

Evaluación del mezclado en la fabricación del filtro doméstico tradifiltro

Mixing evaluation in the household clay filter production

Dra.C. Sarah Barreto-Torrella^I sara.barreto@reduc.edu.cu, Ing. Raúl Pérez-Marín^{II}, MSc. Yamila Recio-Rodríguez^{III}, Dra.C. Hilda Oquendo-Ferrer^I.

^IUniversidad "Ignacio Agramonte Loynaz", Camagüey, Cuba; ^{II}UEB Torrefactora de Café, Ciego de Ávila, Cuba; ^{III}Centro Integrado de Tecnologías del Agua (CITA), Camagüey, Cuba.

Resumen

Con el fin de evaluar la calidad del mezclado de arcilla y aserrín en una fábrica de filtros de arcilla para el tratamiento doméstico de agua se seleccionó, como indicador, el % de cenizas que se determinó en cada componente, también en la mezcla y en distintos puntos del mezclador a diferentes tiempos. Se realizó un análisis de varianza multifactorial para determinar si había diferencias en la composición de la mezcla entre los diferentes puntos de muestreo y a los distintos tiempos de mezclado. Luego se hizo una prueba de hipótesis, para verificar si era igual el contenido del trazador, a los diferentes tiempos, al valor teórico calculado. Se determinó la relación existente entre el contenido de cenizas y el índice de mezclado con el tiempo de mezcla y se determinó el tiempo requerido para el mezclado, su eficiencia y los factores que lo afectan. Se comprobó la segregación de partículas de aserrín, la homogeneidad de la mezcla en los diferentes puntos y un excesivo tiempo de mezclado, siendo suficiente 3–4 min.

Palabras clave: mezclado, mezcla arcilla aserrín, filtro doméstico de agua.

Abstract

In order to evaluate clay and sawdust mixing quality in the clay filters factory for domestic water treatment it was selected ash content in % as indicator and determined its concentration in each component, in homogenous mixture and in different points of the mixer at different times. A multifactorial variance analyze was done to determine if were differences in mixture content between various sampling points and in diverse sampling times. Then a hypothesis test was done to verify if indicator content was equal in different times to theoretical calculated value. The relationship between the ash content and the mixing index with the mixing time was determined and the time required for mixing, its efficiency and factors affecting it. Segregation of sawdust particles was verify, mixture homogeneity in different points and excess in current mixing time, being sufficient 3–4 min.

Keywords: mixing, clay sawdust mixture, household water filter.

Introducción

La cobertura actual de redes de acueducto no garantiza su abastecimiento a toda la población, en el mundo 1100 millones de personas carecen de instalaciones necesarias para abastecerse de agua /1/, en Cuba en 2010 el

92,7 % de la población tenía acceso a agua potable (98,3 % del área urbana y 75,7 % de la rural), con conexión domiciliaria 75,2 % (87,6 y 37,7 % de las áreas urbana y rural respectivamente), con fácil acceso 12,1 % /2/, esto conduce a la necesidad del tratamiento doméstico del agua. Entre los métodos empleados se encuentran los filtros de cerámica. En 2012 más de 4 millones de personas utilizaron mundialmente filtros de agua de tipo vasija de cerámica (CPF), como sistema de tratamiento para sus necesidades diarias de agua potable, los procesos en la manufactura de los filtros son inestables entre distintas fábricas y dentro de ellas mismas lo que incluye la consistencia de los materiales, los métodos de manufactura y la calidad del control del proceso /3/.

La fabricación del filtro de arcilla tradifiltro es artesanal, se pierden muchas unidades en el proceso productivo, porque al realizar la determinación de la tasa de filtración para el control de la calidad se detectan unidades filtrantes con tasas de filtración superiores a 3 L/h, que es el límite establecido por la institución que las fabrica/4/ y se descartan, sin embargo, /3/recomiendan que éstas se encuentren entre 1 – 2,5 L/h y /5/ señalan que debe ser, preferiblemente, 1,7 L/h. Una evaluación de las tasas de filtración de los filtros “tradifiltro” mostró que estas no son uniformes y que su valor promedio es de 2,7 L/h, con un valor máximo de 6 L/h /6/; deben evitarse filtros con tasas de filtración mayores al rango indicado anteriormente porque no favorecen la calidad del agua y predisponen a los filtros al agrietamiento /7/.

Se relacionan los tamaños de partículas de arcilla y aserrín con la calidad de agua obtenida y con la tasa de filtración, lo cual se debe al tamaño de los poros y a la porosidad /8, 3, 9/, pero es importante para obtener un mezclado eficiente de sólidos lograr que el tamaño de partículas sea lo más semejante posible para que estas tengan una movilidad parecida, aunque también hay que considerar sus masas todo ello conduce a una mayor cohesión/10/. De la calidad del mezclado dependen la eficiencia y los costos de operaciones posteriores/11/.

El mezclador usado en la fábrica fue elaborado por esa entidad, por lo que se impone determinar si la mezcla es homogénea, pues de lo contrario pueden aparecer zonas en el filtro con mayor o menor cantidad del material formador de poros, que en este caso es el aserrín, lo primero puede conducir a la formación

de grietas, debido a que el tamaño de las partículas del material quemante determina el tamaño de los intersticios/7/, también puede comprometer la integridad estructural del material y lo segundo una menor porosidad en aquellas zonas menos favorecidas lo cual afecta la calidad del producto, porque en filtros impregnados con plata coloidal una mayor porosidad favorece la reducción bacteriana/3/. En la homogeneidad también influye el tiempo de mezclado; existe un tiempo óptimo de mezclado, el cual se debe determinar mediante ensayos. Con amasadora de laboratorio de dos brazos se ha alcanzado menos de 2 min con índice de mezcla menor que /18,12/.

El objetivo de este trabajo es evaluar la calidad del mezclado en el proceso de producción del filtro de cerámica tradifiltro, usando como indicador el contenido de cenizas en los componentes de la mezcla y en esta a distintos tiempos y en diferentes puntos del mezclador. La determinación de la relación existente entre el contenido de cenizas en la mezcla con el tiempo de mezclado permite definir el tiempo requerido para dicha operación, su eficiencia y los factores que la afectan.

Descripción del proceso productivo con énfasis en el de mezclado

Las unidades filtrantes consisten en una vasija de barro, en forma de cono truncado con estructura de barro y capacidad para 9,6 L de agua tratada.

La producción de los filtros de cerámica se realiza por lotes de 100 unidades. La tecnología para su fabricación consiste en: el pulverizado y tamizado de la materia prima, el mezclado seco y húmedo, el moldeado, el secado, la cocción y el enfriamiento e impregnación con plata coloidal, aunque no siempre se realiza esto último. Se hacen controles de la tasa de filtración y de las características físico químicas y sanitarias del agua, para su comercialización con una garantía de calidad, ver figura 1.

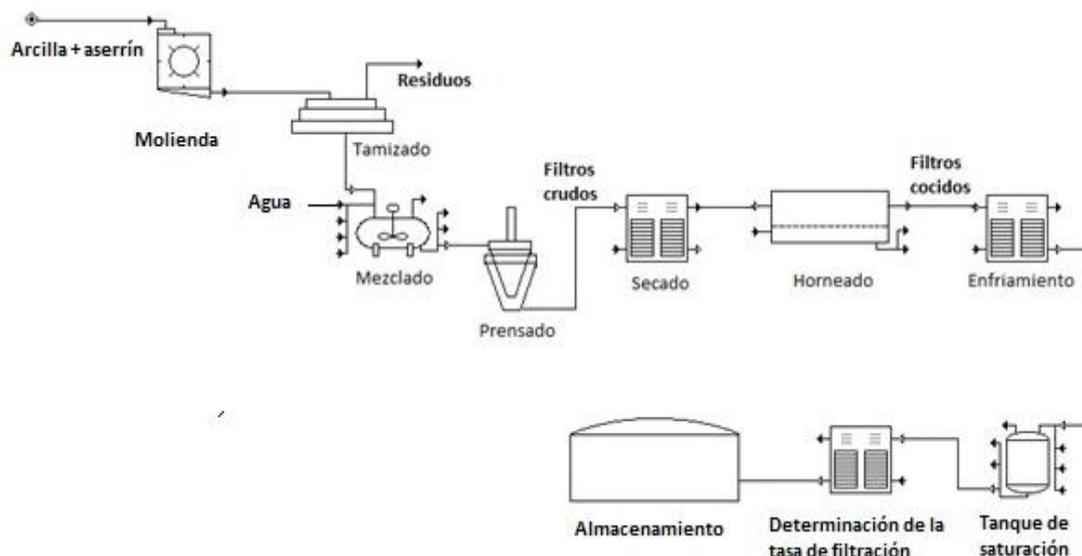


Fig. 1 Diagrama de flujo de la producción del filtro de cerámica “tradifiltro” para la purificación de agua.

La arcilla empleada para la fabricación del tradiFiltro proviene del préstamo conocido como “Santa Teresa”, cuyo contenido, en %, es: SiO₂ (50 – 60), Al₂O₃ (14, 5 -17), Fe₂O₃ (7,5-9,5), CaO (1,28-11,82), MgO (2-4), Na₂O < 3, K₂O < 3, SO₃ < 0,2 /14/. El aserrín utilizado para la mezcla con la arcilla es de pino y proviene generalmente del aserrío de San Felipe.

El mezclado de las materias primas se realiza en una mezcladora donde se unen las proporciones de arcilla y aserrín, previamente secados al sol, molidos en un molino de martillo y tamizados por medio de un tamiz (malla 20) para obtener una granulometría menor que 0,84 mm. Se pesan 27,2 kg de arcilla y 3,4 kg de aserrín (8:1) que son introducidos en el mezclador, el material aglomerante que se emplea es agua, ver figura 1. El mezclado se hace primero en seco, por espacio de 10 min, ver figura 3, luego se va adicionando el agua en forma de gotas, con ayuda de una regadera, a la mezcla seca y se mantiene el mezclado por 10 minutos más. Se comprueba la consistencia de la masa y, de ser necesario, se adiciona agua hasta obtener la requerida. Se extrae toda la masa de la mezcladora y se le realiza un pesaje, luego se divide en 6 partes iguales que se envían al prensado con los moldes.

Equipo empleado para el mezclado

Para el mezclado de la materia prima se usa un mezclador de paletas con tres brazos, ver figura 2, se utiliza tanto para la mezcla en seco como húmeda, con

productividad, por capacidad, para 6 unidades, posee un motor eléctrico con frecuencia de giro de $1700 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$, la tensión nominal es de 220 V, la potencia nominal de 2 kW.



Fig. 2 Mezclador empleado en el proceso de fabricación del tradifiltro.

Métodos y medios utilizados

Procedimiento para la evaluación de la eficiencia del mezclado

Se preparó la mezcla del mismo modo que se hace habitualmente, tal como se describió antes.

Para determinar la eficiencia del mezclado se usó el “índice de mezclado”(Ip) /12,11/. Como sustancia trazadora se empleó el contenido de cenizas, que se determinó en el laboratorio según /13/, para los componentes y la mezcla. El secado se hizo en una estufa, el pesaje de las muestras secas se realizó en una balanza analítica FA1204B, las muestras se incineraron en una mufla. A los parámetros hallados se les determinó el valor promedio y la desviación estándar.



Fig. 3 Arcilla y aserrín luego de ser mezclados en seco.

Con el contenido de cenizas y con la masa de cada uno de los componentes se halló la composición de la mezcla, en %, a partir de un balance de masa por componentes utilizando la ecuación (1).

Se sometieron al mezclado en seco a los dos componentes, arcilla y aserrín, durante 10 min, previamente triturada la arcilla y cernidos ambos con una malla 20, luego se adicionó agua y se continuó mezclando durante 15 min más. Se tomaron muestras a la mezcla húmeda, al azar, a dos tiempos: 10 y 15 min, en 5 puntos del mezclador, a las que se les determinó el contenido de cenizas del mismo modo descrito anteriormente, con tres réplicas de cada una.

$$C_{Cen_{Mez}} = \frac{C_{cen_{AS}} \cdot M_{AS} + C_{cen_{ARC}} \cdot M_{ARC}}{\Sigma M_{MEZ}} \quad \text{ecuación (1)}$$

Se comprobó si los datos poseían una distribución normal, mediante la prueba Shapiro-Wilk.

Se realizó un análisis de varianza multifactorial para determinar si había diferencias en la composición de la mezcla entre los diferentes puntos de muestreo y a los distintos tiempos de mezclado, midiéndose el por ciento másico de cenizas. Luego se hizo una prueba de hipótesis, para verificar si era igual el contenido de cenizas, a los distintos tiempos, con el valor teórico calculado. Para el análisis estadístico se empleó el paquete STATGRAPHICS XVI.II.

Se determinó, por regresión polinómica, la relación existente entre el indicador mencionado y en tiempo de mezclado, con el por ciento másico de cenizas, determinado a los 10 min y a los 15 min, y se usó para, junto con las demás

pruebas, evaluar la calidad del mezclado, el tiempo requerido para dicha operación, y los factores que lo afectan.

Se comprobó por observación la existencia o no de zonas muertas y/o segregación de partículas.

Determinación del índice de mezclado

El índice de mezclado se determinó por la ecuación (2), según /12, 11/

$$I_p = \sqrt{\frac{(N-1)\mu(1-\mu)}{\sum_{i=1}^N x_i^2 - \bar{x} \sum_{i=1}^N x_i}} \quad \text{ecuación (2)}$$

Resultados y discusión

Composición de la arcilla y el aserrín y de la mezcla

La composición de materia seca y cenizas de la arcilla y del aserrín se muestran en las tablas 1 y 2, nótese que la composición de cenizas del primer componente supera a la del segundo en 61,8 veces, lo cual facilita apreciar el enriquecimiento o empobrecimiento de la mezcla en cualquier zona de arcilla, comparándola con la composición promedio.

Como se aprecia los CV son pequeños, menores que un 10 %, lo que indica que la media es representativa de la población.

El valor obtenido del contenido de cenizas en la mezcla, determinado por la ecuación uno, a partir de los valores mostrados en las tablas 1 y 2 fue de 80,8985 %.

Tabla 1
Contenido de materia seca y cenizas de la arcilla

Estadígrafos	% MS	% ceniza
\bar{x}	95,80	90,82
S	1,193	0,082
CV (%)	1,24	0,09

Tabla 2
Contenido de materia seca y cenizas del aserrín

Estadígrafos	% MS	% ceniza
\bar{x}	86,71	1,47
S	6,273	0,128
CV (%)	7,23	8,70

Evaluación de la calidad del mezclado

En la tabla 3 se ofrecen los resultados de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk atendiendo a que el valor obtenido de la probabilidad excedió el de 0,05 se pudo afirmar que no existían elementos suficientes para dudar que los valores recogidos tuvieran un comportamiento similar a una curva normal.

Tabla 3
Resultados de la prueba de normalidad para el contenido de cenizas de la mezcla

<i>Prueba</i>	<i>Probabilidad</i>
Shapiro-Wilk W	0,115 842

Los resultados del análisis de varianza multifactorial, mostrados en la tabla 4, para N = 26 demuestran que hay diferencias significativas para los diferentes tiempos de mezclado ($p = 0,002\ 4$), no así para los puntos de muestreo ($p = 0,529\ 6$). La no existencia de diferencias entre los distintos puntos de muestreo en ambos tiempos demuestra que el mezclado es homogéneo.

Al no hallarse diferencias entre los puntos de muestreo y sí entre los tiempos de mezclado, se comparó el % de cenizas a los 15 min con el valor teórico calculado por la ecuación uno (80,898 5 %) que debe tener la muestra homogénea, considerando las masas añadidas de cada componente y su composición en % de cenizas (tablas 1 y 2). Se obtiene para ese tiempo (N =12) una media muestral de 82,016, una mediana de 82,08, con una desviación estándar de 0,322. Para los 10 min (N =11), la media muestral es de 81,37, la mediana 81,16 y la desviación estándar 0,630

Tabla 4
Resultados del análisis de varianza multifactorial entre los puntos de muestreo y los tiempos de mezclado

Factores	Probabilidad
Puntos de muestreo	0,529 6
Tiempos de mezclado	0,002 4

Los resultados de la prueba de hipótesis comparando los % de cenizas a los 10 y a los 15 min, cuyos estadígrafos se exponen en la tabla 5, con el valor teórico calculado muestran que hay diferencias significativas en ambos casos,

ver tabla 6, lo cual indica que pudiera existir segregación de arcilla, ya que las concentraciones de ceniza superan al valor de referencia calculado.

Tabla 5
Estadígrafos determinados para cada tiempo de mezclado

T, min	N	\bar{x}	Me	S
10	11	81,37	81,158	0,630
15	15	82,02	82,080	0,322

Tabla 6
Resultados de la prueba de hipótesis

Prueba t			
Hipótesis nula: media = 80,8985			
Alternativa: no igual			
T, min	N	t	P
10	11	2,481 29	0,032 4709
15	15	13,437 7	$2,160 7 \cdot 10^{-9}$

Sin embargo, la prueba de chi-cuadrada arrojó que, para los 10 min, no se puede rechazar la hipótesis nula, con un nivel de confianza del 95,0% ($p = 0,102 37$).

Se obtuvo, por regresión polinómica la relación existente entre el contenido de cenizas de la mezcla y el tiempo de mezclado, ver figura 4, el modelo que describe dicha curva es el siguiente:

$$\% \text{ de cenizas}_M = 81,112 5 + 0,336 754 \cdot T - 0,019 4615 \cdot T^2 \quad \text{ecuación (2)}$$

A medida que se mezclen los componentes, el valor del contenido de cenizas debía acercarse al calculado /12/, que en este caso es de 80,8985 %, pero los valores promedio obtenidos para los tiempos evaluados difieren de ese valor, sin embargo, la desviación estándar es menor a los 15 min de mezclado, ver tabla 5, lo que indica una mezcla más homogénea a ese tiempo /12/, sin embargo, como se observa en la figura 4, el contenido del indicador empleado es mayor, por lo que se puede asegurar que, bajo las condiciones de mezclado, se obtiene una masa enriquecida en arcilla a ambos tiempos, siendo superior a los 15 min.

Como se explicó, inicialmente se realiza el mezclado en seco, lo cual es más rápido que si se hace con dicho material húmedo pero requiere mayor cantidad de energía bajo las condiciones últimas /12/, en la curva, figura 4, se muestra un comportamiento prácticamente lineal de la composición de la mezcla en el tiempo hasta los 6 min, a partir de entonces disminuye la pendiente de la curva y luego se hace constante a partir de los 10 min. Se detectó, por observación, la segregación de partículas de aserrín, lo que explica lo observado en la figura 4 y lo demostrado mediante la prueba de hipótesis.

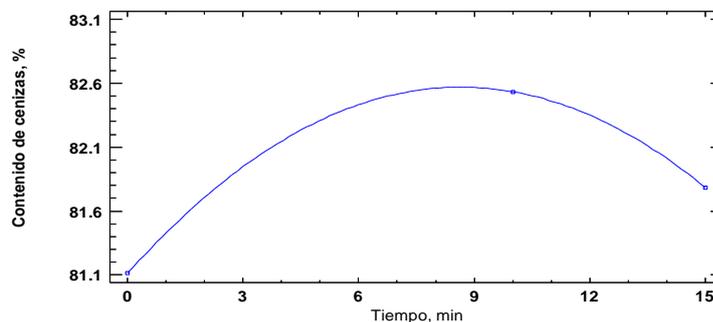


Fig. 4 Curva obtenida del contenido de cenizas a diferentes tiempos.

Basados en lo antes analizado, se puede afirmar que el tiempo de mezclado debe ser inferior a los 10 min y, preferiblemente entre 3 – 4 min, esto último por razones económicas, debido a que se ahorraría energía y se obtendría un mejor resultado en esta operación.

Análisis de las posibles causas de la segregación de aserrín

La segregación se puede producir, entre otros factores, por grandes diferencias entre las gravedades específicas, tamaño o forma. Aquellas más pesadas, más pequeñas o más suaves tienden a descender a través de las más ligeras o grandes. La proporción de los componentes es también un factor importante a considerar en el mezclado de polvos/11/, como se mencionó, debe asumirse la cantidad de aserrín que asegure un buen mezclado para lograr la porosidad necesaria sin comprometer la calidad del agua y la integridad física del filtro. En algunos casos la preparación del material para evitar las diferencias extremas en dichas propiedades de los ingredientes puede evitar la segregación /11/. En el

caso que se analiza se usa una proporción de arcilla : aserrín de 8 : 1 (11 % de aserrín), el tamaño de partículas es $\leq 0,833 \text{ mm}$; en la fabricación de filtros con similares materias primas se emplean otras relaciones y tamaños (ver tabla 7) y con excepción de /9/ se obtuvo una buena calidad del agua; las condiciones que más se acercan a las usadas en la fabricación del tradifiltro son las que reportan /3/, sin embargo, nótese que el tamaño de partículas es muy inferior. En todos los casos se emplea el mismo tamaño de partícula para ambos componentes, lo cual, según /10/ garantiza una movilidad parecida, siendo este, como se dijo, un factor importante para la calidad de la operación evaluada. Pero considerando los resultados obtenidos por dichos autores y la gran variabilidad de las tasas de filtración /15, 4/, unido a las elevadas pérdidas que se producen en la fabricación del filtro objeto de estudio /4, 6/ y los resultados aquí mostrados, sería importante y provechoso valorar otras relaciones entre la proporción de los componentes y su tamaño de partícula.

Otro factor que influye en la calidad del mezclado es la humedad de los sólidos /11/, aseguran que el uso de un líquido como el agua puede tener efectos notables en la superación de la segregación /16/ señala que la humectación de la alimentación inicial promueve la nucleación de polvos finos pero la forma en que se moja la mezcla también tiene influencia en la aglomeración, por lo que este factor debe tenerse también en cuenta en futuros estudios para evitar la segregación del aserrín.

Tabla 7
Proporciones y tamaños de partículas de arcilla y aserrín empleados por distintos autores para la fabricación de filtros de agua

Proporción	Tamaño de partículas*	Referencia	Observaciones
10 %, de aserrín	$\leq 0,25 \text{ mm}$	[8]	Alta remoción bacteriana.
10,4 – 13 % en masa; 4%, 9 % y 17 % en masa	$\leq 0,248 \text{ mm}$	[3]	Mayor cantidad de aserrín aseguró mejor funcionamiento del filtro.
1: 2 y 1 : 1	$\leq 0,300 - 0,600 \text{ mm}$	[9]	No lograron la calidad bacteriológica requerida.

*Todas las dimensiones que estaban dadas en mallas se llevaron a mm según /17/.

Índice de mezclado obtenido para la pasta

El modelo ajustado (ecuación 4), obtenido de la relación de I_p y tiempo es el siguiente:

$$I_p = 0,2366 \cdot T^2 + 4,066 \cdot T + 1 \quad \text{ecuación (3)}$$

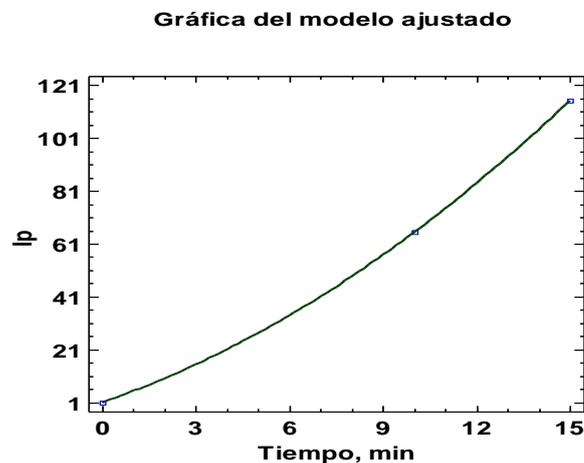


Fig. 5 Índice de mezcla conseguido para la pasta de arcilla y aserrín obtenida en el mezclador.

La relación obtenida del índice de mezclado en el tiempo, que se muestra en la figura 5 difiere de la que aparece en /12/ para arcilla, aquella es logarítmica, usaron una amasadora de laboratorio de dos paletas. Según la fuente mencionada el valor límite máximo de I_p para materiales “completamente mezclados” varía con la consistencia de las materias primas que se someten al proceso, con la eficacia del mezclador y con la precisión de los métodos analíticos; el valor límite máximo de I_p , según ellos, es de 10 a 150, por lo que los determinados en este trabajo caen en ese rango y son similares a los que obtuvieron /12/.

El índice de mezcla crece linealmente durante los 3 min iniciales y alcanza el valor de 15,3, a partir de entonces aumenta su crecimiento, a los 5 min alcanza 27,2, después de los 10 min, como se observa, crece linealmente y llega a 115,2 a los 15 min. Se ratifica la factibilidad de usar tiempos de mezcla inferiores a 10 min, mejor entre 3 y 4.

Conclusiones

- 1. En el mezclado actual del aserrín y la arcilla para la fabricación del filtro “tradifiltro” se produce segregación de aserrín. Existe homogeneidad de la mezcla que se obtiene en todos los puntos del mezclador. El tiempo de mezclado empleado es excesivo, se puede reducir a 3 – 4 min. El tamaño de partículas usado es superior a los que se utilizan en otras fábricas.**

Nomenclatura

$C_{cen_{AS}}$: concentración de cenizas en el aserrín de la mezcla, el aserrín, en %.y sus masas (M), en kg.

$C_{cen_{ARC}}$: concentración de cenizas en la arcilla, en %.

$C_{Cen_{Mez}}$:concentración de cenizas en la mezcla, en %.

M_{AS} : masa del aserrín, en kg.

M_{ARC} : masa de la arcilla, kg

ΣM_{MEZ} : suma de las masas de los componentes (arcilla y aserrín) en la mezcla.

I_p : Índice de mezclado de la pasta.

N: es el número de muestras.

μ : es la fracción media global del trazador en la mezcla (% de cenizas).

x_i : es la fracción del trazador en cada punto seleccionado de la pasta (% de cenizas).

\bar{x} : es el valor promedio de las concentraciones medidas del contenido, en %, de las cenizas.

% de cenizas_M: Porcentaje de cenizas en la mezcla.

T: tiempo de mezclado.

Bibliografía

1. UNESCO. un.org. Agua para todos, agua para la vida. [En línea] 2003. [Recuperado el: 04 de Enero de 2017] www.un.org/esa/sustdev/sdissues/water/WWDR-spanish-129556s.pdf. 92-303881-5.
2. OFICINA NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMACIÓN (ONEI). one.cu. Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI). [En línea] 2014. [Recuperado el: 28 de 03 de 2016.] <http://www.one.cu/aec2014/02%20Medio%20Ambiente.pdf>.
3. KALLMAN, ERIN N. y col. Ceramic Filters Impregnated with Silver Nanoparticles for Point-of-Use Water Treatment in Rural Guatemala. 6, s.l. : American Society of Civil Engineers, *Journal of Environmental Engineering*, 2011, Vol. 137, Nº 6, págs. 407-415. DOI: 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000330.
4. RAMOS, Y. Determinación de factores que influyen en la rotura de los filtros de cerámica CITA. , Ignacio Agramonte Loynaz. En opción al título de "Ingeniero Civil". Facultad de Construcciones, Universidad "Ignacio Agramonte Loynaz", Camagüey, Cuba, 2016.
5. LANTAGNE, D., y col. Effect of production variables on microbiological removal in locally-produced ceramic filters for household water treatment. *International Journal of Environmental Health*, 2010, Vol. 20, págs. 171-187. DOI: 10.1080/09603120903440665.
6. RECIO, Y. Evaluación del proceso de producción del filtro de arcilla "tradiFILTRO" para potabilizar el agua. Informe de tesis de maestría. Facultad "Ciencias Aplicadas": Universidad " Ignacio Agramonte Loynaz", Camagüey, Camagüey, Cuba, 2017.
7. ISLAM, M. F. y col. Development of Ceramic Candle Filters by Slip Casting Process. *Key Engineering Materials*, 2014, Vol. 608, págs. 85-90. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.608.85.
8. ABEBE, L. S. y col. Point-of-Use Removal of *Cryptosporidium parvum* from Water: Independent Effects of Disinfection by Silver Nanoparticles and Silver Ions and by Physical Filtration in Ceramic Porous Media.

- Environmental Science & Technology. 21, 2015, Vol. 49, N° 21, págs. 12958-12967. DOI: 10.1021/acs.est.5b02183.
9. VARKEY, A. J. y DLAMINI, M. D. Point-of-use water purification using clay pot water filters and copper mesh. 5, s.l. : Water SA, 2012, Water SA, Vol. 38, N° 5, págs. 721-726. doi: 10.4314/wsa.v38i5.10.
 10. GEANKOPLIS, C. J. Procesos de transporte y operaciones unitarias (3 ed.). México: 3. s.l: Compañía Editorial Continental, S.A. DE C.V. México, 1998. 1008 p. ISBN: 968-26-1316-7.
 11. KALANADH, V. S. y col. Solid-Solid Operations and Equipment. In L. e. R. H. P.: D. W. G. Editor & J. O. H. M. Associate editor (Eds.), [aut. libro] R. H. Perry, E.W Green y J. O Maloney. [ed.] Late editor Robert H. Perry. Perry's Chemical Engineers Handbook. 7. s.l.: McGraw-Hill, 1997, 19, p. 65. En formato electrónico.
 12. MC.CABE, W. L., SMITH, J. C. y HARRIOT, P. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. 5. Madrid : Mc GRAW-HILL, 1998. 1106 p. ISBN: 0-07-044828.
 13. NC. Aditivos químicos para pastas, morteros y hormigones. Métodos de ensayo. Parte 5: Determinación del contenido de cenizas. 271-5, 2003. O. N. d. Normalización. La Habana. 271: p. 6.
 14. GEOMINSAL. Composición química de la arcilla de Santa Teresa. Camagüey, Cuba : s.n., 2013.
 15. PÉREZ, R. Propuestas para mejorar el funcionamiento del filtro de cerámica tradiFILTRO. Ingeniería Química. Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Universidad "Ignacio Agramonte Loynaz". Camagüey: s.n., 2015. p.81.
 16. ENNIS, B. J. Agglomeration Technology: Mechanisms, Chemical Engineering, 2010, Vol. 117, N° 3, págs. 34-39. ISBN: 0009-2460.
 17. ROSABAL, J.M. Y VALLE, M. Hidrodinámica y separaciones mecánicas. 3ra Ed. La Habana: Félix Varela, 2006. 317 p. Vol. II. ISBN: 959-258-983-6.