición Fraccionaria (%)			masa (gr)		
	Arcilla	Arena	Agua	Arcilla	Arena	Agua
1	45	21	34	225	105	170
2	47	19	34	235	95	170
3	49	19	32	245	95	160

Tabla 5.6 Proporciones de mezcla PA-2

Arena de Playa						
Nº	Composición Fraccionaria (%)			masa (gr)		
	Arcilla	Arena	Agua	Arcilla	Arena	Agua
1	45	22	33	225	110	165
2	47	19	34	235	95	170
3	49	20	31	245	100	155

5.5 Índice de Plasticidad

Los índices de plasticidad determinados para cada una de las pastas arcillosas elaboradas (PA-1 y PA-2) se presentan en la tabla 5.7. De acuerdo con los resultados obtenidos por García D. et al, entre más arcilla contiene la mezcla de pasta arcillosa, mayor será el índice de plasticidad que presentará. Debido a esto, se trabajó con proporciones bajas de arcilla para obtener pastas arcillosas con valores bajos de índice de plasticidad (alrededor de 17) para que durante el proceso de maduración éste se incremente hasta el valor presentado por Collet S.A.

Tabla 5.7 Índice de plasticidad inicial de las Pastas arcillosas

Nombre	Nº	LL	LP	IP
PA-1	1	34	16	18
	2	38	18	20
	3	40	18	22
PA-2	1	32	17	15
	2	34	17	17
	3	38	18	20

Los resultados muestran que solamente PA-2.1 presenta un valor de índice de plasticidad (IP) fuera del rango establecido en el acápite 4.1. Aunque este fue el caso, solamente las pasta PA-1.1 y PA-2.2 se eligieron para la realización de este trabajo, ya que presentaban los valores más bajos de índice de plasticidad y permitirían que la maduración se diera durante el período establecido en el acápite 4.6.

La obtención de solamente 1 mezcla apta con cada tipo de arena para la etapa de maduración hizo necesaria la elaboración de réplicas estas mezclas, preparándose en total 3 mezclas con arena de arroyo y 3 mezclas con arena de playa, con sus respectivas composiciones.

Tabla 5.8 Mezclas de pasta arcillosa a madurar

Grupo	Nombre	Composición Porcentual (%)		
		Arcilla	Arena	Agua
PA-1	PA-1A	45	21	34
	PA-1B			
	PA-1C			
PA-2	PA-2A	47	22	31
	PA-2B			
	PA-2C			

5.6 Variación del índice de plasticidad

Las pastas arcillosas maduras durante 16 días, experimentaron un incremento en la plasticidad, lo cual está en correspondencia con lo establecido teóricamente.

5.6.1 Variación del índice de plasticidad de PA-1

En la figura 5.2 Se observa la consistencia de las pastas arcillosas, "PA-1A", corresponde a la primera mezcla elaborada con arena de arroyo, mientras que "PA-1B" y "PA-1C" fueron elaboradas subsecuentemente. En la tabla 5.8 se observa que aunque estas pastas se elaboraron con las mismas proporciones, la mezcla "PA-1B" presentó los valores más altos de índice de plasticidad (IP) durante el proceso de maduración, mientras que las mezclas "PA-1A" y "PA-1C" mostraron índices de plasticidad muy cercanos en los días 0 y 10.

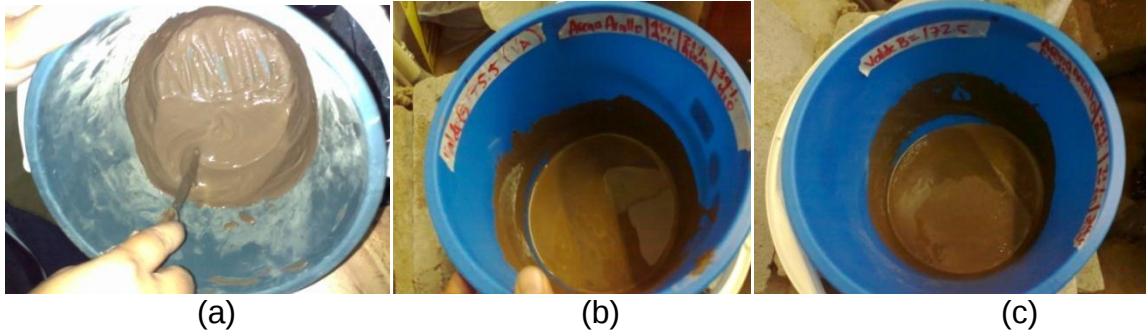


Figura 5.2 Fotografías de las pastas arcillosas elaboradas: (a) Mezcla PA-1A; (b) Mezcla PA-1B; (c) Mezcla PA-1C

Tabla 5.9 Variación del Índice de Plasticidad del grupo PA-1

Días	IP PA-1A	Días	IP PA-1B	Días	IP PA-1C
0	18	0	19.3	0	18
4	19.2	3	20.5	3	19.1
6	20.7	7	21.8	7	20.36
10	21.6	10	22.9	10	21.7
12	22.5	13	23.90	13	22.80
14	23.54	16	25.00	16	23.78
16	24.12				

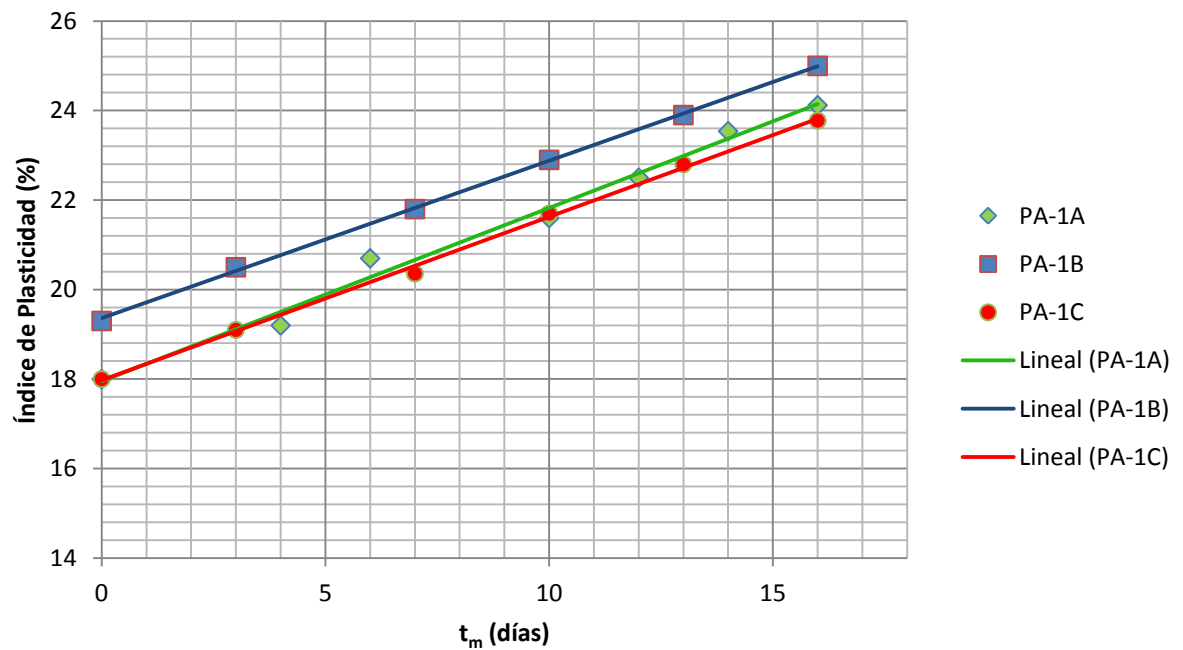


Figura 5.3 Comportamiento del índice de plasticidad durante el proceso de maduración del grupo PA-1.

En la figura 5.3 se puede observar el comportamiento de las mezclas PA-1. Tanto PA-1B como PA-1C presentan comportamientos casi lineales. PA-1A inicia con valores muy similares a los de PA-1C, pero PA-1A sufre una alteración muy marcada a los 6 días de maduración para luego disminuir el ritmo de variación en el índice de plasticidad y continuar (aproximadamente al noveno día) sobre el mismo trayecto que PA-1C, sufriendo nuevamente una alteración a los 14 días.

En la tabla 5.10 se muestran las ecuaciones que se obtuvieron al ajustar los datos experimentales con un polinomio lineal (véase figura 5.3) para las 3 mezclas, así como su coeficiente de correlación que indica la relación existente entre los días de maduración y la variación del índice de plasticidad.

Tabla 5.10 Ecuaciones de las curvas de PA-1

Nombre	Función	r^2
PA-1A	$IP = 0.3868t + 17.954$	0.9880
PA-1B	$IP = 0.3521t + 19.358$	0.9994
PA-1C	$IP = 0.3653t + 17.973$	0.9982

Donde "t" es el tiempo que se ha madurado la mezcla, expresado en días, e "IP" es el valor del índice de plasticidad habiendo pasado ese tiempo.

Con los valores presentados en la tabla 5.10, se puede observar que la mezcla que presenta un comportamiento más lineal para el grupo PA-1 es PA-1B.

5.6.2 Variación del índice de plasticidad de PA-2

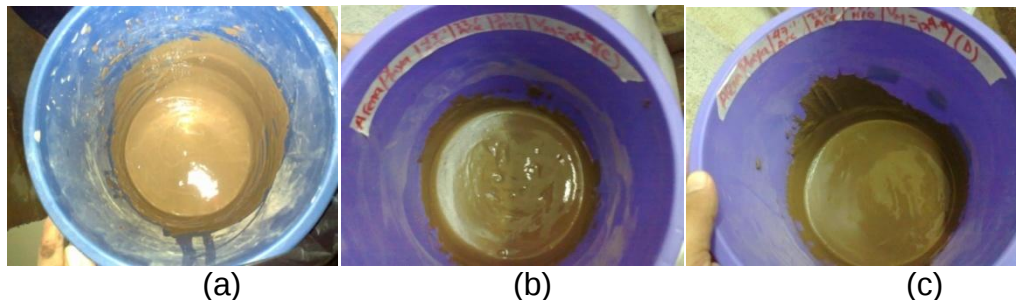


Figura 5.4 Fotografías de las pastas arcillosas elaboradas: (a) Mezcla PA-1A; (b) Mezcla PA-1B; (c) Mezcla PA-1C

Tabla 5.11 Índice Variación del Índice de Plasticidad del grupo PA-2.

Dias	IP	Dias	IP	Dias	IP
	PA-2A		PA-2B		PA-2C
0	17.20	0	17.70	0	17.10
4	18.20	3	18.80	3	18.00
6	19.00	7	20.40	7	19.30
10	20.30	10	21.00	10	21.00
12	20.87	13	22.00	13	21.80
14	21.65	16	23.21	16	22.90
16	22.20				

Al igual que con la mezcla "PA-1A", "PA-2A" corresponde a la primer mezcla elaborada con arena de playa, mientras que "PA-2B" y "PA-2C" fueron elaboradas subsecuentemente.

En la tabla 5.9 se puede observar que las mezclas presentan valores muy parecidos de índice de plasticidad a lo largo del período de maduración, sufriendo pequeñas variaciones en el mismo; en todo el período de maduración sólo las mezclas " PA-2B" y " PA-2C" presentaron un valor idéntico, fue en el día 10, con un valor de índice de plasticidad de 21.

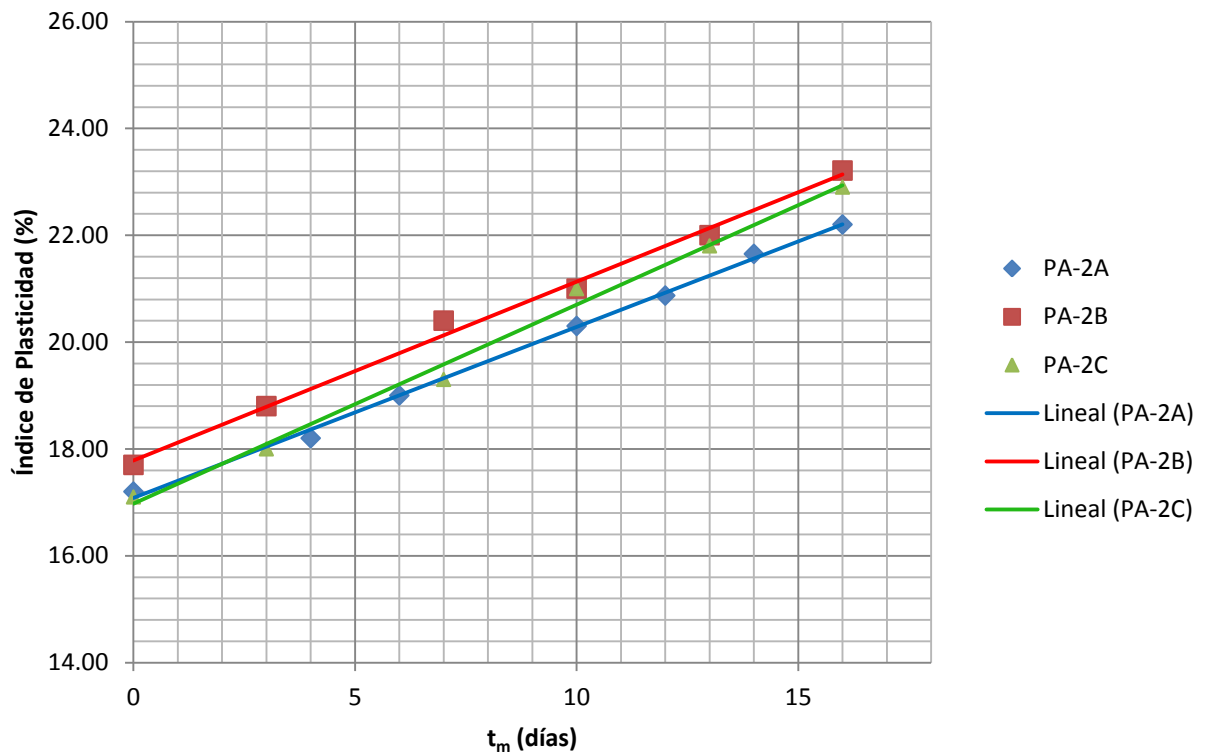


Figura 5.5 Comportamiento del índice de plasticidad en el proceso de maduración del grupo PA-2.

En la figura 5.4 es posible apreciar dos situaciones: en un primer momento, la mezcla "PA-2C" mantiene valores muy cercanos a los de la mezcla "PA-2A" manteniéndose muy cerca una línea de la otra, y un segundo momento (aproximadamente en el octavo día) en el cual la mezcla "PA-2C" se separa y se empieza a presentar valores próximos a los de la mezcla "PA-2B". Esto puede deberse a un error en las mediciones o la acción de algún material que se introdujo de manera accidental a la mezcla durante la extracción de la muestra para la determinación del índice de plasticidad.

En la tabla 5.12 se muestran ecuaciones de las curvas para las mezclas PA-2, así como su índice de correlación, y se observa que PA-2A es la mezcla que presenta un comportamiento más lineal.

Tabla 5.12 Ecuaciones de las curvas de PA-2

Nombre	Función	r^2
PA-2A	$IP = 0.3202t + 17.081$	0.9975
PA-2B	$IP = 0.3345t + 17.786$	0.9941
PA-2C	$IP = 0.3724t + 16.976$	0.9923

Se hizo fácil observar que, para las pastas elaboradas con arena de arroyo (PA-1) y arena de playa (PA-2), el índice de plasticidad sufría un aumento a medida que transcurrían los días que se dejaban en maduración pero que este cambio se daba con ritmos distintos entre los dos grupos de pastas y dentro de los mismo grupos también, condición que puede deberse a las propiedades de cada arena y a las proporciones en que se encontraban hechas las mezclas.

El intervalo de índice de plasticidad final que se buscaba obtener era entre 22 y 26, menores al valor máximo obtenido por García D. et al (27). Esto debido a que en las pruebas realizadas, la pasta arcillosa con este valor presentaba mayor número de grietas como consecuencia de la contracción sufrida en la prueba de secado, siendo 22 el valor menor de índice de plasticidad que se obtuvo a la vez en esas pruebas.

Comparando las tablas 5.8 y 5.9 se puede observar que las pastas elaboradas con arena de arroyo (PA-1) alcanzaron primero un valor dentro del rango buscado, ocurriendo a los 12 días para "PA-1A" con un valor de 22.5, a los 10 días para "PA-1B" con 22.9 y a los 13 para "PA-1C" con 22.8; mientras que la pastas elaboradas con arena de playa (PA-2), tuvieron que estar en maduración 16 días en los casos de "PA-2A" y "PA-2B" para obtener valores de 22.2 y 22.9 respectivamente, y 13 días para "PA-2D" con un valor de 22.

Es razonable pensar que de seguir fermentando las pastas, las mezclas PA-1 hubieran llegado a tener valores mayores de los que se buscaba, y era necesario hacer la maduración en paralelo, ya que inmediatamente se terminara esta parte del trabajo, se procedería a realizar la siguiente prueba, por lo que se decidió terminar la maduración con estos valores, los cuales cumplían con el rango buscado.

5.6.3 Proyección del comportamiento del índice de plasticidad

Los resultados obtenidos en los acápite anteriores hace posible presentar una ecuación que permita predecir el valor del índice de plasticidad que pueden alcanzar las mezclas con arena de arroyo y de playa para las proporciones utilizadas en este trabajo, durante la maduración de las pastas y así ahorrar tiempo al momento de comprobar si la pasta ya está en el punto de trabajo que los artesanos sientan óptimo. La tabla 5.13 presenta una proyección del valor del índice de plasticidad para la mezcla PA-1 obtenida con la ecuación promedia de los datos que se mostraron en la tabla 5.8, y se puede observar en la figura 5.5 que es una recta.

Tabla 5.13 Proyección del índice de plasticidad de la mezcla PA-1 y PB-1

Días	IP	IP
0	18.43	17.28
2	19.16	17.97
4	19.90	18.65
6	20.64	19.34
8	21.37	20.02
10	22.11	20.71
12	22.85	21.39
14	23.58	22.07
16	24.32	22.76

Es necesario recordar que esta mezcla solo contiene arcilla y arena de arroyo, a pesar que el artesano Pedro Guerrero utiliza la mezcla elaborada por Francisco Calero, que contiene arena de playa.

Para la mezcla PA-2 se realizó un procedimiento idéntico para obtener la ecuación con la se prediga los valores de índice de plasticidad y se pueden observar en la tabla 5.13. Esta tabla presenta una proyección del valor del índice de plasticidad para la mezcla PA-2 obtenida con la ecuación promedia de los datos que se mostraron en la tabla 5.9, y se puede observar en la figura 5.6 que es una recta, al igual que PA-1.

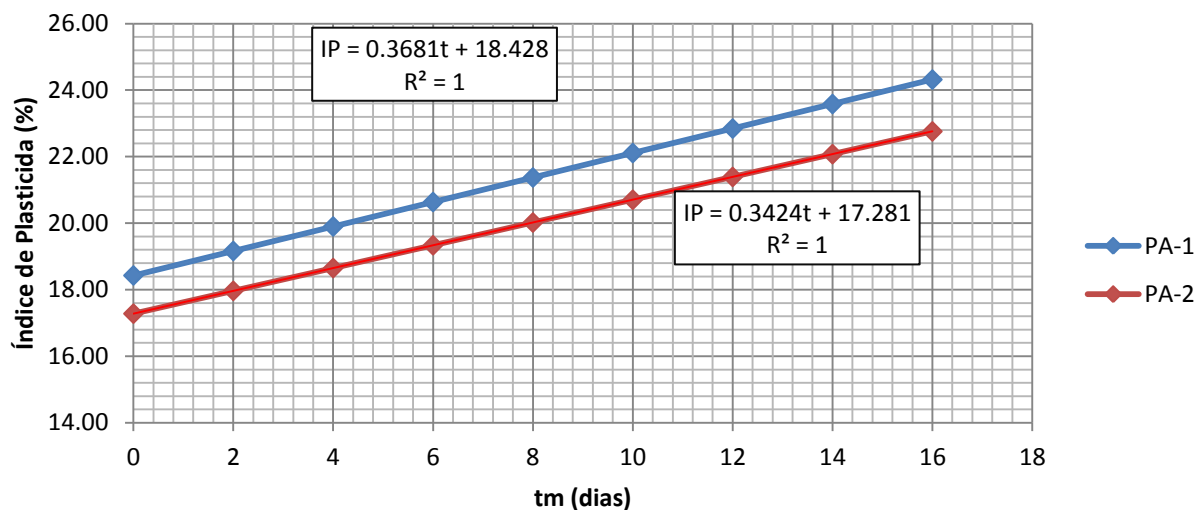


Figura 5.6 Recta de regresión del comportamiento del índice de plasticidad de la mezclas PA-1 y PA-2

Con las ecuaciones de cada recta (véase Figura 5.5) se obtiene así un modelo matemático, el cual es capaz de predecir los valores del índice de plasticidad de las mezclas de arcilla-arena de arroyo y arcilla-arena de playa, para las proporciones mostradas en las tablas 5.5 y 5.6 y seleccionadas en el acápite 5.5.

5.7 Sensibilidad al secado

Una vez concluida la etapa de maduración y habiendo obtenido los valores de índice de plasticidad, se procedió a realizar las pruebas de sensibilidad al secado, en donde se determinó la contracción de las pastas arcillosas, y si éstas presentan agrietamientos una vez terminara esta operación. En la figura 5.7 se muestran las fotografías de las pastas maduradas antes y después del secado, apreciándose que todas las pastas elaboradas presentaron agrietamiento, siendo PA-2 la que presentó mayor cantidad de grietas, pero no con una diferencia tan pronunciada.

Después de 24 horas de secado y su completo enfriamiento, las pastas presentaron contracción tanto vertical como horizontalmente, los porcentajes de contracción para PA-1 oscilaron en el rango de 6.95 – 8.69 mientras que para PA-2 oscilaron entre 13.00 a 14.28 (ver tabla 5.12). 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%. Esto podría ser porque PA-2 absorbe más agua y por ende se contraerá más al momento en que sea puesta a la acción del calor durante la etapa de secado.

Esta situación puede deberse a que la arena de playa permite a la arcilla (una vez mezcladas) obtener una capacidad de absorción de agua mayor que la arena de arroyo. Otra razón podría ser que el tamaño de la partícula de la arena de arroyo genere un recorrido mayor que el agua debe atravesar para lograr salir del medio, permitiendo a la arcilla ocupar los espacios vacíos que van quedando a medida que se da el secado de forma más ordenada.



(a)

(b)

Figura 5.7 Fotografías de PA-1A: (a) Húmeda; (b) Seca



(a)

(b)

Figura 5.8 Fotografías de PA-1B: (a) Húmeda; (b) Seca



(a)

(b)

Figura 5.9 Fotografías de PA-1C: (a) Húmeda; (b) Seca



(a)

(b)

Figura 5.10 Fotografías de PA-2A: (a) Húmeda; (b) Seca



(a)

(b)

Figura 5.11 Fotografías de PA-2B: (a) Húmeda; (b) Seca



(a)

(b)

Figura 5.12 Fotografías de PA-2C: (a) Húmeda; (b) Seca

Tabla 5.14 Porcentaje de Contracción al Secado de las pastas.

Grupo	Nombre	Cs %
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

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%. Esto indica que las mezclas PA-1 tienen una contracción muy cercana a las pastas C-2 (véase tabla 5.17) de Cerámica Collet S.A., esto es un indicador de que la presencia de material desengrasante con partículas mayores contribuye a que en la etapa de secado, contribuye a que el elemento elaborado tenga menos probabilidad de agrietarse.

5.8 Humedad final

Como se presentó en el acápite 4.6, la humedad final de las pastas es la cantidad de agua que contiene la mezcla al finalizar la maduración y antes de pasar a la etapa de secado. La tabla 5.14 presenta los resultados obtenidos durante esta etapa del trabajo.

Tabla 5.15 Humedad final de las pastas arcillosas

Grupo	Nombre	m _{humeda} (gr)	m _{seca} (gr)	M _{ag} (gr)	H _f (%)
PA-1	PA-1A	143.92	93.71	50.21	34.89
	PA-1B	141.03	92.13	48.9	34.67
	PA-1C	139.22	90.33	48.89	35.12
PA-2	PA-2A	118.1	74.24	43.86	37.14
	PA-2B	123.2	77.91	45.29	36.76
	PA-2C	121.43	76.65	44.78	36.88

Los datos de la tabla 5.15 muestran que ambos grupos de pastas muestran una tendencia similar de humedad final que ronda entre el 34% y el 37%. Es decir, durante el secado las mezclas eliminaron alrededor de un tercio de su peso en agua, siendo el grupo PA-2 quien más agua (porcentualmente) eliminó.

Estos resultados están conformes a los obtenidos por García et al. en donde se demuestra que entre más material arcilloso (o material plástico) contenga la mezcla, mayor será la humedad final.

5.9 Comparación de resultados

Al comparar los resultados obtenidos de índice de plasticidad, humedad final y porcentaje de contracción con los valores que presenta la norma industrial Collet S.A. se observa que los de este trabajo superan a los de Collet S.A. en su mayoría.

Los valores de Collet S.A. (ver Tabla 5.16) muestran que entre más humedad tenga la pasta arcillosa, mayor será la contracción que la pasta sufrirá. Una de las diferencias más notables entre los valores de Collet S.A. y los valores de este trabajo es la cantidad de humedad que contienen cada pasta, los cuales para Collet S.A. es de 22% como máximo, mientras que las pastas elaboradas presenta valores de humedad entre 34% y 37%.

El porcentaje de contracción es otro punto en el cual se puede observar una diferencia marcada, siendo similares únicamente el valor de PA-1A que tiene de índice de plasticidad de 24.12 y una contracción de 7.14% con una pasta de 24 de índice de plasticidad de Collet S.A. que tiene un valor de contracción del 7.5%. A pesar de tener valores similares, la diferencia de humedad es alta con un valor de 12%.

La diferencia tan amplia en los valores finales de humedad y contracción al secado puede deberse a la elaboración tecnificada con la que Collet S.A. elabora las pastas, en la cual todos los parámetros de temperatura, proporciones de mezclas y propiedades de las materias, se toman en cuenta para hacer el producto, cosa que en San Juan de Oriente no sucede puesto que se eligen las materias en base a la propia experiencia de cada artesano.

Tabla 5.16 Propiedades de las pastas elaboradas

Grupo	Nombre	IP	Humedad (%)	Cs (%)
PA-1	PA-1A	24.12	34.89	7.14
	PA-1B	25.00	34.67	6.95
	PA-1C	23.78	35.12	8.69
PA-2	PA-2A	22.20	37.14	14.28
	PA-2B	23.21	36.76	13.00
	PA-2C	22.90	36.88	13.91

Tabla 5.17 Propiedades de pastas - Collet S.A.

Nombre	IP	Humedad (%)	Cs (%)
C-1	17	18	3.4
		20	4.5
		22	5.8
C-2	24	22	7.5

VI. Conclusiones

Se establecieron mezclas (47% de arcilla, 22% de arena de playa y 31% de agua; 45% arcilla, 21% arena de arroyo y 34% de agua) con las cuales se obtuvo un valor de índice de plasticidad máximo de 25. Estas mezclas pueden servir como una nueva base para la elaboración de pastas de ahora en adelante al presentar resultados de índice de plasticidad similares a los valores encontrados por García et al, valores con los cuales los artesanos elaboran las piezas de cerámica artística.

Los valores de índice de plasticidad (22-25), humedad final (34%-37%) y contracción al secado (7%-14%) para las proporciones trabajadas, presentan valores mayores que los de mezclas presentadas por Collet S.A.. Los artesanos trabajan en base a experiencias propias y técnicas que han venido heredando; debido a la falta de tecnificación en el proceso de elaboración de cerámica muchos parámetros quedan sin medición lo que conlleva a diferencias entre uno y otro lote de producción. Es posible reducir esta diferencia implementando un proceso más tecnificado.

Las pastas arcillosas PA-1 elaboradas con arena de arroyo 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, influye en la cantidad de agua que la mezcla absorbe, lo contribuye a que la contracción durante el secado sea menor. Por otro lado, ambas pastas sufrieron de agrietamiento, siendo PA-1 la que presentó menor cantidad, lo cual está en concordancia con el contenido de arena presente en estas pastas.

Se verificó que los valores del índice de plasticidad menores a 26 (valor máximo reportado en la bibliografía de García et al) no garantiza resolver el problema frecuente del agrietamiento, ya que se constató que en las piezas elaboradas con las proporciones establecidas en este trabajo, perseveró la presencia de grietas.

Se determinó que durante la etapa de maduración de la pasta arcillosa, el índice de plasticidad incrementa linealmente en el tiempo. Alcanzando valores máximos de plasticidad de 24 en un tiempo de 16 días. Así, se obtuvieron dos ecuaciones 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 la ecuación $IP = 0.3681 \cdot t + 18.428$; y para la mezcla con arena de playa la ecuación $IP = 0.3424 \cdot t + 17.281$.

VII. Recomendaciones

Realizar estudios que permitan determinar la composición química y mineralógica del material, morfología y estructura del material arcilloso con que cuentan los artesanos de San Juan de Oriente, y así observar de qué manera estos afectan el valor de índice de plasticidad de las pastas arcillosas.

Realizar un estudio exhaustivo que logre encontrar los niveles adecuados de proporcionalidad de materiales que les permita mantener estable y constante el valor del índice de plasticidad, y así lograr que el proceso se mantenga controlado.

Realizar un estudio que determine la influencia del agua en los resultados obtenidos en este trabajo, mediante una comparación entre el agua del RUPAP-UNI y el agua de San Juan de Oriente

Realizar capacitaciones a los artesanos en la utilización de instrumentos para mejorar el proceso de producción y en la teoría detrás de cada etapa del proceso, para que ellos elaboren de una manera más tecnificada y comprendan el papel que juega cada material en cada etapa. Es decir pasar de la elaboración empírica basada únicamente en la experiencia a una científica basada en la teoría que se apoye con la experiencia.

Como una guía para la elaboración de pastas arcillosas se puede tomar como referencia los datos que presenta Collet S.A. (tomados como referencia a lo largo de este trabajo). En base a esto y con los resultados obtenidos, se puede proponer la reducción en la cantidad agua que se le agrega a la mezcla para obtener valores de humedad similares a los de Collet S.A., tratando al mismo tiempo de conseguir que las mezclas presenten valores de índice de plasticidad de 24 (o lo más cercano que se pueda a este valor).

VIII. Nomenclatura

Parámetro	Significado	unidades
AP	Arcilla pulverizada	-
C _s	contracción de la pasta arcillosa	%
H _f	Humedad final de la pasta arcillosa	%
IP	Índice de plasticidad de la mezcla	-
L _{fs}	longitud final de la marca después del secado	cm
L _i	longitud inicial de la marca antes del secado	cm
LL	Límite líquido de la mezcla	-
LP	Límite plástico de la mezcla	-
M _{ag}	Masa de agua	gr
m _{humeda}	masa húmeda de pasta arcillosa antes del secado	gr
m _{seca}	masa seca de pasta arcillosa después del secado	gr
PA	Pasta arcillosa	-
PA-1	Pasta arcillosa con arena de arroyo	-
PA-2	Pasta arcillosa con arena de playa	-

IX. Bibliografía

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

Avgustinik A.I., 1983. Cerámica, Editorial Reverte.

Bernal I., Cabezas H., Espitia C., Mojica J. & Quintero J., 2003. Análisis próximo de arcillas para cerámica, Bogotá-Colombia.

Ceramica Collet, SA, 2009. Catalogo SIO-2 Características técnicas de pastas cerámicas.

Duitama Luz Mery, 2003. Catálogo de propiedades físicas, químicas y mineralógica de las arcillas para cerámica roja en los centros urbanos de Medellín, Ibagué, y Sabana de Bogotá, Bogotá D. C., Colombia.

Gaidzinski Roberta, Osterreicher-Cunha Patrícia, Duailibi Jamil, Tavares Luis Marcelo, 2008. Modification of clay properties by aging: Role of indigenous microbiota and implications for ceramic processing. Rio de Janeiro, Brazil

Galán Huertos Emilio, Aparicio Fernández Patricia, 2006. Materias Primas para la Industria Cerámica. Utilización de las Rocas y Minerales Industriales. Alicante. Sociedad Española de Mineralogía SEM. 2006. Pag. 31-49

García D., González E., 2007. Diagnostico Tecnológico del Proceso de Elaboración de Pasta Arcillosa para la Producción de Cerámica Artística en el Municipio de San Juan de Oriente

Harmer E. Davis, 1964. The testing and inspection of engineering materials, McGraw-Hill Civil Engineering Series. Tercera edición.

Img Yalpri, 19 de Enero de 2009. Nota para turismocompatible.blogspot.com

Kerstin Petrick, 2011. How does mineralogy control the technical properties of paper kaolins and ceramic clays? Baden-Baden, Alemania.

Lambert T. William, Whitman Robert U, 1987. Mecánica de Suelos, Editorial Limusa, México

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

Muñoz Chaves J. A., Muñoz Meneses R. A., Mancilla P., Rodríguez Páez J. E., 2007. Estudio del procesamiento cerámico de las arcillas de la vereda “La Codicia” (Guapi, Colombia) para potencializar su uso en la elaboración de piezas cerámicas, Guapi, Cauca, Colombia.

Muñoz Meneses R. A., Muñoz Chaves J. A., Mancilla P., Rodríguez Páez J. E., 2007. Caracterización fisicoquímica de arcillas del municipio de Guapi – Costa Pacífica Caucana (Colombia).

Páginas Web Consultadas

http://www.catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lii/.../capitulo6.pdf 04-04-2012

<http://www.elobservadoreconomico.com/articulo/1100> 30-11-2011

http://es.wikipedia.org/wiki/Textura_del_suelo 13-06-2012

<http://www.inifom.gob.ni/municipios/documentos/MASAYA/sanjuandeorient.pdf> 05-01-2012

<http://www.manfut.org/masaya/juan.html> 12-12-2011

<http://www.monografias.com/trabajos15/suelos-consistencia/suelos-consistencia.shtml> 17-04-2012

<http://www.rlp.com.ni/noticias/15347> 12-12-2011

<http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/uscsM2.htm> 12-05-2012

<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion2.MateriasPrimasCeramicas.pdf> 25-08-2012

<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion3.PropiedadesArcillas.pdf> 25-08-2012

<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion4.Preparacion.MateriasPrimas.pdf> 25-08-2012

<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Tema5.MaterialesCERAMICOS.CONFORMADO.Introduccion.PRENSADO.pdf> 26-08-2012

<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion6.SECADO.pdf> 26-08-2012

http://es.wikipedia.org/wiki/Clasificaci%C3%B3n_de_suelos 13-06-2012

X. Anexos

10.1 Tablas de distribución de tamaño de partículas.

Tabla 10.1 Distribución de tamaño de partícula. Arena de arroyo.

Especificación de la clase mallas Tyler	Masa retenida (g)	Fracción retenida en Tamiz inferior	Dp (inferior) (mm)	Función de distribución acumulativa
8	3.0000	0.0099	2.3600	1.0000
12	4.0000	0.0132	1.7000	0.9901
20	35.5000	0.1172	0.8500	0.9769
35	85.0000	0.2805	0.5000	0.8597
50	92.5000	0.3053	0.3000	0.5792
80	60.0000	0.1980	0.1800	0.2739
140	18.0000	0.0594	0.1060	0.0759
Fondo	5.0000	0.0165		
Sumatoria	303.0000	1.0000		

Tabla 10.2 Distribución de tamaño de partícula. Arena de playa.

Especificación de la clase mallas Tyler	Masa retenida (g)	Fracción retenida en Tamiz inferior	Dp (inferior) (mm)	Función de distribución acumulativa
8	0.0000	0.0000	2.3600	1.0000
12	0.0000	0.0000	1.7000	1.0000
20	0.0000	0.0000	0.8500	1.0000
35	1.5000	0.0050	0.5000	1.0000
50	56.5000	0.1880	0.3000	0.9950
80	130.5000	0.4343	0.1800	0.8070
140	96.5000	0.3211	0.1060	0.3727
Fondo	15.5	0.0516		
Sumatoria	300.5000	1.0000		

10.2 Tablas de contracción al secado de las pastas maduras.

Tabla 10.3 Contracción al secado de PA-1

Mezcla	Contracción Diagonal (cm)	Contracción Vertical (8cm)	Contracción Horizontal (8cm)
PA-1A	6.5 (7)	7.5	7.5
PA-1B	10.5 (11.5)	7.5	7.2
PA-1C	10.5 (11.5)	7.3	7.5

Tabla 10.4 Porcentaje de Contracción al Secado de PA-1

Mezcla	L_i (cm)	L_{FS} (cm)	C_S %
PA-1A	7	6.5	7.14
PA-1B	11.5	10.7	6.95
PA-1C	11.5	10.5	8.69
Promedio			7.59

Tabla 10.5 Contracción al secado de PA-2

Mezcla	Contracción Diagonal (cm)	Contracción Vertical (8cm)	Contracción Horizontal (8cm)
PA-2A	6.5 (7)	7	7
PA-2B	10.5 (11.5)	7	7.5
PA-2C	10.5 (11.5)	7.2	7.2

Tabla 10.6 Porcentaje de Contracción al Secado de PA-2

Mezcla	L_i (cm)	L_{FS} (cm)	C_S %
PA-2A	7	6	14.28
PA-2B	11.5	10	13
PA-2C	11.5	9.9	13.91
Promedio			13.73

Tabla 10.7 Características técnicas para pasta terracota (PT) para torno y modelado

Análisis Químico (%)										Plasticidad (Atteberg)		Calcimetría
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	L.O.I.	L.L.	I.P.	%
47.80	15.90	4.00	0.65	12.10	1.73	0.26	2.83	0.04	14.60	39	17	20
Características en Crudo					Características en Cocido							
Humedad (%)	Contracción al secado (%)	Resistencia Mecánica Seco (Kg/cm ²)	Temperatura °C		Pérdida de Peso (%)	Absorción de Agua (%)	Contracción Cocción (%)	Resistencia Mecánica Cocido (Kg/cm ²)				
18	3.4	62	900		14.5	14.0	0.2	-				
20	4.5		1,000		14.6	18.5	0.0	179				
22	5.8		1,100		14.7	20.5	0.3	157				

Tabla 10.8 Características técnicas para pasta refractaria chamotada (PRG) para torno y modelado

Análisis Químico (%)										Plasticidad (Atteberg)		Calcimetría
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	L.O.I.	L.L.	I.P.	%
51.80	32.60	4.61	1.39	0.49	0.44	0.24	1.00	<0.01	7.60	47	24	0
Características en Crudo					Características en Cocido							
Humedad (%)	Contracción al secado (%)	Resistencia Mecánica Seco (Kg/cm ²)	Temperatura °C		Pérdida de Peso (%)	Absorción de Agua (%)	Contracción Cocción (%)	Resistencia Mecánica Cocido (Kg/cm ²)				
22	7.5	30	1,100		7.5	13.1	4.0	-				
			1,200		7.5	10.1	5.1	-				
			1,300		7.5	8.5	5.9	262				

L.O.I. : Pérdida por calcinación

L.L. : Límite Líquido

I.P. : Índice de Plasticidad

