

Formulación de una Pasta Resistente al Shock Térmico para la Técnica Japonesa Raku

Formulation of a thermal shock resistant paste for the Japanese Raku technique

Verónica Pinos^{1,2}, Verónica Portilla¹, Catalina Peñaherrera¹, Rubén Auquilla¹

1 Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas, Av 12 de Abril y Ciudadela Universitaria, veronica.portilla@ucuenca.edu.ec, catalina.peñaherrera@ucuenca.edu.ec, ruben.auquilla@ucuenca.edu.ec

2 Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca (DIUC), Av 12 de Abril y Ciudadela Universitaria, veronica.pinos@ucuenca.edu.ec

Recibido: 16-05-2017. Aceptado después de revisión: 19-06-2017

Resumen: La zona del Azuay, en Ecuador es conocida por poseer un importante legado artístico y artesano. La existencia de minas cerámicas en la provincia y cercanías han propiciado que artesanos y artistas usen estos materiales para crear sus obras. A nivel artesanal, uno de los problemas existentes es la poca diversificación de las artesanías que se producen, traduciéndose en una excesiva oferta de los mismos productos. Por ello, es de relevancia el estudiar otras técnicas cerámicas con el propósito de fomentar la diversificación de la oferta. El Raku es una técnica milenaria que tiene su origen en Japón con esta se consiguen detalles artísticos únicos e irrepetibles generando valor agregado a la obra cerámica. El objetivo de este trabajo fue obtener una pasta cerámica con materiales locales y acoplar esmaltes primarios para ser usados en la técnica Raku. Para ello, se realizaron tres rondas de dosificaciones preparándose 19 pastas diferentes. Para elegir la pasta se consideró la plasticidad, la cohesión y la resistencia al choque térmico. Al final se eligió la pasta VII. Se acoplaron tres bases de esmalte comercial. Durante las pruebas se consiguieron piezas con efectos artísticos diferentes, como craquelado y terminado metálico.

Palabras claves: cerámica, esmaltes, shock térmico, Técnica Raku.

Abstract: The area of Azuay, in Ecuador is known for possessing an important artistic and artisan legacy. The existence of ceramic minerals in the province and surrounding areas has led artisans and artists to use these materials to create their works. A level of craftsmanship, one of the problems existing in the little diversification of the crafts that are produced. Therefore, it is of relevance to study other ceramic techniques with the purpose of promoting the diversification of products. The Raku is an ancient technique that has its origin in Japan. Raku pieces are characterized for their unique artistic details which are unrepeatable. The objective of this work was to obtain a ceramic paste with local materials and to couple primary enamels to be used in the Raku technique. For them, three rounds of dosing were carried out. 19 different pastas were prepared and tested. To choose the paste, plasticity, cohesion and resistance to thermal shock were considered. At the end, the paste VII was chosen. Three commercial enamel bases were coupled. During the tests were obtained pieces with different artistic effects.

Keywords: ceramics, enamel, thermal shock, Raku Technique.

1. Introducción

La provincia del Azuay, Ecuador tiene una tradición cerámica muy importante debido a la existencia de depósitos de arcillas locales [1]. Uno de los grandes problemas por la que atraviesa la producción artesanal es su poca variedad y alta competencia, pues en general los artesanos disponen de pocas técnicas y recursos para generar otro tipo de cerámica.

Una opción para diversificar la cerámica artística y artesanal es la técnica Raku. Ésta es un tipo de cerámica tradicional de características únicas proveniente del Japón, que tiene origen en la era Momoyama. Durante el siglo XV, Senno Rikyo desarrolló y difundió la ceremonia del té basada en el budismo Zen. Senno Rikyu encomendó al maestro alfarero Chojiro, el hacer pocillos para servir el té durante la ceremonia; para ello, Chojiro usó la tierra de los muros de la mansión Shurakudai de donde proviene el nombre de Raku [2]–[4]. La elaboración de una pieza Raku, se caracteriza por ser completamente manual, sin el uso del torno y de esta manera es consistente con la filosofía Zen [5]. Debido a su elaboración, las piezas moldeadas son de formas únicas y singulares. El terminado de estas piezas se complementa con un esmaltado muy particular. Las piezas se cubren con esmaltes cerámicos y una vez fundidos los esmaltes, las piezas son tomadas directamente del horno y arrojadas al aserrín, hojas, o algún otro material orgánico; el resultado es la reducción de los óxidos constituyentes de la pasta y sobre todo del esmalte. Esta reducción es parada intempestivamente, arrojando las piezas al agua para detener la reducción. Estos últimos pasos son los responsables de dar al Raku sus dos principales características: el craquelado y los detalles ahumados y metálicos [6]–[9].

Desde el punto de vista técnico, una buena pasta cerámica debe contener: a) Materia plástica, como la arcilla y el caolín; estos materiales posibilitan el moldeo de la pieza debido a su plasticidad (capacidad del mineral arcilloso de absorber agua hasta llegar a un estado en que al aplicar una presión este puede deformarse sin ruptura y conservando la forma adquirida cuando la presión desaparece). Además, son el medio de unión de los componentes de la pasta ya que la cohesión depende de las atracciones electroestáticas entre las partículas coloidales de la arcilla, las cuales aumentan a medida que se eliminan las partículas de agua entre ellas. b) Desengrasantes, como el cuarzo, pedernal, areniscas, chamota, aserrín, etc., reducen la plasticidad de las arcillas y la contracción al secado, aumentan la resistencia en fresco, varían el punto de vidriado y fusión, aumentan el punto de refracción: además con ello, evitan el agrietamiento de las piezas en el secado y en la cocción. c) Los fundentes son esencialmente los feldespatos y óxidos fundentes, estos producen la disminución del punto de fusión de la pasta y son necesarios para que se forme suficiente material vítreo para mantener unida a la pieza mientras se cuece [10]–[15]. Particularmente, la pasta para el Raku se distingue por ser muy plástica, de baja temperatura y resistente al choque térmico [8], [16], [17].

Para conseguir la plasticidad, esta pasta generalmente incluye arcillas de tamaño de partícula pequeño [18], [19]. Un inconveniente de estos materiales es que pueden presentar cerca de 15% de contracción al secado y no ser resistentes al choque térmico. Por otro lado, la cerámica Raku es de baja temperatura, pues generalmente se cuece a temperaturas menores a 1000°C, por lo que debe contener suficiente material fundente para que se obtenga en esas condiciones un bizcocho de buenas características. Finalmente, debe ser resistente al choque térmico. La forma tradicionalmente usada para lograr esto en el Raku, es con el uso de desengrasantes como la materia orgánica [6], [8], [17]; que por un lado compensan la contracción al secado del material arcilloso y por otro logran un bizcocho final muy poroso, propiedad que evita que la pieza se rompa durante el choque térmico [20]. Esto se explica ya que una pieza muy porosa posibilita una rápida

transferencia de calor, evitando con ello que existan zonas con grados muy diferentes de dilatación, que es lo que produce la rotura de la pieza [18]. Una vez elegidos los materiales y sus proporciones, se deberá considerar el tiempo que necesita la pasta para madurar; así como el tiempo que necesita la pieza moldeada para secarse, el ciclo de quema y el proceso Raku.

Por otra parte, el esmalte usado para el Raku deberá ser muy fundente y resistente al choque térmico. Se debe considerar que estas capas finas de vidrio fundidas sobre la superficie de la pasta deben adaptarse tanto química como físicamente a la pieza. Un esmalte cerámico típico contiene: a) Material refractario, como la arcilla, el caolín o la sílice que eleva la temperatura de fusión del esmalte. b) Material fundente, como PbO, CaO, Li₂O, Na₂O, MgO, SrO, ZnO, K₂O, BaO, Sb₂O₃; el cual disminuye la temperatura de fusión del esmalte en relación proporcional a la cantidad en la que se encuentra. c) Colorantes: son siempre óxidos metálicos como el cobre, hierro, cobalto, manganeso, etc.; cada uno desarrolla un color característico. d) Opacificadores: estos elementos vuelven opaco (no transluce el bizcocho pero con brillo superficial) o mate (cubritivo pero sin brillo) al esmalte; algunos opacificadores son el óxido de estaño, de titanio, zirconio, etc. [10], [13], [18], [20], [21]. Por tanto, para elegir el esmalte se deberá considerar a más del color y acabado, la temperatura de fusión y su coeficiente de expansión térmica de tal manera que sea adecuado para la pasta y el proceso. Como se mencionó anteriormente en el Raku, las piezas cerámicas son esmaltadas e introducidas en el horno, donde son coccidas entre 900°C y 1000°C. Una vez que el esmalte se ha fundido, las piezas al rojo son retiradas del horno para ser puestas en contacto con la materia orgánica que al contacto con las piezas calientes se combustiona, produciéndose una atmósfera reductora. El resultado es que los óxidos presentes tanto en pasta cuanto en esmalte y pigmentos se reducen total o parcialmente. Por ello, se puede ver en la superficie del vidrio C y CO; además, de lustres metálicos producidos durante la reducción de los óxidos de los pigmentos del esmalte [9].

Con estos antecedentes, el presente trabajo de investigación tuvo como propósito el desarrollar una pasta cerámica para el Raku con materiales locales de una manera técnica, para de esta manera contribuir con generar alternativas para el trabajo artesanal y artístico con valor agregado.

2. Materiales y métodos

2.1 Caracterización de las materias primas y pastas

Para las pruebas en las materias primas se disgregó el material arcilloso usando el molino de mandíbulas (Fabricación local, marca del motor Weg) y de martillos (Fabricación local, marca del motor: ASEA). En la Tabla 1, se pueden ver las materias primas elegidas para la formulación de la pasta para Raku.

2.1.1 Humedad: Se colocó en la estufa (JP Selecta) a 110°C, 100 g de muestra durante 24 horas. Al final, se pesó la muestra fría. El porcentaje de humedad viene dado por la relación entre la diferencia de pesos de la muestra al inicio y fin del proceso.

2.1.2 Granulometría: Se colocan los tamices 325, 200, 100, 60, 40 y 20, ASTM uno sobre otro, desde el de menor tamaño de malla hasta el de mayor tamaño en el agitador. Se pesaron 200 g netos de la muestra procesada con el molino de mandíbulas y martillos, y se colocaron sobre el tamiz 20. Se agitó el conjunto durante 20 min y se dejó estabilizar

durante 5 min. Se pesó el material retenido en cada tamiz y en el fondo. El resultado se obtiene al relacionar el peso retenido en el tamiz con el peso de la muestra. En el caso de los materiales arcillosos, la muestra fue pre-tratada con el método húmedo seco. Se pesaron 200 g netos de la muestra. Se los colocó sobre el tamiz 325. Se hizo pasar agua a través de la muestra hasta que el filtrado sea transparente. El retenido se deseca, se pesa y hace pasar por el proceso anterior.

2.1.3 Determinación de pH: Se pesó 20 g netos de muestra. Se colocó la muestra en la luna de reloj; se agregó agua destilada y se homogenizó hasta obtener una superficie brillante (espejo de líquido). Se pasó la muestra a un vaso y se agregó agua destilada hasta completar 50 ml. Se midió el pH (Hanna, HI8314).

2.1.4 Contracción al secado, a la quema y total: Se pasó material arcilloso por malla 40 y por malla 100 ASTM. En ambos casos, el material arcilloso fue llevado a estado plástico, al agregar suficiente agua para conseguir una pasta moldeable y que no se pegue en las manos. Se lo moldeó en una placa de yeso para formar un rectángulo de 10 por 5 cm. Inmediatamente, se marcó 50 mm en cruz usando un calibrador. Se hicieron al menos 5 placas del material pasado por malla 40 y 5 placas más con el material pasado por malla 100.

Se dejaron secar las placas desmoldadas por 48 h. Se midieron las distancias entre las marcas. La contracción al secado se determinó relacionando las distancias entre marcas antes y después del secado. A continuación, se cocieron las placas. Finalmente, se midió la distancia entre marcas. La contracción a la quema se obtuvo al relacionar la distancia entre las marcas antes y después de la quema. La contracción total se logró al sumar las dos contracciones obtenidas en el material.

Tabla 1. Materias primas.

Material	DESCRIPCIÓN
Pucará	Arcilla, el material es de grano fino, de color blanco - rosado con mica
Jimena	Arcilla, el material en su mayoría es crema, con partes rojas de hierro y partes más plástica color plomo, tienen estratificaciones blancas.
Tigre	Arcilla, rojo lacre, de grano fino
Nueva Cofradía	Arcilla, rojo café de grano grueso
Sinincay	Arcilla, negro plumizo, con impurezas vegetales.
PIV-Astillado	Arcilla, plomo con mucha sílice libre en forma de granos de azúcar.
Paz negra	Arcilla, el material es negro con materia orgánica, granos de sílice visibles del tamaño de granos de azúcar.
Chamota	Chamota de cerámica de vajilla.
Aserrín	Aserrín de maderas varias

2.1.5 Absorción y espacio poroso: Las placas previamente quemadas y pesadas fueron sumergidas hasta la mitad en agua durante 30 minutos. A continuación, se sumergieron completamente por 48 horas. Transcurrido el tiempo, se retiraron las placas y se eliminó el agua superficial y se pesaron. La cantidad de agua absorbida fue calculada al relacionar el peso de las placas secas y húmedas. Para determinar el espacio poroso, se llenó una probeta hasta 850 ml. Se introdujo la placa húmeda y se midió el volumen desplazado por la placa con ayuda de una pipeta. La porosidad del material fue determinado usando la siguiente fórmula: Porosidad = $1 - \text{densidad aparente} / \text{densidad real}$. La densidad aparente se calculó dividiendo el peso de la placa seca con el volumen desplazado por la placa húmeda o volumen aparente. La densidad real se calculó dividiendo el peso de la placa seca para la diferencia entre el volumen aparente menos la masa del agua absorbida.

2.1.6 Índice de plasticidad: Para determinar el límite plástico del material, se tomó una cantidad pequeña del material arcilloso y se le añadió agua destilada hasta incorporación total. Una vez homogenizado, se tomó una pequeña cantidad para formar una cinta de 3 mm de diámetro aproximadamente en alrededor de tres minutos, hasta que aparezcan trizaduras en todo su largo. Se pesó esta cinta y se colocó en la estufa durante 24 horas a 110°C. Se pesó nuevamente y determinó el porcentaje de humedad. Se repitió este proceso hasta que los porcentajes de agua obtenidos en dos pruebas tengan una diferencia máxima del 2 por ciento. El límite líquido fue determinado siguiendo el método de Casa Grande. En la cápsula del Set de Casa Grande se colocan 200 g del material plástico preparado con agua destilada homogenizado y que ha reposado entre 12 a 16 horas. Se colocó en el equipo aplicando el procedimiento de acuerdo a lo recomendado en la norma ASTM: D4318-95. Se registró el número de golpes. Se tomó 6 g de muestra en la parte unida, se desecó por 24 h a 110°C y se pesó. Se repitió el procedimiento dos veces más. Los puntos se tomaron con una diferencia mínima de 5 golpes entre ellos. Para obtener la plasticidad, se graficaron las humedades versus el número de golpes, en un gráfico semilogarítmico. El límite plástico se obtiene con la siguiente fórmula $L_p = LL - L_p$, donde LL es el porcentaje de humedad que se interpola en la recta a los 25 golpes. El índice para materiales cerámicos se interpreta de la siguiente manera: índice mayor a 10 corresponde a una plasticidad alta, de 5 a 10 moderada y menos de 5 baja.

2.2 Acople de los esmaltes y vidrios primarios

Como base brillante para el proceso Raku se eligió la frita transparente de bajo punto de fusión denominada EFA-35 (ESFEL S.A.). Como base opacificadora se eligió el esmalte opaco CF-620 (ESFEL S.A.) y el esmalte FA-238 blanco mate (ESFEL S.A.).

La granulometría de la frita fue obtenida con los procesos explicitados en los numerales anteriores (2.1.2). Previo a las pruebas de esmaltado, todas las fritas fueron molidas y pasadas por malla 100. La base EFA-35, se preparó con 50% de agua y 50% de frita molida. CF-620 y FA-238, fueron preparadas mezclando un 40% de la frita con un 50 % de agua y un 10% de caolín crudo. En todos los casos, la mezcla fue realizada con ayuda del molino de bolas; la molienda se mantuvo durante 2 horas.

Para probar los esmaltes, estos fueron aplicados por inmersión en las placas de las pastas de la siguiente manera: la pieza se sumergió y sacó rápidamente con una torsión o una sacudida a fin de que el esmaltado se distribuya por sí mismo lo más uniformemente posible y el exceso sea rechazado y devuelto al depósito de inmersión. Se dejó secar y quemó a temperaturas entre 950 a 1000°C en un horno confeccionado para hacer Raku con temperatura controlada mediante conos pirométricos. En las placas esmaltadas

quemadas se analizaron los siguientes parámetros: brillo, color y textura. En cuanto al brillo, los esmaltes fueron clasificados en: mate, semi-mate, opaco, semi-opaco y brillante. La textura se refiere al aspecto de la superficie esmaltada quemada pudiendo ser: lisa, ondulada, áspera.

2.3 Desarrollo de la pasta, dosificación y elección de las pasta

Como se ha indicado anteriormente, se necesitan los siguientes elementos para la obtención de una pasta adecuada para el Raku: material altamente plástico que facilite el moldeo de la pieza, además este material deberá fundir a baja temperatura. Igualmente es necesario un buen desengrasante que proporcione alta porosidad a la pasta de tal manera que en el momento en que la pieza es sacada del horno al rojo, el enfriamiento sea lo más uniforme posible en todos los rincones de la pieza.

La contracción al ser uniforme evitará que la pieza se rompa; además, la porosidad deberá ser conveniente para una buena adhesión del barniz. Para obtener una pasta con los parámetros buscados en la pasta Raku, se han determinado los siguientes límites de materiales: material plástico entre un 60 y 70 % y material desengrasante entre un 30 y 40 %. Las pastas fueron dosificadas y elegidas siguiendo el diagrama de flujo, presentado en la Figura 1. Tres rondas con al menos 4 pastas cada una fueron realizadas hasta elegir dos pastas. Para probarlas en cuanto a moldeabilidad, se reunió a 3 artistas, 4 artesanos y 5 voluntarios para que hicieran figuras cerámicas diferentes. Los métodos de moldeo empleados fueron: laminado, torneado, rollos, modelado artístico y colado. Se obtuvieron piezas pequeñas, medianas y grandes con paredes delgadas y gruesas. Se consideraron piezas pequeñas cuando sus dimensiones fueron inferiores a 10 x 10 cm, medianas menores de 30 x 20 cm y grandes sobre los 30 x 20 cm. En lo referente a paredes, se consideraron paredes finas las de menos de 3 mm de espesor y paredes gruesas las de espesor superior a 5 mm.

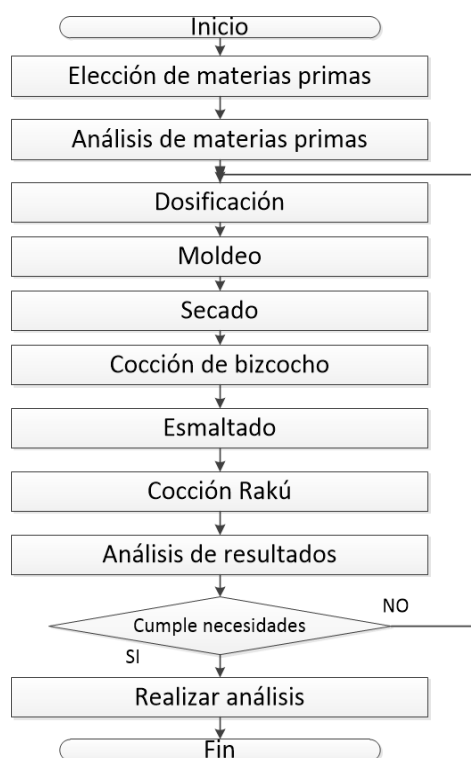


Figura 1. Diagrama de flujo para dosificación y elección de una pasta apta para el Raku.

Los objetos fueron secados y cocidos a 950°C en el horno (Nabertherm N300H). Posteriormente, fueron esmaltados con los esmaltes comerciales acoplados. Las piezas esmaltadas fueron probadas en el proceso Raku. En base de los resultados, se mejoraron las pastas y se reinició el proceso, hasta elegir la pasta con mejores propiedades para la técnica.



Figura 2: *Proceso Raku: a) elaboración de las piezas, b) cocción para obtención del bizcocho, c) esmaltado, d) y e) cocción para fundición del esmalte f) reducción g) enfriamiento h) pieza final*

El proceso Raku se desarrolló de la siguiente manera, ver Figura 2. Después de realizar la primera cocción de las piezas (obtención del bizcocho), Figuras 2a y Figura 2b, se procedió a esmaltarlas, Figura 2c. Las piezas esmaltadas y secas se pusieron en un horno de bidón Raku, se dejaron las piezas hasta que el esmalte se fundiera, Figura 2d. Una vez fundido se sacaron las piezas al rojo con una pinza y se arrojaron sobre aserrín, Figura 2e y Figura 2f. Se dejó en este proceso unos minutos y luego se paró la reducción, arrojando las piezas al agua fría, Figura 2g. Las piezas, al final fueron limpiadas y revisadas para determinar posibles grietas y para observar los efectos obtenidos en el esmalte, Figura 2h.

3. Resultados y Discusión

3.1 Caracterización de las materias primas

En la Tabla 2, se puede observar los resultados de los análisis de las materias primas. En los resultados presentados en la Tabla 2 se puede observar que los materiales arcillosos que más humedad retienen, menor tamaño presentan y congruente con esto, más plásticos, son: Pucará, Jimena y Sinincay.

Por otro lado, los materiales Nueva Cofradía y PVI-Astillado tienen poca plasticidad y en concordancia sobre el 40 % de estos materiales fue retenido en la malla 20 ASTM y bajo el 15 % pasó la malla 325 ASTM.

Tabla 2. Materias primas: pH, humedad, plasticidad y porcentaje retenido en malla 40 ASTM y pasado por malla 100 ASTM

Material	PH	% HUMEDAD	PLASTICIDAD	RETENIDO EN	NO RETENIDO EN
				MALLA 40	MALLA 100
Pucará	4.5	12.0	12.8	0.3	97.5
Jimena	4.6	8.0	10.10	4.7	83.1
Tigre	7.7	5.0	8.0	3.4	90.0
Nueva Cofradía	7.6	3.0	4.0	42.4	11.8
Sinincay	4.9	5.0	10.42	0.4	96.6
PIV-Astillado	5.6	3.5	3.0	54.9	13.6
Paz negra	5.0	5.0	6.08	2.3	79.6
Chamota	-	0.0	-	48.8	0.7
Aserrín	-	25	-	0.0	4.4

En la Figura 3 se puede observar el resultado de las pruebas de granulometría de cada arcilla y material desengrasante. Se ve claramente las tendencias de la distribución de tamaño de grano de los materiales arcillosos y de los no arcillosos. Por ejemplo, Sabilapamba y Sinicay que son las arcillas más plásticas tienen un menor tamaño de grano en comparación con los otros materiales. Los materiales PIV-Astillado y Nueva Cofradía que resultaron tener poca plasticidad, tienen tamaños de grado mayor.

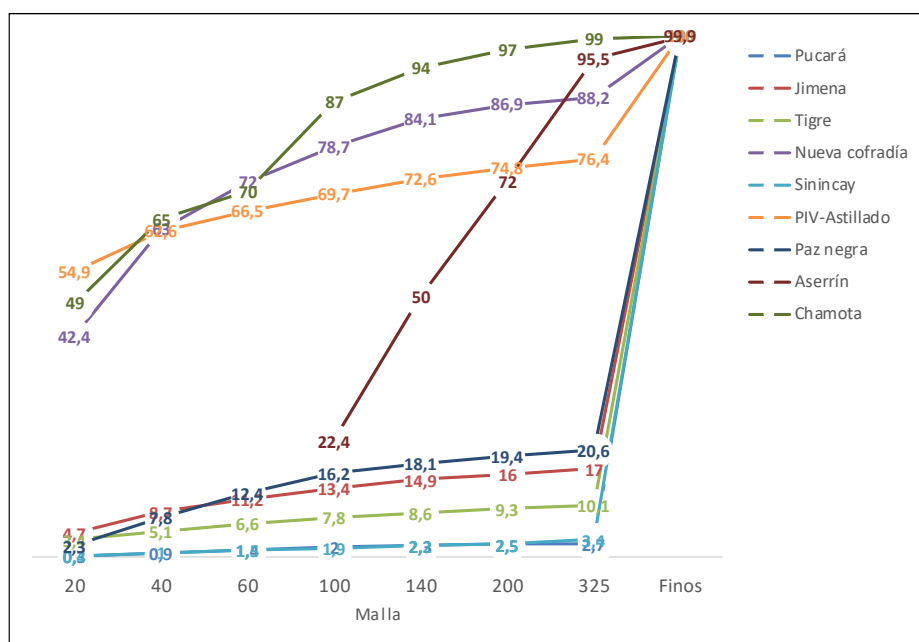


Figura 3. Porcentaje acumulado del material retenido en cada malla

En el caso del aserrín al ser en polvo pasa por los tamices de tamaño de poro pequeño. Una distribución más homogénea se ve en la chamota. En ambos casos, se debe considerar que un material pequeño tiene más superficie de contacto y por lo tanto tendrá una acción desengrasante más intensa en detrimento de la plasticidad.

Tabla 3. Absorción, porosidad, contracción al secado y a la quema en malla 40 y 100 ASTM

Material	ABSORCIÓN, %		POROSIDAD, %		CONTRACCIÓN AL SECADO, %		CONTRACCIÓN A LA QUEMA 950°C, %		COLOR A LA QUEMA
	#100	#40	#100	#40	#100	#40	#100	#40	
Pucará	28.4	28.6	39.0	40.0	16.0	14.3	5.0	4.7	Blanco
Jimena	22.0	24.0	36.0	38.5	15.0	13.0	4.7	4.6	Crema
Tigre	17.0	16.8	27.0	29.0	7.5	6.0	0.5	0.5	Rojo
Nueva Cofradía	16.0	17.0	26.0	17.0	6.0	4.0	0.3	0.2	Rojo
Sinicay	25.8	26.5	37.0	38.0	10.0	8.0	2.2	2.2	Crema
PIV-Astillado	26.0	30.1	39.0	42.0	5.0	4.0	0.5	0.0	Hueso
Paz negra	22.9	23.4	34.0	36.0	8.0	7.0	2.7	2.3	Plomo

Se puede observar en la Tabla 3 los resultados obtenidos. Los materiales Pucará, Jimena, Paz negra y Sinicay presentaron alta contracción al secado y porosidad. El material Tigre, resultó ser medianamente plástico, de poca contracción al secado y a la quema, esta arcilla roja presentó un porcentaje de absorción de agua inferior a las otras arcillas. El material Nueva cofradía presentó poca plasticidad, poca contracción al secado y no presentó contracción a la quema. El material Astillado, no es plástico y es de grano grueso con mucha sílice visible; no se contrajo y no vitrificó a 950°C.

Debido a resultados obtenidos, se eligieron a los materiales arcillosos Pucará, Jimena y Sinicay por ser muy plásticas mientras que los materiales Tigre y Nueva cofradía fueron elegidos como fuentes de fundente en las pastas.

3.2 Dosificación y elección de la pasta

En base a los resultados de la caracterización de la materia prima se propusieron 4 pastas diferentes (I, II, III y IV), ver Tabla 4.

Se moldearon todas las pastas preparadas, los objetos obtenidos se secaron y bizcocharon y posteriormente se realizó con ellos una simulación de esmaltado Raku. Para ello, se llevó a los bizcochos a 950°C en una mufla, siguiendo el ciclo de quema detallado a continuación: T1, 560°C; T2, 950°C; Slope, 280°C/h; tiempo de residencia, 15 min. Después se les retiró de la mufla, se les redujo en aserrín por 3 minutos y finalmente se les arrojó al agua para terminar la reducción.

La elección de las pastas en la primera fase se hizo de acuerdo a, i) la opinión sobre la trabajabilidad de las pastas, emitidos por los artistas, artesanos y voluntarios, así como por, ii) la resistencia presentada en la prueba Raku. Las pastas elegidas en esta primera etapa fueron las pastas III y IV, ninguna de las dos tiene el material Paz negra. Ambas pastas presentaron buena cohesión y resistencia, y la porosidad está dentro de lo esperado, ver Tabla 5.

Tabla 4. Pastas dosificadas

Material %	PASTAS											
	I	II	III	IV	IIIA	IIIB	IIIC	IIID	IVA	IVB	IVC	IVD
Pucará	5	5	5	1	5	5	5	5	6	5	1	0
Jimena	10	15	25	25	45	35	52	25	1	5	0	0
Tigre	20	30	30	14	10	25	5	23	13	10	20	15
Nueva cofradía	5	0	5	0	5	5	3	2	0	5	0	0
Sinincay	0	0	0	25	0	0	0	0	45	40	44	50
Paz negra	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chamota #8	40	30	35	0	35	35	35	35	0	0	0	0
Chamota #8-60	0	0	0	35	0	0	0	0	35	35	35	35

Siguiendo el diagrama de la figura 1, una vez elegidas las pastas, se procedió a proponer pastas usando como base las dos mezclas elegidas, III y IV, ver Tabla 4. Similar a la primera fase, las pastas fueron moldeadas por el panel de expertos, analizadas y testeadas en el proceso Raku.

En esta fase, si se esmaltaron a las piezas. Las piezas fueron secadas y bizcochadas a 950°C en el horno cerámico normal usando el ciclo de quema detallado anteriormente. Se dejaron enfriar y esmaltaron las piezas con las bases de esmalte.

De las pruebas realizadas con los esmaltes, se encontró que la base opacificada y el esmalte blanco mate funden a 1000°C; para bajar los puntos de fusión de las mencionadas bases, éstas fueron mezcladas con EFA-35 que tiene un punto de fusión más bajo. Las pruebas se realizaron mezclando los esmaltes con un 40 %, 25 %, y 10 % de EFA-35.

Con estos cambios se lograron esmaltes base mates que fundieron a 950°C.

Las piezas esmaltadas fueron nuevamente quemadas pero esta vez usando un horno de bidón Raku, ver Figura 2c y 2d. Una vez fundido el esmalte, las piezas fueron retiradas y colocadas en el aserrín. Luego de 5 minutos las piezas fueron tomadas con una pinza y sumergidas en agua. Todas las piezas esmaltadas resistieron bien al choque térmico y presentaron valores técnicos dentro de lo esperado, ver Tabla 5. Las pastas formuladas más apreciadas por artistas y artesanos que trabajaron con estas fueron las pastas IV y IIID. Se les pidió a ellos que eligieran entre estas dos pastas, la pasta IV fue la elegida por ser considerada de mayor moldeabilidad.

Con el propósito de mejorar la plasticidad de la pasta se hicieron pruebas reemplazando una parte de la chamota por aserrín; así se consiguieron 7 pastas diferentes en base de la

pasta IV. Las pastas, IV1, IV2, IV3, IV4, IV5, IV6 y IV7, contuvieron respectivamente los siguientes porcentajes de aserrín y chamota: % aserrín (1, 2, 3, 5, 10, 2, 2) y % de chamota (30, 28, 26, 25, 20, 28, 18). Todas resistieron el choque térmico en la prueba de quema y proceso Raku pero en cuanto a la plasticidad los expertos consideraron que las pastas IV1, IV2, IV6 y IV7 presentaron buena plasticidad, a diferencia de las pastas IV3, IV4 y IV5. Este resultado es debido a que el aserrín de poco peso y baja densidad, tuvo que ser incorporado en gran volumen; hay que sumar a esto, la alta superficie de contacto del aserrín debido a su bajo tamaño; esto concurrió en disminuir en alto grado la plasticidad de la pasta.

Tabla 5. Características de las Pastas dosificadas

Material	PASTAS											
	I	II	III	IV	IIIA	IIIB	IIIC	IIID	IVA	IVB	IVC	IVD
Porosidad, %	42.9	37.7	38.0	38.4	35.0	37.0	38.0	37.0	36.9	37.0	36.8	38.8
Absorción, %	32.0	25.0	25.2	24.5	21.7	22.5	24.0	24.0	22.7	22.7	21.5	23.5
Contracción al secado, %	6.0	7.8	11.0	8.5	10.5	10.0	10.0	11.0	6.5	6.0	6.0	7.0
Contracción a la quema, %	0.7	0.9	1.0	1.5	1.1	0.3	0.5	0.6	1.5	2.0	1.5	0.1
Contracción total, %	6.7	8.7	12.0	10.0	11.6	10.3	10.5	11.6	8.0	8.0	7.5	7.1
Retenido malla 100, %	-	-	-	-	19.0	20.0	22.0	20.0	18.0	14.0	20.0	23.0
Retenido malla 325, %	-	-	-	-	30.0	32.0	24.0	32.0	30.0	27.0	30.0	30.0
Moldeabilidad	R	R	B	MB	R	R	R	B	R	R	MB	R
Cohesión	B	B	B	B	-	-	-	-	-	-	-	-
Resistencia al choque térmico	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si

M: mala, R: Regular, B: Buena, MB: Muy Buena, E: Excelente

Al final las pastas IV1 y IV2 fueron elegidas. Se moldearon 30 piezas de cada pasta de distinto tamaño y con distintas técnicas. Todas las piezas fueron secadas durante 12 días. Todas las piezas se bizcocharon, esmaltaron y sometieron al proceso Raku. Para esta prueba se mezclaron con las bases diferentes óxidos metálicos, ver tabla 6, para lograr la reducción Raku también en el esmalte. Ninguna pieza sufrió rotura.

En esta prueba se pudo evidenciar los diferentes efectos logrados con esta técnica como son el craquelado del esmalte y la reducción, ver Tabla 6.

Con estos resultados, se eligió finalmente a la pasta IV1 por ser la de mayor moldeabilidad y cohesión. La pasta IV1 resultó tener las siguientes características: humedad a la salida del molino del 60 %; pH de 4, plasticidad de 10.24, plasticidad después de 1 mes de maduración de 10.56. Granulometría: 6.3% retenido en malla 20, 12.4 % en malla 40, 17.33% en malla 60, 21.8% en malla 100, 24.8% en malla 140, 27.19% en malla 200 y el 30,7 % en malla 325. El bizcocho tuvo un color rosado a la quema, resistencia a la ruptura de 1.5 N/mm², contracción al secado de 8.6 %, contracción a la quema de 1 %; absorción

de 24,1 % y porosidad de 38 %. Se densidad real fue de 2.44 g/mL y la densidad aparente de 1.54 g/mL.

Tabla 6. Tabla de la reducción de los óxidos

OXIDO ORIGINAL	COLOR ORIGINAL	COMPUESTO REDUCIDO	COLOR DESPUÉS DE REDUCCIÓN
Fe ₂ O ₃	Amarillo – rojo	FeO	Verde – azul
FeO	Negro	Fe metálico	Negro - marrón
CuO	Verde – negro	Cu ₂ O	Rojo sangre-violeta-marrón
Cu ₂ O	Rojo sangre	Cu metálico	Rojo cobre metálico
MnO ₂	Negro	Mn metálico	Negro verdoso - verde-azul
Ni ₂ O ₃	Negro	NiO	Amarillo verdoso – verde
NiO	Verde	Ni metálico	Amarillo- gris

En la Figura 4 se puede apreciar una pieza Raku terminada donde se puede ver efectos en el esmalte como craquelado y reducción metálica, además, se observa la reducción de la pasta.



Figura 4. Pieza Raku moldeada por María Augusta Vega. Foto tomada por Esteban Sánchez Garzón

4. Conclusiones

Después de probar con varias dosificaciones propuestas desde el punto de vista técnico, se obtuvo una pasta apta para ser trabajada a mano por artistas y artesanos y que resiste al choque térmico de la técnica Raku usando materias primas del medio. Esta pasta permitió que se acoplen bases brillantes y opacas, existentes en el mercado nacional y que trabajaron apropiadamente en el Raku. El porcentaje de porosidad elevado garantiza que las pastas sean resistentes al choque térmico que requiere el proceso Raku, todas las pastas que resistieron tienen una porosidad entre el 35 % y 42 %. El reemplazo de chamota por aserrín fino, se debe realizar sólo en porcentajes bajos, hasta un 2 %, pues a mayores porcentajes se produce una disminución drásticamente de la plasticidad de la pasta.

Agradecimientos

Este trabajo se realizó como trabajo de tesis para la obtención del título de Ingeniero Químico. Se agradece al Dr. Virgilio Espinoza por proporcionarnos algunos de los materiales usados en esta tesis. Además, queremos agradecer a la Facultad de Ciencias Químicas por permitirnos usar sus laboratorios.

Referencias

- [1] L. Sjoman, Ed., *Cerámica Popular, Azuay y Cañar*, 1ra ed. Cuenca: CIDAP, 1991.
- [2] M. A. McGriff, "Raku: traditions and innovations," Ball State University, Indiana, 2007.
- [3] J. R. Kozenczak and K. M. Kozenczak, "A new dimension to an ancient technique," *Glass Met.*, vol. 29, no. 5, pp. 110–111, 2010.
- [4] K. Mohd, "The Influence and Remaining Japanese Cultural Elements in Raku Artworks of Contemporary Non Japanese Artists/Potters," in *The Asian Conference on Arts & Humanities 2013*, Osaka, Japan, 2013.
- [5] J. Hanes, "Handmade Culture: Raku Potters, Patrons, and Tea Practitioners," *Stud. Art Educ.*, vol. 49, no. 1, pp. 77–80, Oct. 2007.
- [6] N. Caruso, *Ceramica raku*. HOEPLI EDITORE, 2001.
- [7] A. Ali, M. T. A. M. Talib, R. Anwar, A. R. Jalil, and M. Shibata, "Impact of Fibre Wall Raku Kiln Design in Execution of Reduction Firing," in *Proceedings of the International Symposium on Research of Arts, Design and Humanities (ISRADH 2014)*, O. H. Hassan, S. Z. Abidin, R. Anwar, and M. F. Kamaruzaman, Eds. Springer Singapore, 2015, pp. 245–254.
- [8] P. Gennings and others, "Overseas: Naked Raku," *J. Aust. Ceram.*, vol. 52, no. 2, p. 93, 2013.
- [9] R. S. Cichowski, "Raku: A redox experiment in glass," *J. Chem. Educ.*, vol. 52, no. 9, p. 616, Sep. 1975.
- [10] A. I. Avgustinik, *Cerámica*, Edición: 1. Editorial Reverte, 1983.
- [11] N. Carruso, *Cerámica Viva*. Omega, 1986.
- [12] J. Morale, *Tecnología de los materiales cerámicos*, Edición: 1. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S.A., 2013.
- [13] F. Singer and S. Singer, *Cerámica Industrial, Tomo I*, URMO., vol. Principios generales de la fabricación de cerámica. España.
- [14] J. Morales, J. Morán, M. Quintana, and W. Estrada, "Síntesis y caracterización de nanopartículas de plata por la ruta sol-gel a partir de nitrato de plata," *Rev. Soc. Quím. Perú*, vol. 75, no. 2, pp. 177–184, Apr. 2009.
- [15] D. Hooson, *Guía Completa Del Taller De Ceramica. Materiales, Procesos, Técnicas Y Sistemas De Conformación*. Barcelona: Promopress, 2013.
- [16] B. Sentance, *Cerámica: Sus técnicas tradicionales en todo el mundo*, Edición: 1. Editorial Nerea, S.A., 2005.
- [17] H. Riegger, *Raku, art & technique*. Van Nostrand Reinhold, 1970.
- [18] P. Rado, *Introducción a la tecnología cerámica*. Omega, 1990.
- [19] P. Hald, *Técnica de la Cerámica*, 4ta ed. España: Omega, 1985.

[20] F. H. Chavarría and C. Aguilar, “Los colores estructurales en la naturaleza y la cerámica Rakú,” *El Artista Rev. Investig. En Música Artes Plásticas*, no. 5, pp. 18–25, 2008.

[21] L. Boomfield, *Guía de esmaltes cerámicos*. Gustavo Gili, 2016.