

Trabajo Fin de Grado

Título del trabajo: Desarrollo de filtros cerámicos
para la potabilización de agua

English tittle: Development of ceramic filters for
water sanitation

Autor

Álvaro Rausell Velasco

Director

Francisco Javier Martínez Gómez

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

2017



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

TRABAJOS DE FIN DE GRADO / FIN DE MÁSTER

D./D^a. Álvaro Rausell Velasco,

con nº de DNI 73017461M en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo

de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la

Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)

Grado de tecnologías industriales, (Título del Trabajo)

Desarrollo de filtros cerámicos para la potabilización de agua

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, a 12 de Noviembre de 2017

Fdo: Álvaro Rausell Velasco

AGRADECIMIENTOS

Entre otros apoyos agradezco particularmente la colaboración prestada por las siguientes personas y entidades:

- La Escuela de Cerámica de Muel de la Diputación Provincial de Zaragoza y en particular a Juan Antonio Jiménez y a Luis Gil.
- Luis Lostao Camón

DESARROLLO DE FILTROS CERÁMICOS PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA

RESUMEN

Desde hace años se vienen utilizando filtros cerámicos para potabilizar agua en países en vías de desarrollo. Estos diseños previos requieren de una maquinaria que en ciertos lugares no se pueden permitir, lo que supone una restricción para el acceso a agua potabilizada. Los objetivos de este estudio serán, por tanto, el diseño de un tipo de filtro adaptado a una situación en la que los procesos de fabricación deben ser simplificados al máximo y buscar una mejora en su eficiencia.

El presente estudio pretende dotar a los ceramistas de pequeña envergadura, presentes en cualquier lugar del mundo, y especialmente en este tipo de zonas en desarrollo, de las instrucciones necesarias para la fabricación del filtro. Se pretende, por tanto, que si un ceramista es capaz de fabricar una vasija simple, sea también capaz de producir el filtro con eficacia y manteniendo la calidad necesaria en todo momento.

Para lograr dichos objetivos, se estudiarán los materiales más comúnmente utilizados en este tipo de filtros y los diseños existentes. Más tarde, tras una fase de experimentación donde se probarán distintas alternativas, se procederá a la realización del diseño final del filtro cerámico optimizado. A continuación, se detallará el proceso seguido para su fabricación y se analizarán los resultados obtenidos.

Por otro lado se estudiarán, además, distintos aspectos relacionados con la fabricación de los filtros, los cuales se incluirán en los anexos con el fin de ampliar la información y el detalle del estudio.

LISTA DE TABLAS, FIGURAS Y ECUACIONES	7
CAP. 1 INTRODUCCIÓN	9
1.1 ANTECEDENTES	9
1.2 OBJETO DEL TRABAJO	9
1.3 ALCANCE	10
CAP. 2 ESTUDIOS PREVIOS	11
2.1 ESTUDIO DE LAS CERÁMICAS	11
2.2 LA PLATA COLOIDAL	15
2.3 ESTUDIO DE LOS FILTROS CERÁMICOS.....	17
CAP. 3 ENSAYOS EXPERIMENTALES	29
3.1 ENSAYOS REALIZADOS CON LOS PROTOTIPOS	29
3.2 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS, DEFECTOS DETECTADOS Y CONCLUSIONES	37
CAP. 4 FABRICACIÓN	42
4.1 DECISIONES SOBRE EL DISEÑO	42
4.2 FABRICACIÓN DEL DISEÑO FINAL	44
4.3 RESULTADOS DE LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN	49
4.4 CONCLUSIONES RELATIVAS A LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN	51
4.5 RECOMENDACIONES SOBRE EL PROCESO	51
4.6 LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN RELATIVAS A LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN	52
CAP. 5 CONCLUSIONES.....	53
5.1 CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS	53
5.2 POSIBILIDADES DE AMPLIACIÓN Y/O APLICACIÓN DEL PROYECTO REALIZADO	53
5.3 VALORACIÓN PERSONAL	54

ANEXOS.....	55
ANEXO A.CONCENTRACIÓN DE PLATA COLOIDAL.....	56
A.1. CÁLCULOS DE CONCENTRACIÓN DE PLATA COLOIDAL.....	56
ANEXO B. DIAGRAMA DE PROCESO DE FABRICACIÓN.....	57
B.1. DIAGRAMA DE PROCESO	57
ANEXO C. ANÁLISIS DEL FILTRADO	58
C.1. MECANISMO DE FILTRADO	58
C.2. ESTUDIO ANALÍTICO DE LA FILTRACIÓN.....	59
C.3. ANÁLISIS DEL MODO DE SANEAMIENTO DEL AGUA	62
ANEXO D. ANÁLISIS DE LA COCCIÓN.....	64
D.1. CURVA DE COCCIÓN	64
D.2. ANÁLISIS DE LA CURVA DE COCCIÓN	65
ANEXO C ANEXO E. BARROS UTILIZADOS	66
E.1. BARRO TRT.....	66
E.2. BARRO TRT CHAMOTADO.....	67
ANEXO F. PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO APTO PARA COCCIÓN DE CERÁMICA NEGRA.....	68
F.1. PROPUESTA DE DISEÑO	68
ANEXO G. RESULTADOS BACTERIOLÓGICOS DEL FILTRADO	72
G.1. RESULTADOS DE LA MUESTRA DEL AGUA SIN FILTRAR.....	73
G.2. RESULTADOS DE LA MUESTRA DE AGUA DEL FILTRO CON 10% DE SERRÍN.....	76
G.3. RESULTADOS DE LA MUESTRA DE AGUA DEL FILTRO CON 15% DE SERRÍN.....	79
REFERENCIAS	82

LISTA DE TABLAS, FIGURAS Y ECUACIONES

Lista de tablas:

Tabla 1. Resumen de las propiedades de los distintos tipos de las cerámica	12
Tabla 2. Concentración de plata en el agua filtrada	16
Tabla 3. Ventajas y desventajas Condorhuasi	18
Tabla 4. Ventajas y desventajas Disco Filtrante	19
Tabla 5. Ventajas y desventajas MadiDrop	21
Tabla 6. Ventajas y desventajas Filtro Candle	22
Tabla 7. Ventajas y desventajas Filtro Biosand.....	24
Tabla 8. Ventajas y desventajas Filtrón	25
Tabla 9. Ventajas y desventajas Filtro negro	27
Tabla 10. Tabla resumen de los prototipos elaborados	29
Tabla 11. Tipos de malla	30
Tabla 12. Tabla resumen de resultados de los ensayos	38
Tabla 13. Dimensiones Filtrón	42
Tabla 14. Nivel de servicio de agua según acceso	43
Tabla 15. Material e Instrumental para fabricación	45
Tabla 16. Ratios de filtrado.....	50
Tabla 17. Recuento de microorganismos aerobios	50
Tabla 18. Variación de la porosidad van Halem	59
Tabla 19. Fases de la cocción.....	65

Lista de figuras:

Figura 1. Residuo de plata en el agua filtrada	16
Figura 2 Diseño Condorhuasi.....	17
Figura 3. Esquema de filtrado mediante discos filtrantes	20
Figura 4. MadiDrop.....	21
Figura 5. Filtro Candle.....	22
Figura 6. Diseño Filtro Biosand	23
Figura 7. Esquema de uso del Filtrón	26
Figura 8. Filtro de cerámica negra	27
Figura 9. Mallas utilizadas en el ensayo	30
Figura 10. Procesamiento del barro	31
Figura 11. Papel desmenuzado.....	32
Figura 12. Barro en polvo y papel.....	32
Figura 13. Barro batido.....	33

Lista de tablas, figuras y ecuaciones

Figura 14. Curva de calentamiento en atmósfera oxidante	36
Figura 15. A) Disposición de las piezas B) Resultado de la cocción en atmósfera reductora	37
Figura 16. Defectos causados por sobrecalentamiento	41
Figura 17. Diagrama de proceso de fabricación	57
Figura 18. Tipología de los poros	58
Figura 20. Flujo con tortuosidad	61
Figura 19. Flujo sin tortuosidad	61
Figura 21. Curva de cocción	64
Figura 22. Ficha técnica barro TRT	66
Figura 23. Ficha técnica barro TRT	67
Figura 24. Base excavada del horno	68
Figura 25. Base estructurada del horno	69
Figura 26. Cámara del horno	69
Figura 27. Puerta del horno	70
Figura 28. Diseño final horno vista frontal	70
Figura 29. Diseño final horno vista trasera	71

Lista de ecuaciones:

Ecuación 1. Conductividad Hidráulica Eriksen	60
Ecuación 2. Flujo pared	62
Ecuación 3. Flujo base	62

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Actualmente, según las Naciones Unidas, la causa principal de las enfermedades en el mundo es la falta de agua potable y de saneamiento. Cerca de 1.000 niños menores de 5 años mueren al día debido a esta razón. Para tratar de solucionar esta situación, han surgido una gran variedad de diseños de filtros potabilizadores de agua entre los que destacan los de material cerámico.¹

Hasta el momento, la fabricación de filtros cerámicos para potabilizar agua se ha visto enfocada hacia su producción en masa, lo que requiere de una importante inversión, además de instalaciones y de un gran número de trabajadores. Este modelo de proyecto no resulta viable en ciertas comunidades donde los recursos son muy limitados y donde no es posible la instalación de una fábrica destinada únicamente para ello.

Por otro lado, si bien existe una gran variedad de diseños para este tipo de filtros, es necesario buscar una alternativa que se adapte mejor a dichas comunidades donde o bien no hay recursos suficientes, o bien es demasiado prematura la instalación de una fábrica.

1.2 Objeto del trabajo

El objeto de este estudio es diseñar un filtro que se adapte a las condiciones indicadas y obtener unas guías claras para su fabricación. De esta forma, se busca

¹ https://www.unicef.org/spanish/wash/index_31600.html

ampliar el alcance del proyecto con el fin de llevarlo a zonas donde de otra manera no se podría fabricar, estando limitadas las posibilidades de potabilización del agua.

Al simplificar el proceso de fabricación, se obtendrá una reducción en los costes que facilitará un primer contacto del filtro con las comunidades que lo necesiten. Se ayudará así a fomentar una implantación más rápida, facilitando también la educación de la población sobre las ventajas de tratar el agua antes de consumirla como paso previo a la instalación de una fábrica si la demanda así lo aconsejase.

1.3 Alcance

Los diseños sobre filtros cerámicos existentes actualmente no permiten su fabricación por ceramistas de regiones con pocos recursos donde no es posible contar con maquinaria especializada. Para extender el uso de este tipo de filtros se propone buscar el diseño más asequible posible, cumpliendo a su vez con la eficiencia necesaria en cuanto a la eliminación de elementos nocivos que se puedan encontrar en el agua. De esta forma, si el ceramista es capaz de fabricar una vasija, será capaz de fabricar un filtro.

La metodología a emplear será la de estudiar los materiales involucrados en la fabricación, además de los diseños ya existentes, evaluando las ventajas e inconvenientes de cada uno, además de otras posibles líneas de investigación, para luego aplicar la fase de experimentación.

En la fase de prototipado o experimentación, se buscará aplicar distintas alternativas en la fabricación del filtro con el fin de encontrar un diseño que se ajuste al objetivo marcado.

Una vez se tenga definido el diseño, se creará un manual de fabricación de cara a hacer posible la fabricación del mismo únicamente por medio de dichas instrucciones.

Finalmente, se analizarán las conclusiones del estudio presentando además posibles futuras líneas de investigación.

Capítulo 2

ESTUDIOS PREVIOS

A continuación se van a exponer los estudios realizados con carácter previo a las fases de experimentación y de fabricación.

A la hora de realizar estos estudios, primero se analizarán las características de las materias primas más relevantes a emplear. La elección del tipo de cerámica adecuado será clave para la realización del filtro en todos los aspectos, ya que sus especiales propiedades son las que permiten el correcto filtrado del agua.

Seguidamente, será relevante analizar la función de la plata coloidal ya que, utilizada como revestimiento antibacteriano aumenta la efectividad y la durabilidad del filtro, propiedades esenciales para su correcto funcionamiento.

Finalmente, el análisis de los diseños existentes de este tipo de filtros permitirá obtener una visión general sobre las distintas técnicas de fabricación utilizadas, además de dotarnos de una importante información a la hora de realizar el diseño que se pretende en el caso de estudio.

2.1 Estudio de las cerámicas

Para definir el concepto de cerámica recurriremos a la siguiente cita:

“Pertenerán al grupo de las cerámicas los compuestos químicos constituidos por metales y no metales (óxidos, nitruros y carburos), que incluye minerales de arcilla, cemento y vidrio.”²

En cuanto a la clasificación de los distintos tipos de cerámicas, en la Tabla 1 se presentan sus características más importantes además de sus aplicaciones y procesos de fabricación.

² CALLISTER, William D. Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. Reverté, 2002.

	Definición general	Propiedades	Proceso de fabricación	Estructura	Aplicaciones /Ejemplos
Cerámica roja	Productos de arcilla cocida, generalmente muy porosos y con un uso altamente extendido.	<ul style="list-style-type: none"> - Color rojo amarillento - Textura porosa debido al alto contenido en Fe y otras impurezas - Grano fino y gran pasticidad - Cuecen a bajas T³⁵ (950-1100°C) 	La arcilla se extrae, se pasa por un tamiz y se mezcla en la proporción adecuada con agua para obtener una buena consistencia. Después se puede utilizar el moldeo en barbotina o tras extrusión para más tarde secar y cocer.	Silicatos y aluminosilicatos con agua enlazada químicamente. Generalmente con un enlace covalente-iónico y con una microestructura cristalina.	<ul style="list-style-type: none"> - Ladrillos - Tejas - Bloques - Cañerías - Revestimientos
Cerámica blanca	Arcillas con feldespato, caolín y cuarzo añadidos que mejoran las propiedades de la misma pudiendo ser porosos o no.	<ul style="list-style-type: none"> - Color gris claro, blanco o marfil - Textura porosa y muy plástica - T³⁵ de cocción (1200-1300°C) 	El proceso es idéntico al de la cerámica roja aunque en este caso los fundentes (cuarzo, feldespato o caolín) forman un vidrio que reduce la porosidad y mejora las propiedades de la cerámica. Las características finales dependerán de los porcentajes de la mezcla.	Una de las estructuras más comunes es la de la caolinita. Enlace covalente-iónico y al igual que en la cerámica roja seguirá una estructura a capas.	<ul style="list-style-type: none"> - Lozas - Porcelanas - Revestimientos - Sanitarios
Refractarios	Productos de arcilla, sílice, básicos o especiales que se caracterizan por su comportamiento frente a altas T ³⁵ o ante medios agresivos.	<ul style="list-style-type: none"> - Soporta altas T³⁵ sin fundir ni descomponerse. (1400-1500°C) - Permanece inerte cuando es expuesto a medios agresivos - Capaz de producir aislamiento térmico 	El proceso seguirá los mismos pasos que las arcillas básicas aunque en este caso se combinarán con distintos elementos según las propiedades que se deseen. Para ello será muy importante el control de las fases y los compuestos involucrados.	Estructura covalente-iónica (aluminosilicatos). Estructura covalente con alto % iónico en el caso de refractarios básicos con microestructura cristalina. Estructura covalente en refractarios especiales.	<ul style="list-style-type: none"> - Ladrillos para hornos - Piezas para tratamientos térmicos - Piezas para la fabricación de vidrio
Vidrios	Silicatos no cristalinos transparentes o translúcidos que contienen otros óxidos que varían sus propiedades	<ul style="list-style-type: none"> - Altas densidades, impermeables y transparentes/traslúcidos. - Duro y resistente a compresión y abrasión. - Resistente a la acción de reactivos químicos. 	Arena, sosa, caliza y otros componentes se funden a 1500°C donde se distribuye en estado fluido a moldes donde se enfriará o se realizarán procesos de soplado.	La microestructura predominante es la amorfa con enlaces covalentes o covalentes-iónicos según los compuestos utilizados.	<ul style="list-style-type: none"> - Vidrios planos - Vajilla - Fibras - Esmaltes - Vidrios técnicos
Cementos	Productos con características aglomerantes que tras mezclarlos con agua forman una pasta que después fragua y se endurece.	<ul style="list-style-type: none"> - Alta resistencia a compresión. - Alta durabilidad. - Buena estética para la construcción. 	Obtención de caliza y arcillas en canteras (carbonato + fundente) para homogeneizarlo y molerlo. Se introduce en un horno giratorio (1400°C) del que se obtiene el Clinker y al que se le añadirá yeso para retrasar el proceso de fraguado.	El enlace predominante será el covalente-iónico con una microestructura cristalina.	<ul style="list-style-type: none"> - Cemento portland - Cementos aluminosos - Yesos,cales.
Abrasivos	Productos utilizados para desgastar, desbastar o cortar otros materiales que necesariamente serán más blandos.	<ul style="list-style-type: none"> - Alta resistencia y dureza (permite realizar trabajos mecánicos sobre otros materiales) - Altas T³⁵ de fusión 	Existen algunos naturales como el diamante o el cuarzo. Los que no lo son, se procesan en hornos de arco eléctrico donde el tamaño de grano sufre un control exhaustivo.	Predomina la microestructura cristalina con enlaces covalentes, covalente-iónico y covalente-metálico.	<ul style="list-style-type: none"> - Esmeril - Carburo de silicio - Diamante - Carburos metálicos...
Cerámicas especiales	Nuevos materiales cerámicos desarrollados a partir de los tradicionales que han mejorado propiedades como las eléctricas, magnéticas y ópticas.	Las propiedades dependerán del tipo de cerámica avanzada que se busque. Es decir, las cerámicas tendrán las propiedades concretas que se trate de buscar.	Dependiendo de las propiedades buscadas el proceso de fabricación será distinto. Generalmente se parte de una materia prima artificial (obtenida en un laboratorio) que luego se procesará en un horno donde generalmente se tiene control sobre la presión a la que se somete el compuesto cerámico.	La microestructura se controla en todo momento asegurando la fiabilidad del elemento o la respuesta para la que ha sido diseñada.	<ul style="list-style-type: none"> - Piezas de motores de combustión interna o para turbinas. - Placas para blindajes

Tabla 1. Resumen de las propiedades de los distintos tipos de las cerámica³

³ CALLISTER, William D. Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. Reverté, 2002.

A la hora de seleccionar los materiales cerámicos más adecuados para el tipo de diseño que se va a plantear, se deberán tener en cuenta los siguientes parámetros de diseño:

- a) **Precio**: El filtro debe tener un precio adecuado a la situación económica de las comunidades a las que va destinado, sin que ello comprometa en ningún caso los criterios funcionales preestablecidos.
- b) **Durabilidad**: El filtro debe tener una durabilidad económico-funcional adecuada que, en cualquier caso, podrá ser renovada mediante una serie de baños de plata coloidal.
- c) **Diámetro de poro**: Este es un aspecto crítico de diseño, ya que, si no se consigue un correcto diámetro de poro, no se garantizará que el filtro retenga las partículas dañinas (no potabilice el agua) o que incluso no permita el filtrado físico del agua.
- d) **Efectividad del baño de plata coloidal**: Este es otro aspecto crítico dado que algunas superficies no retienen correctamente el baño de plata coloidal, lo que implicaría que se perdería la efectividad antibacteriana proporcionada por la plata coloidal con lo que el filtro perdería su funcionalidad.
- e) **Facilidad de fabricación**: Como ya se ha dicho con anterioridad, es imprescindible que el diseño del filtro garantice que permita trabajar con los distintos materiales seleccionados. Este aspecto influirá directamente en el precio final del mismo ya que como se ha explicado antes, se busca un diseño de fácil ejecución y precio ajustado a las posibilidades económicas de la zona en la que va a ser utilizado.

Atendiendo a los distintos parámetros de diseño previamente establecidos se plantean tres opciones.

- a) **Cerámicas rojas**: Más baratas y sencillas para trabajar.
- b) **Cerámicas blancas**: Más caras, pero con mejores características funcionales en general
- c) **Cerámicas refractarias**: Muy porosas, si bien resultan más difíciles de trabajar.

Analizaremos a continuación las características de estas opciones.

- a) Tamaño de poro:** Los materiales refractarios pueden soportar temperaturas muy altas y medios ambientalmente muy agresivos, caracterizándose por una gran porosidad, de manera que, al analizar el tamaño de poro de este tipo de materiales, se llega a la conclusión de que es demasiado grande. Esto implica ratios de filtrado muy altos, desaconsejables para la realización del tipo de filtros objeto del estudio.

En el caso del vidrio, sería excesivamente complejo obtener el diámetro de poro necesario.

- b) Precio:** El uso de materiales refractarios implica un aumento considerable del precio final del filtro y son difíciles de procesar ya que requieren mayores temperaturas de trabajo.

El cemento y las cerámicas avanzadas exigen procesos de fabricación demasiado costosos como para tenerlos en cuenta y además, en el caso del cemento, el peso del filtro sería demasiado elevado, lo que iría en detrimento de su funcionalidad.

En cuanto a los materiales abrasivos, encarecerían demasiado el producto y sus propiedades no aportan ninguna mejora al diseño final del filtro.

Finalmente, el precio y complejidad de procesamiento de las cerámicas avanzadas implica que queden descartadas como una opción.

- c) Durabilidad:** el filtro deberá ser capaz de soportar golpes para asegurar su durabilidad, condición que no cumplen los vidrios.

Resumiendo, una vez analizados los criterios anteriormente expuestos, quedarán como posibles opciones a analizar las llamadas cerámicas rojas y blancas, descartándose, por los motivos expuestos las demás.

2.2 La plata coloidal

La plata coloidal, está integrada por:

- a) Nanopartículas de plata en estado de oxidación 0⁴ : Cuyo tamaño de partícula oscilará de los 10 a los 100 nanómetros.
- b) Disolución coloidal: Un coloide es un sistema formado por dos o más fases, generalmente una líquida y otra sólida de partículas muy pequeñas (en nuestro caso nanopartículas de plata).

Estas características favorecerán notablemente la actividad antiséptica de la plata al liberar de manera más regulada los iones de plata optimizando su efectividad.

En cuanto a la nombrada actividad antiséptica de la plata, se conocen los siguientes modos de actuación:

- Reacciona con los grupos tioles alterando su empaquetamiento de ADN.
- Reacciona con las proteínas inactivándolas y coagulándolas.
- Reacciona con los ácidos nucleicos e inhiben un gran número de reacciones enzimáticas.⁵

Debido a todas estas propiedades, la plata coloidal es un elemento de gran importancia en el diseño del filtro ya que favorecerá la función antiséptica del mismo además de ayudar a mantenerlo libre bacterias. De esta manera, se alarga la vida del filtro y se mejora ostensiblemente tanto su funcionamiento, como su mantenimiento.

Es importante destacar que la aplicación de plata coloidal en el filtro no es perjudicial para la salud. Es cierto que la plata coloidal puede tener efectos negativos como es la Argyria, una enfermedad causada por una ingesta excesiva de plata donde la piel y el pelo pueden perder su color natural y ganar un color azulado. No obstante, eso es un caso muy alejado del que aquí se analiza ya que la organización mundial de la

⁴ Eléctricamente en equilibrio

⁵ Revista del Instituto de Salud Pública de la Universidad Veracruzana. Volumen 6, No.12, septiembre 2010 : Plata coloidal y salud. Autores: Elda Maria del Rocio Coutiño Rodríguez, Rocio Anais Pérez Gutiérrez, Rebeca García Román, Luis Alfredo Herbert Doctor

salud ha establecido un límite de consumo de 100 µg/l⁶, medida muy superior a las concentraciones que se pueden encontrar en el agua filtrada como se demuestra en el estudio realizado por Doris Van Halem:

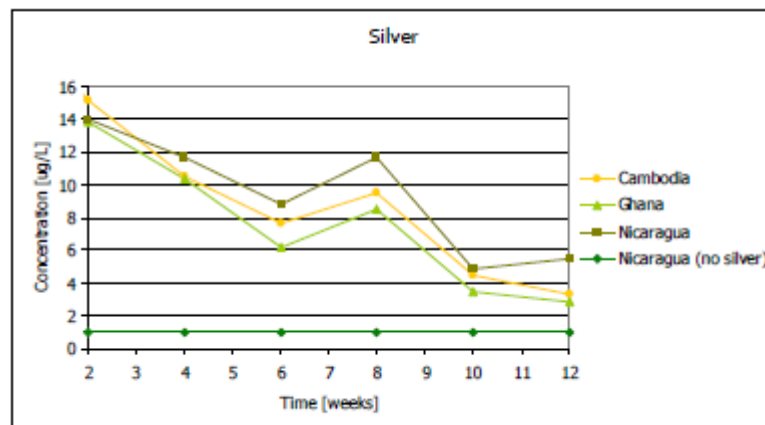


Figura 1. Residuo de plata en el agua filtrada⁷

En la Figura 1 se observa la reducción en la concentración del residuo plata coloidal encontrada en el agua filtrada a lo largo de 1 año de uso de un filtro cerámico impregnado con plata coloidal.

No obstante, se recomendará realizar una serie de filtraciones iniciales donde se descartará el agua para retirar el residuo sobrante de plata del filtro. Aun así, según el estudio realizado por Lantagne, las concentraciones nunca llegarían a superar el máximo indicado por la OMS, y éstas además se reducirían notablemente en cada filtrado como se muestra en la tabla 2:

Concentración de plata en el agua filtrada (µg/L)			
	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3
Primer Filtrado	44	61	29
Segundo Filtrado	11	19	18
Tercer filtrado	12	21	15

Tabla 2. Concentración de plata en el agua filtrada⁸

⁶ Edition, F. (2011). Guidelines for drinking-water quality. WHO chronicle, 38, 104-8.

⁷ Van Halem, D. (2006). Ceramic silver impregnated pot filters for household drinking water treatment in developing countries.

⁸ Informe: LANTAGNE, Daniele S. Investigation of the potters for peace colloidal silver impregnated ceramic filter. Report 2: Field Investigations: Alethia Environmental, 2001.

2.3 Estudio de los filtros cerámicos

A continuación se van a estudiar una selección de los diseños de filtros cerámicos que se utilizan en el mundo actualmente, y que pueden servir de referencia para optimizar el diseño del filtro objeto del presente trabajo:

1) FILTRO CONDORHUASI

Este filtro, desarrollado por Jorge Fernández Chiti⁹, consiste en un cuerpo cerámico filtrante que permite tratar el agua gracias a su superficie porosa. Es de forma cilíndrica y con la parte inferior ovalada, permitiendo así centrar el goteo del agua filtrada en un único punto.

En la figura 2 se muestra una imagen del filtro Condorhuasi.



Figura 2 Diseño Condorhuasi¹⁰

⁹ Ceramista nacido en Buenos Aires y miembro destacado del Instituto de Ceramología Condorhuasi con una extensa bibliografía sobre cerámica.

¹⁰ <http://filtrodescontaminantedeagua.blogspot.com.es/>

Los materiales utilizados para la elaboración de este filtro incluyen caolín, arena lavada, serrín, barro y agua, pudiendo variar esta composición según la pasta cerámica elegida.

En cuanto a su elaboración, una vez realizada la mezcla, se le da forma y se deja secar para así preparar la pieza para el horno donde se calentará hasta 1000°C.

Este filtro se caracteriza porque requiere de un proceso complementario de pretratamiento del agua a filtrar con el que poder eliminar los restos de arsénico, plomo o cianuro además de las bacterias que puedan haber contaminado la fuente de agua. Para ello se recomienda comenzar por preclorar el agua, con hipoclorito de sodio, asegurando así la desinfección del filtro. A su vez para eliminar las sustancias tóxicas, se utilizarán pequeñas cantidades de caolín, que se aplicarán en un recipiente aparte junto con el agua a filtrar donde reposarán durante al menos 4 horas formando unos grumos que se habrán depositado en el fondo del recipiente. Estos grumos se retirarán y a continuación se filtrará el agua a través de la superficie microporosa del filtro.¹¹

En la Tabla 3, se muestran de manera esquemática las ventajas e inconvenientes de este filtro.

Ventajas	Desventajas
Elimina bacterias y toda turbiedad	Frágil
Se compra solamente una vez	Requiere mantenimiento periódico
No cambia el sabor del agua y es culturalmente aceptable	Proceso de pretratamiento del agua muy complejo
Económico	Lentitud de filtrado (1'5-2 litros por hora)
Producido por artesanos locales con materiales locales	Se necesita combustible para su fabricación además de una prensa
Efectivo ante metales pesados	Mayor complejidad de fabricación

Tabla 3. Ventajas y desventajas Condorhuasi

¹¹ Libro: FERNÁNDEZ CHITI, J. (2005). Filtro Cerámico Condorhuasi: Descontaminante de Aguas. BUENOS AIRES: CONDORHUASI.

2) FILTRADO MEDIANTE PASTILLAS/DISCOS FILTRANTES:

En cuanto a este tipo de diseño se encuentran dos opciones:

OPCIÓN 1: PASTILLA /DISCO FILTRANTE

Consiste en una pastilla o disco cerámico que se ajusta por presión a uno de los extremos del recipiente contenedor de agua. Será necesario, por tanto, un ajuste muy preciso del disco cerámico sobre el recipiente, para asegurar que no pase agua sin filtrar por la unión entre el disco y el contenedor de agua. En cuanto a la composición de estos discos, se propone utilizar la misma composición que la del filtro Condorhuasi.¹²

En la Tabla 4, se muestran las ventajas e inconvenientes de este sistema de potabilización.

Ventajas	Desventajas
Elimina bacterias y toda turbiedad	Gran dificultad de uso correcto
Muy económico y sencillo de fabricar	Requiere mantenimiento periódico
No cambia el sabor del agua	Proceso de filtrado muy complejo de estandarizar
Capacidad de depósito variable	Lentitud de filtrado
Mayor resistencia al ser más compacto	Se necesita combustible para su fabricación

Tabla 4. Ventajas y desventajas Disco Filtrante

¹² Estudio: Delgado, G. (2010). Estudio de filtros cerámicos para el diseño y desarrollo de sistemas domésticos de bajo costo. In II Congreso Iberoamericano de Investigación Artística y Proyectual y V Jornada de Investigación en Disciplinas Artísticas y Proyectuales (La Plata, 2010).

En la figura 3 se muestra de manera esquemática el sistema de filtrado mediante discos filtrantes.

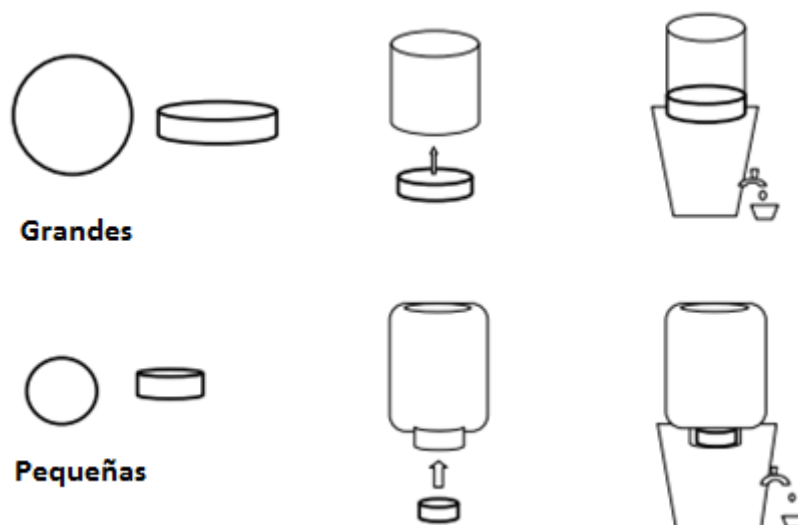


Figura 3. Esquema de filtrado mediante discos filtrantes¹³

OPCIÓN 2: MADIDROP

Corresponde a un concepto totalmente diferente de la primera opción, denominado **MadiDrop**. Este sistema fue desarrollado a través de un proyecto realizado por la Universidad de Virginia en Estados Unidos.

Consiste en una pieza cerámica, con la misma composición que los filtros cerámicos de arcilla, serrín y agua. En este caso, la pastilla cerámica impregnada de iones de plata se puede introducir en un recipiente de agua de hasta 10 litros, donde irá desprendiendo dichos iones de plata que eliminarán las bacterias del agua, con una durabilidad estimada de 6 meses. Antes de poder utilizar el agua se deberá esperar un mínimo de 24 horas para asegurar que está libre de bacterias. Dependiendo de la fuente de agua, este tiempo se puede reducir hasta unas 10 horas si ese agua ya se ha filtrado previamente para eliminar la turbiedad.¹⁴

¹³ Cortesía de Gabriela Delgado y perteneciente al Estudio de filtros cerámicos para el diseño y desarrollo de sistemas domésticos de bajo costo

¹⁴ Página web oficial: <https://www.madidrop.com>

En la Tabla 5, se muestran las ventajas e inconvenientes de este sistema de potabilización.

Ventajas	Desventajas
Elimina bacterias y no cambia el sabor del agua	No elimina la turbiedad ni los residuos físicos
Muy económico y sencillo de fabricar	6 meses de vida
Fácil de utilizar y altamente efectivo	Culturalmente difícil de entender
Capacidad de depósito variable	Lentitud de procesado del agua

Tabla 5. Ventajas y desventajas MadiDrop

En la figura 4, se muestran algunas muestras de pastillas Madidrop:



Figura 4. MadiDrop¹⁵

3) FILTRO CANDLE (CIRIO)

Estos filtros, inventados por Henry Doulton¹⁶ en Inglaterra en el siglo XIX, se basan en una pieza cerámica cilíndrica, cuyo extremo superior es generalmente de forma ovalada mientras que el inferior contará con una pequeña rosca en su base para ajustarlo a la estructura del depósito. Esa zona roscada será la que conecte las dos partes del depósito. Primero el agua se filtrará en el interior de la pieza cerámica, y por medio de la boquilla alojada en el interior de la rosca de la pieza, el agua filtrada pasará al depósito inferior como se ve en la figura 5.

En cuanto a la fabricación de las piezas cerámicas, la estructura del depósito suele ser metálica, se seguirá el proceso general de mezclar arcilla con un

¹⁵ Cortesía de MadiDrop

¹⁶ Primer ceramista nombrado Caballero por la Reina Victoria y uno de los referentes de la industria cerámica en Inglaterra durante el siglo XIX.

material orgánico que al someterlo a altas temperaturas (1.000-1.500°C) terminará volatilizándose dejando unos poros en la pieza que permitirán el filtrado. Es muy común en este diseño utilizar tierra diatomea en sustitución de la arcilla.

Por otro lado, será de gran importancia asegurar una correcta fijación entre el filtro y la parte inferior del depósito de forma que se impida totalmente el paso del agua no filtrada.

En términos de efectividad, este diseño elimina bacterias además de la turbiedad del agua. En cambio, aunque se observa una pequeña reducción en el número de virus y de metales pesados en el agua filtrada no se pueden demostrar argumentos que lo justifiquen.¹⁷

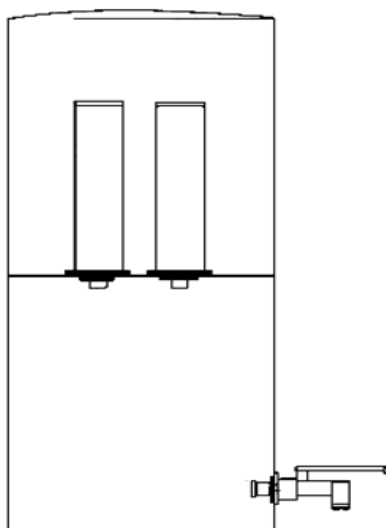


Figura 5. Filtro Candle¹⁷

En la Tabla 6, se muestran las ventajas e inconvenientes de este sistema.

Ventajas	Desventajas
Simple de utilizar y de limpiar	Posible fallo por superficies roscadas
Elimina bacterias, sólidos en suspensión y turbiedad	Baja velocidad de filtrado (1,5 litros por hora)
Larga durabilidad con correcto mantenimiento	Fragilidad de las piezas cerámicas
Capacidad de depósito variable	Dificultad del proceso de fabricación y de ensamblaje

Tabla 6. Ventajas y desventajas Filtro Candle

¹⁷ Página web oficial: <http://www.britishberkefeld.com>

4) Capas filtrantes (BIOSAND filter):

Se trata de un filtro de capas de arenas filtrantes basado en los filtros lentos de arena desarrollado por el doctor David Manz¹⁸ en 1990.

En cuanto a la estructura del filtro, la parte exterior se fabrica generalmente de plástico o de cemento para asegurar una gran durabilidad de los materiales. La parte superior contará con una tapa para evitar que continuamente entren partículas del exterior. Además, también habrá una rejilla para evitar el paso de los sólidos más grandes y así evitar que corrompan la arena del filtro.

En cuanto a las distintas capas filtrantes como se aprecia en la figura 6, la primera es una capa de agua de unos 5 cm de espesor cuya presencia favorecerá la creación de una biopelícula, encargada de absorber el material orgánico contenido en el agua. Seguidamente se sitúa la capa de arena, que será la más grande, y luego las de gravilla de diámetro pequeño y más abajo de un diámetro mayor. Finalmente habrá un tubo de plástico que permitirá recoger el agua filtrada para luego expulsarla por el difusor de salida.

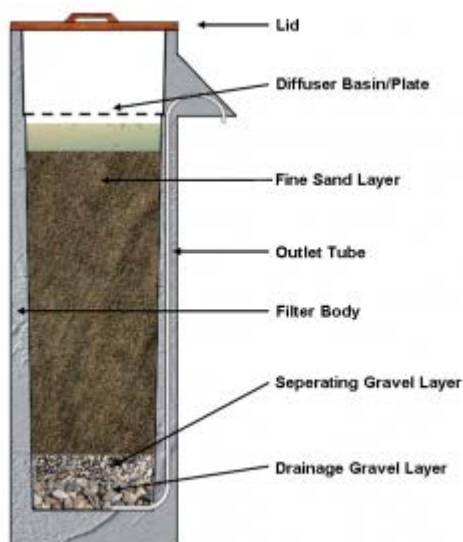


Figura 6. Diseño Filtro Biosand¹⁹

¹⁸ Doctor en la Universidad de Calgary, Canadá, y con extensos estudios realizados sobre el tratamiento de agua por medio de arenas filtrantes.

¹⁹ <https://www.sswm.info/category/step-university/module-2-centralised-and-decentralised-systems-water-and-sanitation/modu-24>

Éste método de filtrado es capaz de tratar los sólidos en suspensión y los patógenos que contiene el agua. Lo hará de dos maneras:

- Debido al tamaño de los patógenos o los sólidos suspendidos, los cuales quedarán atrapados entre los granos de arena.
- Por medio de la biopelícula, siempre y cuando haya tenido una correcta maduración (de 1 a 3 semanas).
- Los patógenos podrán llegar a morir debido a la falta de comida y oxígeno en el ambiente al quedar atrapados.

Este sistema elimina eficazmente hasta el 96.5% de bacterias además de la turbiedad del agua. Por otro lado, en el caso de la eliminación de virus no se ha conseguido estudiar por el momento cómo se produce, por lo que no hay seguridad sobre dichos datos. Para terminar, en cuanto al tratamiento de metales pesados en el agua tampoco se dispone de datos fiables de sus tasas de eliminación.²⁰

En la Tabla 7, se muestran las ventajas e inconvenientes de este sistema de filtrado.

Ventajas	Desventajas
Fácil de utilizar	Alto precio
Puede ser construido por negocios locales con materiales muy básicos	Lenta formación y fragilidad de la biopelícula
Elimina bacterias y quita turbiedad	Posibilidad de bloqueo del filtro
Alta capacidad de filtrado	Dificultad de fabricación
Gran durabilidad del filtro	No se puede transportar debido a su peso

Tabla 7. Ventajas y desventajas Filtro Biosand

²⁰ Página web oficial: <http://www.biosandfilter.org>

5) Filtrón:

Inventado inicialmente por Fernando Mazariegos²¹ en 1981 en Guatemala, el Filtrón es una pieza cerámica de bajo costo utilizada para potabilizar agua.

Se trata de un recipiente que se compone de una mezcla de barro rojo y serrín u otras materias orgánicas similares, sobre los que se establecen distintos ratios de mezcla. Una vez mezclado, se añade agua para darle la consistencia adecuada y se introduce en una prensa para darle la forma más óptima. A continuación, tras dejar reposar la mezcla para que quede seca, se introduce en un horno a 890°C donde se formará una red de micro poros que frenará el paso de las bacterias debido a su pequeño diámetro. Estos poros se consiguen gracias a la volatilización del serrín incluido anteriormente en la mezcla. Finalmente, se le aplica un baño de plata coloidal que garantice la seguridad bacteriológica y que impida el recrecimiento de las bacterias.²²

La tabla 8 se muestra las ventajas e inconvenientes del uso de este sistema.

Ventajas	Desventajas
Elimina bacterias y toda turbiedad	Frágil
Fácil de utilizar y de muy bajo costo	Requiere mantenimiento periódico
No cambia el sabor del agua y la mantiene fresca	Se debe reemplazar cada 1-2 años para asegurar su máxima eficacia
Culturalmente aceptable	Lentitud de filtrado (1-2 litros por hora)
Producido por artesanos locales con materiales locales	Se necesita combustible para su fabricación además de una prensa

Tabla 8. Ventajas y desventajas Filtrón²³

²¹ Inventor guatemalteco y químico farmacéutico, formó parte del Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI) donde realizó una amplia variedad de proyectos de desarrollo ambiental.

²² Informe: LANTAGNE, Daniele S. Investigation of the potters for peace colloidal silver impregnated ceramic filter. Report 2: Field Investigations: Alethia Environmental, 2001.

²³ Informe: The Ceramics Manufacturing Working Group (2011). Best Practice Recommendations for Local Manufacturing of Ceramic Pot Filters for Household Water Treatment, Ed. 1. Atlanta, GA, USA: CDC.

En la figura 7 se presenta un esquema del uso del Filtrón, donde se aprecia cómo el agua filtrada caerá en el depósito inferior el cual consta de un grifo para dosificar el agua a la hora de consumirla.

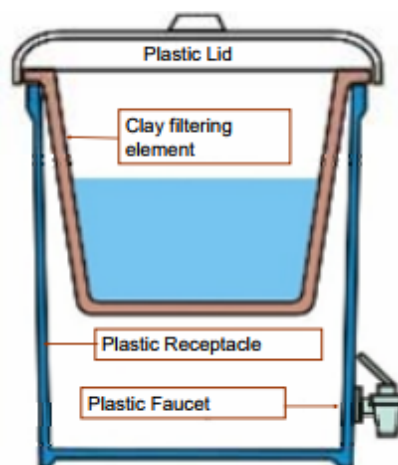


Figura 7. Esquema de uso del Filtrón²⁴

6) Filtro de cerámica negra:

Esta variación del Filtrón, desarrollada principalmente por la investigadora Laura Guerrero²⁵ y por el ceramista Josep Matés²⁶, tiene como objetivo mejorar la eficiencia del Filtrón utilizando un proceso de cocción alternativo. En este caso, en lugar de utilizar una atmósfera oxidante durante la cocción como se hace en el caso del Filtrón, se optó por realizarla en atmósfera reductora. Gracias esta variación en la cocción, se consiguió mejorar notablemente la eficiencia del filtro contra los virus además de aumentar el área superficial del mismo hasta los 6,65 m²/g, cuando en el filtrón es generalmente de 2,42 m²/g. Este es un factor muy importante de cara al el efecto de adsorción que ejerce la cerámica en el agua explicado en el Anexo C.²⁷

²⁴ Silver-Enhanced Ceramic Water Filter poster. De la web: <http://pottersforpeace.com>

²⁵ Bióloga e investigadora en la Universidad de las Américas en Quito, con experiencia en la investigación y desarrollo de proyectos sobre tratamiento de aguas.

²⁶ Ceramista experto en cerámica negra.

²⁷ Guerrero-Latorre, L., Rusñol, M., Hundesa, A., Garcia-Valles, M., Martinez, S., Joseph, O. & Girones, R. (2015). Development of improved low-cost ceramic water filters for viral removal in the Haitian context. *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, 5(1), 28-38.

Por otro lado, una de las variaciones principales de este diseño es la sustitución de la plata coloidal por una capa de grava compuesta por trozos de cerámica negra que aumenten así el contacto del agua a filtrar con la pieza cerámica.

Como se puede ver, por medio de un pequeño cambio se consigue una gran mejora, aunque la ausencia de plata coloidal puede llegar a fomentar la aparición de “verdín” en el filtro y que pierda parte de la eficiencia. A su vez, la capa de grava será necesario limpiarla regularmente añadiendo complejidad al mantenimiento del filtro.

En la figura 8 se muestran las partes del filtro de cerámica negra.



Figura 8. Filtro de cerámica negra²⁸

La tabla 9 se muestra las ventajas e inconvenientes de este tipo de filtros.

Ventajas	Desventajas
Elimina bacterias y toda turbiedad	Frágil
Fácil de utilizar y de muy bajo costo	Requiere mantenimiento periódico
No cambia el sabor del agua y la mantiene fresca	Se debe reemplazar cada 1-2 años para asegurar su máxima eficacia
Culturalmente aceptable	Lentitud de filtrado (1-2 litros por hora)
Producido por artesanos locales con materiales locales	Se necesita combustible para su fabricación además de una prensa
Mejora contra los virus	La falta de plata coloidal le resta eficiencia

Tabla 9. Ventajas y desventajas Filtro negro

²⁸ <http://www.infoceramica.com/2017/07/filtros-de-agua-de-ceramica-negra-de-fonteta-al-ecuador/>

Diseño seleccionado:

Tras analizar la gran variedad de alternativas existentes, se ha decidido estudiar en mayor profundidad un diseño combinado del Filtrón y del filtro de cerámica negra.

Teniendo en cuenta el objetivo del proyecto, ambos sistemas se ajustan a la situación planteada. La sencillez de su proceso de fabricación, el reducido coste de los filtros y la gran accesibilidad de los materiales necesarios los hacen modelos idóneos para el estudio.

El diseño combinado partirá de la base del filtro de cerámica negra, que tiene el mismo proceso de fabricación que el Filtrón a excepción de la etapa de cocción en atmósfera reductora. Además, se eliminará del diseño la capa de grava en el fondo del filtro negro recuperando la impregnación de plata coloidal para darle mayor durabilidad y eficiencia al sistema.

No obstante, será necesario simplificar el proceso de fabricación ya que estos filtros, aunque caracterizados por su sencillez, necesitan de una prensa para su fabricación lo que limita su implantación en zonas con recursos limitados.

De esta forma, por medio de un diseño simplificado se busca que artesanos locales de zonas con acceso limitado al agua potable sean capaces de llevar a cabo el proceso de fabricación de forma segura y manteniendo las especificaciones del filtro.

Capítulo 3

ENSAYOS EXPERIMENTALES

En este capítulo se presentarán las experiencias realizadas basadas en la elección de diseño explicada anteriormente.

3.1 Ensayos realizados con los prototipos

3.1.1.-Prototipos realizados

Para realizar los ensayos se ha trabajado con el mayor número de prototipos posible, realizado varias unidades de cada uno variando sus parámetros constructivos, especialmente en lo que se refiere al espesor con el objeto de realizar un análisis de la influencia de la variación del parámetro. En la Tabla 10 se presenta la descripción y codificación de los distintos prototipos elaborados y ensayados.

Numeración	Prototipo	Nº de uds. Totales
0	Sólo barro TRT	2
1	Barro TRT con serrín al 10% en peso y mallado de 80 hilos/cm ²	2
2	Barro TRT con serrín al 10% en peso y mallado de 40 hilos/cm ²	2
3	Barro TRT con serrín al 10% en peso y mallado de 100 hilos/ cm ²	2
4	Barro TRT con serrín al 5% en peso y mallado de 80 hilos/ cm ²	2
5	Barro TRT con serrín al 15% en peso y mallado de 100 hilos/ cm ²	2
6	Barro TRT con serrín al 15% en peso y mallado de 40 hilos/ cm ²	2
7	Barro TRT con serrín al 20% en peso y mallado de 80 hilos/ cm ²	2
8	Sólo barro TRT-CHF (Chamotado)	2
9	Barro TRT con celulosa al 5% en peso	1
10	Barro TRT con celulosa al 10% en peso	1

Tabla 10. Tabla resumen de los prototipos elaborados

3.1.2.-Método de fabricación

A continuación, se va a describir las distintas fases (1 a 5) del proceso seguido para la fabricación de los distintos prototipos recogidos en la tabla 10.

1. Fase de procesamiento del serrín:

Para los filtros con mezcla de serrín, comenzamos por la selección del tamaño de partícula para cada uno de los ensayos, es importante esta variación ya que la volatilización del serrín será la que genere el poro en la pieza, pudiendo variar su tamaño según la abertura de la malla elegida. Para esto se ha contado con los tipos de mallas expuestos en la tabla 11:

Tipo de malla	Número de malla	Abertura
Malla grande	100 hilos/cm ²	0,149 mm
Malla media	80 hilos/cm ²	0,177 mm
Malla pequeña	40 hilos/cm ²	0,420 mm

Tabla 11. Tipos de malla

De esta manera, partiendo de viruta de madera, al utilizar el cedazo obtenemos el polvo de serrín con tres tamaños máximos de partícula diferentes.



Figura 9. Mallas utilizadas en el ensayo²⁹

Como se puede ver en la Tabla 10 se han utilizado distintos porcentajes de serrín, para obtenerlos se han basado todos los cálculos en peso. Gracias a una báscula calibrada se han obtenido las proporciones necesarias para el estudio.

²⁹ Figura de elaboración propia

2. Fase de procesamiento del barro

Una vez preparado el serrín se deberá seleccionar el barro. En este caso, se ha seleccionado una pasta de terracotta con su ficha técnica adjuntada en el ANEXO E.1. Este barro se caracteriza por su plasticidad, propiedad importante si lo que se quiere obtener es una pieza en el torno como es el caso. Por otro lado su porosidad, que será interesante también de cara a lograr el filtrado.

A continuación, se procederá a pesar el barro, en nuestro caso siempre 1 Kg y seguidamente continuaremos con la realización de la mezcla, es decir, añadir el serrín al barro para luego poder torneear la pieza. En este caso, como el serrín es muy seco y al añadirlo al barro le quitará la humedad del mismo, lo aportaremos de dos formas distintas, serrín húmedo y seco.

En la figura 10 se muestra la primera fase del procesamiento del barro donde se preparan las distintas masas a utilizar:



Figura 10. Procesamiento del barro³⁰

Al añadir el serrín seco se aprecia rápidamente cómo al ir amasando el barro este deja de compactar, se agrietará perdiendo su plasticidad y el color también variará tornándose más claro. Es por ello que se utilizará el serrín húmedo, de esta manera se contrarrestarán los efectos de la falta de humedad, aunque tampoco es recomendable un barro muy húmedo puesto que se vuelve muy pegajoso, se adhiere a la mesa al amasarlo, y se torna de un color más oscuro indicativo de que será necesario secarlo antes de proceder a tornearlo.

³⁰ Figura de elaboración propia

La fase del amasado es una de las más importantes ya que permite homogeneizar el barro y eliminar las burbujas de aire que puedan haber quedado.

Por último, antes de continuar con la etapa de torneado, se van a comentar brevemente los otros dos tipos de prototipos realizados.

En el caso del barro con celulosa, se investigará si se pueden obtener los mismos resultados con el serrín que con papel higiénico. Se considera un ensayo interesante puesto que es un material barato y muy accesible en cualquier comunidad.

En el caso del papel se procederá directamente a su pesaje para a continuación, mezclarlo con agua y luego batirlo para desmenuzarlo. El objetivo es dejarlo con en menor tamaño de partícula posible para luego poder mezclarlo con el barro de manera homogénea.

Para lograr una mayor homogenización se opta por utilizar barro seco, el mismo barro seleccionado en el ANEXO E.1, pero que en este caso se ha almacenado en el exterior y que por el efecto del sol ha perdido su humedad. De esta manera, conseguimos barro en polvo tras golpearlo con un martillo. A continuación lo pesaremos hasta alcanzar la cantidad deseada y se procederá a mezclarlo con el papel batido como se observa en las figuras 11 y 12.



Figura 11. Papel desmenuzado³¹



Figura 12. Barro en polvo y papel³²

³¹Figura de elaboración propia

³² Figura de elaboración propia

Primeramente se dejará que el barro seco absorba la humedad del agua para luego batirlo de nuevo todo junto obteniendo una mezcla homogénea como la de la figura 13:



Figura 13. Barro batido³³

Finalmente, se dejará secar la mezcla durante varios días hasta que quede una pasta apta para el torneado.

Por otro lado, además de los ensayos ya descritos, se realizaron nuevos modelos utilizando un barro chamotado con sus características adjuntas en el anexo E.2. Este barro caracterizado por su textura, viene mezclado con un material granular obtenido a partir de un material refractario u otro material cerámico ya cocido. Además, su composición mejora las propiedades del barro al reducir la contracción en el secado, evitar la aparición de grietas y ofrecer una mayor porosidad.

Considerando las características propias del barro, no se le añadió serrín ni ningún otro componente de cara a su fase de horneado ya que al amasar este tipo de barro, las manos sufren en gran medida debido al material granular que contiene.

³³ Figura de elaboración propia

3. Fase de torneado

El siguiente proceso será el torneado de la masa de barro. La forma del filtro es muy sencilla, pero al añadirle serrín perderemos parte de la plasticidad del barro. Al realizar los prototipos ya se pueden observar dificultades a la hora de tornear las mezclas del 15% de serrín que podrían dificultar el torneado del filtro a escala real, dificultad que se agrava al aumentar el porcentaje de la mezcla al 20%.

Los defectos más comunes que se han apreciado durante el torneado de los prototipos han sido los siguientes:

a) Aparición de grietas en la base del filtro

Se detecta muy rápidamente en las manos del tornero ya que a cada revolución de la pieza se nota un golpe en la mano. Además el ruido en el giro cambiará completamente indicando el fallo.

b) Pobre homogeneidad de la pasta

Fomenta la existencia de zonas con muy baja plasticidad al tener excesivo serrín concentrado. También se detecta rápidamente al tacto ya que es mucho más áspero en dichas zonas.

c) Colapso de las paredes del filtro

La falta de plasticidad en mezclas con porcentaje demasiado alto de serrín provoca este fenómeno.

4. Fase de secado

Primero se colocarán las piezas en el exterior, generalmente a la sombra con el fin de evitar un secado desigual. El sol siempre incidirá de manera más directa en alguna de las caras haciendo que seque antes, de esta manera reducimos las posibilidades de secados desiguales y de aparición de grietas.

Más tarde, una vez que las piezas ya han perdido parte de la humedad, se observa claramente que el color pasa de un marrón oscuro a un todo mucho más claro, ya estarán preparadas para secarse por acción directa del sol.

Llegados a este punto, en el caso de aparecer grietas en zonas muy críticas, es decir, en zonas donde la pieza vaya a filtrar siempre como es el fondo o las paredes del filtro se deberá desechar la pieza. En cambio, si es una zona secundaria como el labio superior que sólo sirve como soporte del filtro, se puede rascar la zona con cualquier herramienta y sellar la grieta con barbotina. La barbotina es el barro que ha sobrado durante el moldeo de la pieza y que por tanto tiene la misma composición.

5. Fase de horneado

Para terminar, la fase de horneado será una de las más críticas junto con el torno. En este caso se van a realizar distintos ensayos llevados a cabo en 2 fases. La primera será la cocción en atmósfera oxidante con las siguientes temperaturas:

- Cocción a 1.050 °C
- Cocción a 1.000 °C

Las temperaturas utilizadas generalmente en la fabricación de filtros se sitúan entre los 900 °C y los 980 °C³⁴, pero en este caso se analizará el resultado que se obtendría al cocer el filtro a la misma temperatura a la que se cocería una vasija del mismo barro a riesgo de perder parte del poro al aumentar la temperatura, en este caso en torno a los 1.000 °C.

En este punto será importante mantener una curva de calentamiento estable, a la hora de evitar la aparición de grietas e incluso roturas debidas al choque térmico

³⁴ Informe: The Ceramics Manufacturing Working Group (2011). Best Practice Recommendations for Local Manufacturing of Ceramic Pot Filters for Household Water Treatment, Ed. 1. Atlanta, GA, USA: CDC.

A continuación, en la figura 14, se muestra la curva de calentamiento seguida, la cual se analiza en detalle en el Anexo D.

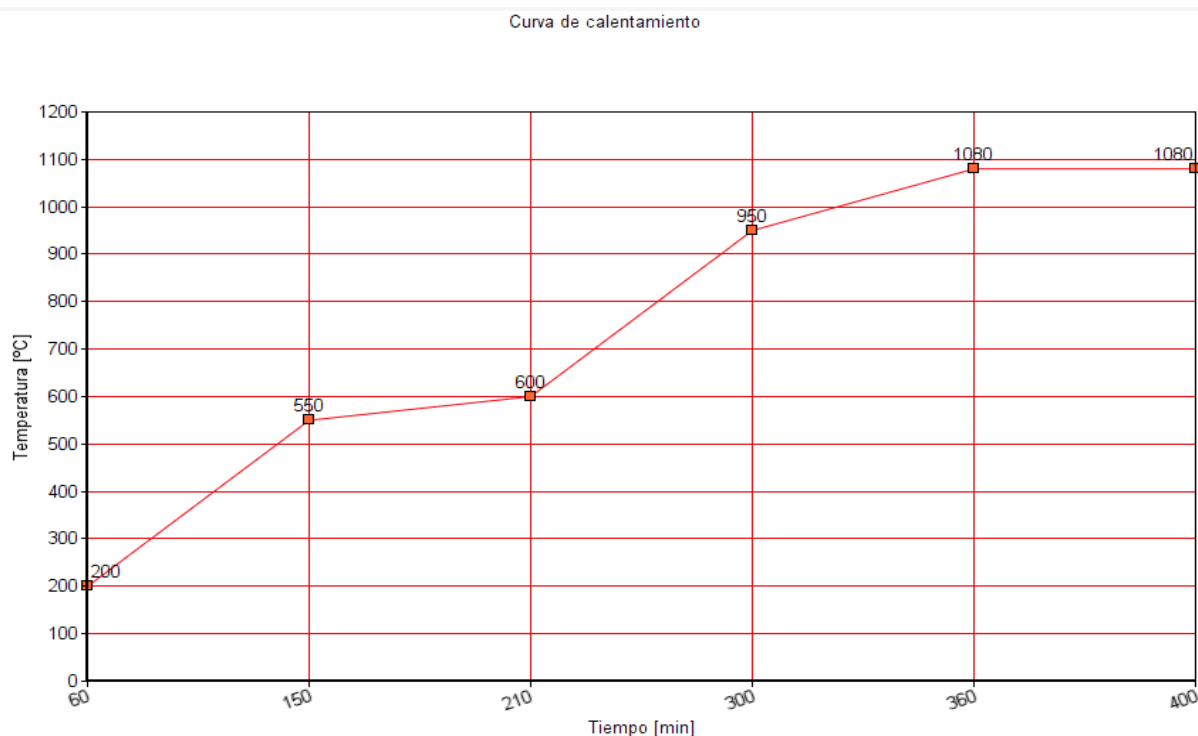


Figura 14. Curva de calentamiento en atmósfera oxidante³⁵

En cuanto al enfriamiento, una vez alcanzada la temperatura máxima el horno se apagará y manteniéndolo cerrado, se permitirá que las piezas pierdan su calor de manera natural evitando sacarlas antes de tiempo. De esta forma evitaremos de nuevo la posible aparición de grietas o roturas.

La segunda fase se realizará sólo sobre parte de las piezas, las cuales se volverán a cocer en una atmósfera reductora, carente de oxígeno. Para ello, se introducirán las piezas en latas herméticamente cerradas y rodeadas de serrín con la misma configuración que la mostrada en la figura 15. Seguidamente se aumentará la temperatura y al prender el serrín, la pieza absorberá parte del carbón y el humo evitando la oxidación de la pieza.

³⁵ Figura de elaboración propia

En la figura 15 se muestran las fases previa y posterior a la cocción en reducción:

A)



B)



Figura 15. A) Disposición de las piezas B) Resultado de la cocción en atmósfera reductora³⁶

Esta segunda cocción se realizará en torno a los 800 °C para evitar un sobrecocimiento de la pieza y mejorar sus propiedades de cara al filtrado como se ha explicado en apartado de estudios previos sobre el filtro de cerámica negra.

Para terminar, será muy importante evitar el mencionado sobrecalentamiento de las piezas ya que podría llegar a cerrar los poros formados durante la primera cocción y así evitar el efecto del filtrado.

3.2 Resultados de los ensayos, defectos detectados y conclusiones

3.2.1 Resultados de los ensayos

A continuación se detallarán los resultados obtenidos en los ensayos realizados clasificados según el tipo de barro, porcentaje de serrín y tipo de mezcla.

³⁶ Figura de elaboración propia

Como se puede apreciar en la Tabla 12 habrá una serie de prototipos (1,3, 3' y 4') que no pudieron ser ensayados al ser defectuosos (rotos) como consecuencia del proceso de cocción.

Numeración	Capacidad [ml]	Ratio de filtrado [ml/1 hora]
0 - rojo	650	0
0' - negro	1.200	0
1 - negro	ROTO	
1' - negro	100	0
2 - rojo	500	1,383
2' - negro	120	0
3 - negro	ROTO	
3' - negro	ROTO	
4 - negro	700	0,317
4' - negro	ROTO	
5 - negro	290	1,250
5' - negro	250	0,083
6 - rojo	300	1,167
6' - negro	250	0,183
7 - negro	250	1,283
7' - negro	200	0
8 - negro	1.200	0
8' - rojo	1.300	0,133
9 - negro	1.100	0
10 - negro	1.500	0

Tabla 12. Tabla resumen de resultados de los ensayos

Como consecuencia del análisis de los resultados de los ensayos pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- **Sólo barro TRT³⁷ (Códigos 0, 0')**

Como era de esperar, los prototipos sin serrín añadido no filtrarán. Es cierto que se observa una cierta condensación sobre la superficie, pero no lo suficiente como para generar un goteo funcional.

³⁷ Barro TRT = Barro de terracotta

- **Serrín al 5% (Códigos 4, 4')**

En este caso no filtra correctamente ninguno de los 2 filtros analizados. A pesar de que uno de ellos está roto, tras analizar la superficie de ambos no se aprecia diferencia en cuanto a porosidad respecto a los barros sin serrín mientras que los filtros con un 10% sí que muestran una superficie mucho más porosa. De esta manera, podría llegarse a la conclusión de que con solo un 5% de serrín no es suficiente para forzar el filtrado de una pieza cerámica.

- **Serrín al 10% (Códigos 1,1' - 2,2' - 3,3')**

Solamente se aprecia un correcto filtrado en el filtro rojo con numeración 2, de tamaño grande en comparación con el resto de prototipos y espesor pequeño (0,6 cm). Éste filtra adecuadamente y quita sin problemas la turbiedad del agua.

Por otro lado, con numeración 1 y capacidad de 100 ml no se aprecia ningún tipo de sudoración o filtrado. Esta situación se podría achacar a su reducida capacidad y a su espesor de 1 cm, ya que cuanto mayor es, más presión para fomentar el filtrado. Además, se le podría atribuir un posible sobrecalentamiento en la segunda cocción en reducción.

En el resto de filtros se aprecian grietas en la superficie de la base por lo que al tener ratios de filtrados extremadamente altos quedan descartados.

- **Serrín al 15% (Códigos 5,5' - 6,6')**

Todos los prototipos analizados filtran de manera adecuada. Por otro lado, es cierto que 2 de ellos lo harán en mayor cantidad a pesar de tener tamaños y espesores muy similares. La causa de esta diferencia puede deberse al sobrecalentamiento en la segunda cocción ya que ambos son de cerámica negra.

- **Serrín al 20% (Códigos 7, 7')**

En este caso sólo uno de ellos filtrará a pesar de tener volúmenes y espesores muy similares. Esta diferencia también puede deberse a un sobrecalentamiento en la segunda cocción que haya cerrado los poros de la pieza.

- **Barro chamotado (Códigos 8, 8')**

Para los dos casos se apreciará una pequeña sudoración aunque en el caso del barro chamotado y con una sola cocción, es mucho más pronunciada pudiendo llegar a filtrar mayores volúmenes. Teniendo esto en cuenta, la diferencia puede radicar en la segunda cocción del otro ya que en cuanto volumen y espesor son muy similares.

- **Barro con celulosa (Códigos 9,10)**

Tanto para la mezcla al 5% (Código 9) como al 10% (Código 10) se observa que no hay ningún tipo de sudoración en el filtro por lo que se podría decir que al añadir el papel el prototipo se ha vuelto más impermeable reduciendo notablemente el grado de porosidad.

3.2.2 Defectos detectados

Se han detectados los siguientes fallos en los prototipos ensayados:

- Sobrecalentamiento durante la cocción. Ya sea durante la primera o la segunda cocción, un sobrecalentamiento puede generar que se cierren los poros de forma que se impida la filtración.
- Espesores muy pequeños en las paredes pueden provocar la aparición de grietas durante el secado o la cocción. Es importante controlarlo ya que si se le da un espesor excesivo a la pieza el resultado será igual de negativo al no permitir la filtración.
- La acumulación de serrín en zonas concretas de la pieza también puede ser muy perjudicial ya que favorecerá la aparición de grietas.
- Incorrecto dimensionado de la pieza. Las características del proceso de torneado hacen difícil la toma de medidas sobre la pieza, lo que puede dar lugar a importantes variaciones sobre el diseño original. Un espesor demasiado grande en la base generado por este inconveniente puede suponer que la única superficie filtrante sea la de las paredes.

- Choque térmico. Una subida o bajada repentina de temperatura puede llegar a producir la fractura del filtro o la aparición de grietas como en la figura 16.



Figura 16. Defectos causados por sobrecalentamiento³⁸

3.2.3 Conclusiones de los ensayos

Como era de esperar los filtros con mayor porcentaje de serrín son los que tienen mayor ratio de filtrado. Además, se observa que cuanto mayor es la capacidad, y menor es el espesor, el ratio sigue creciendo. Es por ello que de cara al diseño final estos serán factores clave.

En cuanto al tipo de cocción, no se observan diferencias en cuanto a nivel de filtrado. Por otro lado, será necesario remarcar la gran importancia del control de la temperatura en el proceso ya que tiene efectos críticos sobre el filtrado y el tamaño de poro.

En cuanto al torneado, al añadir serrín a la mezcla se hace más difícil de tornear, por tanto se deberá buscar la concentración límite que permita un correcto torneado de la pieza.

Finalmente, los ensayos realizados con barro chamotado y con papel no han aportado mejoras sobre los resultados por lo que se descartar continuar trabajando con ellos.

³⁸ Figuras de elaboración propia

Capítulo 4

FABRICACIÓN

Seguidamente se expondrá el resultado en cuanto a decisión del diseño final y fabricación gracias a las experiencias realizadas anteriormente con los prototipos.

4.1 Decisiones sobre el diseño

Tras la fase de estudios previos y ensayo, se optará por seguir las indicaciones presentadas por Ceramistas por la Paz con el Filtrón, pero tratando de adaptarlo al objetivo del proyecto presentado además de incluir cualquier posible mejora, como sería en este caso el uso de la cerámica negra. Es por ello que las decisiones de diseño vendrán condicionadas por la necesidad de simplificar al máximo el proceso de fabricación manteniendo la calidad y las especificaciones necesarias.

En cuanto a las dimensiones del filtro y su capacidad, se observa que las medidas más utilizadas en las distintas fábricas del Filtrón que existen en el mundo serán las de la tabla 13:

Dimensiones	Medidas
Altura	23-29 cm
Diámetro	28-33 cm
Espesor	1-3 cm
Capacidad	8 litros

Tabla 13. Dimensiones Filtrón³⁹

³⁹ Annex C. Survey Results Tables: The Ceramics Manufacturing Working Group (2011). Best Practice Recommendations for Local Manufacturing of Ceramic Pot Filters for Household Water Treatment, Ed. 1. Atlanta, GA, USA: CDC.

4.1.1 Capacidad

En el caso de estudio se buscará una capacidad de 9 litros, que sería una cantidad óptima teniendo en cuenta el consumo de una familia en condiciones de pobreza severa según la Organización Mundial de la Salud como se muestra en la tabla 14. El objetivo de aumentar en un litro la capacidad respecto del filtrón es además el de mejorar el ratio de filtrado, ya que al haber mayor nivel de agua se ejerce una mayor presión y el filtrado se producirá ligeramente más rápido.

Descripción del nivel de servicio	Distancia/Tiempo estimado de recolección	Cantidades estimadas de recolección	Nivel de peligro para la salud
Sin acceso	Más de 1.000 m (30 minutos)	5 litros recogidos al día	Muy alto. No se puede asegurar ni consumo ni higiene
Acceso básico	De 100 a 1.000 metros (5 a 30 min.)	20 litros recogidos al día	Medio. Calidad difícil de asegurar

Tabla 14. Nivel de servicio de agua según acceso⁴⁰

4.1.2 Dimensiones

Para empezar, al no utilizar una prensa la cantidad de serrín que se podrá añadir al filtro será menor, 40% generalmente en el caso del Filtrón, mientras que en el caso de estudio la mezcla óptima sería de un 15% de serrín en peso sobre la mezcla. Además, en este caso, la temperatura de cocción será de 1.050°C por lo que el tamaño de poro se verá reducido. Es por todo ello que se reducirá el ratio de filtrado al tener menos poros y más finos. A cambio, para contrarrestar esta lentitud, se optará por buscar un espesor de 1,5 cm que aumente dicho ratio de filtrado sin descuidar la resistencia del filtro ni su eficiencia contra las bacterias.

Las dimensiones de altura y diámetro se verán fuertemente influenciadas por el proceso de torneado. Al añadir serrín al barro la mezcla se vuelve más inestable al torno y se hace más difícil el obtener grandes alturas por lo que se primará obtener un mayor diámetro frente a la altura para aumentar la capacidad del filtro. Las dimensiones finales buscadas serán 23 cm de alto y 35 cm de diámetro.

⁴⁰ Howard, G., Bartram, J., Water, S., & World Health Organization. (2003). Domestic water quantity, service level and health.

4.1.3 Ratio de mezcla

En cuanto al ratio de mezcla barro-serrín, éste variará según las materias primas utilizadas. En el caso de estudio se analizarán mezclas con un 10% y un 15% de serrín en peso ya que permiten un fácil torneado. De esta forma se buscará analizar las diferencias en la fabricación y el filtrado entre ambos casos.

4.1.4 Forma

De cara a la forma del filtro, tras estudiar las distintas variedades encontradas en las que la base es recta (Filtrón) u ovalada (Condorhuasi) se opta por una base recta ya que la pieza se realizará a torno. A su vez, será importante darle cierta inclinación hacia fuera a las paredes del filtro a medida que se le da altura para que éste se pueda encajar en otro recipiente con facilidad.

4.1.5 Tipo de cocción

Por último, para la fase de horneado, se plantearán dos tipos de cocciones, una a 1.050°C en atmósfera oxidante y con curva de calentamiento en el Anexo D, y otra en atmósfera reductora como segunda cocción tras la oxidante.

4.1.6 Aplicación de la plata

La plata coloidal se aplicará en la medida recomendada por Ceramistas por la Paz por medio de un pincel en lugar de por inmersión con el fin de obtener un reparto más uniforme.

4.2 Fabricación del diseño final

A continuación se detallarán los 2 tipos de fabricaciones, que siguen el mismo proceso con el único cambio de realizar una segunda cocción en reducción en el caso de la cerámica negra. De esta forma la pieza absorberá carbón durante dicho proceso tornando el color de la pieza en negro.

4.2.1 Diseño en atmósfera oxidante

De cara a la fabricación del diseño final, se comenzarán especificando los materiales y el instrumental necesario en la tabla 15:

Materiales	Instrumental
Viruta de serrín	Cedazo/Tamiz
Barro	Torno
Agua	Horno
Plata coloidal	Brocha/Pincel

Tabla 15. Material e Instrumental para fabricación

A continuación se detallarán las distintas partes del proceso:

1. Fase de procesamiento del serrín

Partiendo de viruta de madera o polvo de serrín, se utilizará el cedazo para tratar de obtener un tamaño de partícula lo más homogéneo posible y descartar las partículas más grandes.

- Será muy importante controlar el movimiento del cedazo de manera que no se mezcle ninguna viruta o partícula sin tamizar con el polvo obtenido del cedazo.
- Con el fin de optimizar el proceso, se recomienda renovar muy frecuentemente el material a tamizar ya que la mayor parte del polvo se desprende en los primeros movimientos.

2. Fase de selección del barro

A la hora de seleccionar el barro es importante asegurar una plasticidad adecuada. Para ello bastará con presionar con un dedo y observar la deformación del barro.

- Si está seco no se deformará o lo hará muy poco observándose la aparición de grietas al aplicar presión.

- Si está muy húmedo se deformará mucho, pudiendo incluso observar restos de agua al presionar e incluso quedando barro pegado al dedo.

Para cambiar la concentración de agua bastará con sumergir el barro en agua durante un tiempo, según cuánto queramos aumentar la humedad, o secarlo al sol según queramos reducirla.

3. Fase de procesamiento del barro

Es una de las fases más críticas ya que el resultado de esta influirá profundamente en el desarrollo de las siguientes etapas.

El objetivo de esta etapa es conseguir una mezcla lo más homogénea posible y con una plasticidad adecuada. Para ello, partiremos del barro seleccionado anteriormente y del serrín seco.

Para comenzar, se amasará el barro para que quede más blando hasta que sea cómodo trabajar con él. Llegados a ese punto, se aplana el barro para que ocupe la mayor superficie posible sobre la mesa y se comienza a añadir el serrín en pequeñas cantidades para no perder la plasticidad del barro. El objetivo es obtener una mezcla homogénea, por lo que cuanto más repartido quede el serrín sobre la superficie del barro, mejor. A continuación, comenzamos a amasar la mezcla hasta que vuelva a tener un color uniforme indicando que el barro ha “absorbido” el serrín. Este proceso se repite poco a poco hasta que todo el serrín necesario para obtener la proporción adecuada se haya añadido al barro.

Las recomendaciones a seguir en esta fase serán las siguientes:

- Utilizar una mesa de madera a la hora de amasar para que absorba la posible humedad sobrante del barro.
- Cada vez que se añade serrín es importante no perder mucha cantidad ya que se deberá tratar de respetar las proporciones dadas lo máximo posible.

- Una plasticidad adecuada será clave para poder amasar el barro y que éste siga admitiendo serrín. Para ello es muy útil separar el serrín en dos recipientes para tener en uno serrín seco, y en el otro serrín mezclado con agua para aportar humedad a la mezcla. De esta forma podremos ajustar la plasticidad a medida que añadimos el serrín.
- Es importante tener en cuenta que la mezcla luego se va a tornearse por lo que la plasticidad final será clave, es recomendable mantenerla en un estado óptimo durante toda la fase ya que de otro modo tendremos que esperar a que se seque o se moje ralentizando el proceso.
- Cuando ya se tenga todo el serrín mezclado con el barro, cuanto mejor se amase más fácil será tornearse la pieza. Evitar grandes acumulaciones de serrín o de aire es clave para poder darle forma al barro.

4. Fase de torneado

Una vez se tiene una mezcla homogénea, y en un estado óptimo de plasticidad se procederá a darle forma al barro en el torno.

En este momento será clave ser muy conservador en el torno ya que el serrín puede no haberse mezclado con el barro de forma totalmente homogénea, generando bolsas de aire o acumulaciones de serrín.

En el último momento, una vez torneada la pieza, se recomienda darle un pequeño reborde en la parte superior para facilitar el apoyo del filtro sobre el depósito.

5. Fase de secado

En esta etapa se buscará que la pieza se seque lentamente y sin someterla a cambios de temperatura muy bruscos que puedan degenerar en grietas. Para ello es recomendable secarla siempre a la sombra si se seca en el exterior, y controlar los cambios de temperatura que pueda haber durante el día evitando la acción directa del sol durante las horas de más calor.

El tiempo de secado variará según la temperatura y la humedad del ambiente, por lo que habrá que esperar hasta que la pieza cambie del color oscuro que le aporta la humedad del agua al color claro resultado de la ausencia de ella.

6. Fase de horneado

Una vez se ha secado correctamente la pieza, sin grietas u otros defectos, se procede a hornearla. En el caso estudiado, se ha seguido la curva de calentamiento recogida en el Anexo D.

Será de gran importancia enfriar muy lentamente las piezas tras el horneado para evitar de nuevo la aparición de grietas por el choque térmico.

En relación a la temperatura de horneado hay que comentar que en esta fase de horneado se alcanzan los 1050°C, los cuales sería la temperatura de cocción ideal para la realización de vasijas estándar con el barro utilizado. Se utiliza ésta temperatura con el fin de poder aprovechar al máximo posible el espacio del horno, ya que en la misma cocción puede haber tanto filtros como piezas para otro uso.

Por otro lado y como ya se ha dicho antes, la temperatura recomendada en caso de poder dedicar la cocción únicamente a los filtros se establece sobre los 950°C ya que nos permitirá tener mayor poro en la pieza.

7. Fase de aplicación de la plata coloidal

La concentración de plata coloidal recomendada para la disolución es de 2 ml de plata coloidal al 3,2% en 250 ml de agua, aunque ésta puede variar según el producto utilizado⁴¹. En el Anexo A, se muestran los cálculos realizados para adaptar la concentración de la disolución para el producto utilizado en nuestro caso.

⁴¹ The Ceramics Manufacturing Working Group (2011). Best Practice Recommendations for Local Manufacturing of Ceramic Pot Filters for Household Water Treatment, Ed. 1. Atlanta, GA, USA: CDC.

En cuanto a la aplicación, se realizará por medio de un pincel para poder repartir la disolución de la forma más homogénea posible, tanto por dentro como por fuera cubriendo todo el filtro, pero especialmente las paredes laterales ya que es la zona que más filtra.

4.2.2 Diseño en atmósfera reductora

En este caso como se ha introducido antes, la única variación vendrá marcada por el proceso de cocción. A diferencia del caso anterior, tras la cocción en atmósfera oxidante se procederá a realizar una segunda en atmósfera reductora.

Para lograr una cocción en reducción en un horno oxidante, que el más común, se introducirá la pieza en una lata metálica herméticamente cerrada. Dentro de dicha lata, se encontrará la pieza totalmente cubierta de serrín.

En cuanto a la temperatura de cocción, en este caso, al ser la segunda sólo se alcanzarán los 700 °C para evitar alterar la estructura de la primera cocción.

A parte de esta segunda cocción, todo el proceso continuará de la misma manera. Se dejará enfriar el horno lentamente hasta que las piezas recuperen la temperatura ambiente y tras hacer las comprobaciones pertinentes se continuará aplicando la plata coloidal al filtro.

4.3 Resultados de los procesos de fabricación

El resultado de la fabricación del diseño en atmósfera oxidante fueron 4 filtros, 2 de ellos con un 10% de serrín en peso, y otros 2 con un 15%. Dos de ellos, uno de 10% y otro de 15% de serrín en peso fueron utilizados, antes de aplicarles la plata coloidal, para realizar la segunda cocción en reducción. Desgraciadamente ambos se rompieron durante dicho proceso y no pudieron arrojar resultados válidos para el análisis.

Por otro lado, los otros 2 filtros en perfecto estado fueron analizados en cuanto a su ratio de filtrado a capacidad máxima y su capacidad para eliminar las bacterias del agua.

En cuanto al ratio de filtrado se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la tabla 16:

	Filtro con 10% de serrín en peso	Filtro con 15% de serrín en peso
Ratio de filtrado	0,5 litros/hora	0,75 litros/hora

Tabla 16. Ratios de filtrado

Siguiendo con los análisis bacteriológicos, incluidos en el Anexo G, se puede observar que ambos filtros evitan el paso en su totalidad de las siguientes bacterias anaerobias, las cuales serían causantes de posibles trastornos gastrointestinales:

- Bacterias coliformes
- Escherichia coli
- Clostridium perfringens y esporas

Por otro lado, se apreciará una pequeña reducción de los microorganismos aerobios como se muestra en la tabla 17:

	Agua sin filtrar	Agua filtrada por filtro con 10% de serrín en peso	Agua filtrada por filtro con 15% de serrín en peso
Rec. De microorganismos aerobios a 22°C (ufc/ml)	$6,9 \times 10^3$	$5,9 \times 10^3$	$6,6 \times 10^3$

Tabla 17. Recuento de microorganismos aerobios

Estos microorganismos aerobios deben encontrarse en una cantidad mayor o igual a 10.000 ufc/ml para que esa agua sea calificada como no apta para el consumo humano⁴². En este caso, la muestra sin filtrar obtenida del Canal Imperial de Aragón de Zaragoza se muestra apta para el consumo en cuanto a este aspecto sin necesidad de filtración.

Por otro lado, en cuanto a las bacterias nombradas anteriormente como anaerobias, se observa que en el agua sin filtrar se exceden los límites marcados como

⁴² Informe: Desarrollo del artículo 27.7 del Real Decreto 140/2003, de 7 de Febrero. Autores: Grupo de trabajo sobre parámetros (Subgrupo de parámetros C) Dependiente de la ponencia de sanidad ambiental. Ministerio de salud y consumo.

aceptables para un agua potable. Es por ello, que el filtro ejerce claramente un efecto potabilizador en el agua tratada al reducir a cero el recuento de dichas bacterias.

4.4 Conclusiones relativas a los procesos de fabricación

Tras analizar los resultados, se deduce que el diseño del filtro rojo es totalmente funcional. A pesar de tener un ratio de filtrado más lento que otros diseños, la facilidad de fabricación y su efectividad en cuanto a la potabilización del agua hacen que deba ser tenido en cuenta como una alternativa donde el uso de una prensa no es viable.

En cuanto al diseño en cerámica negra, la segunda cocción planteada ha provocado fisuras en ambos filtros. Tras analizar dicho proceso se ha llegado a la conclusión de que no se puede controlar la temperatura dentro de la lata metálica, siendo así muy difícil el homogeneizar un proceso efectivo. Es por ello que se deberá encontrar un método alternativo para lograr dicha cocción, como podría ser la construcción de un horno preparado para la misma, y hacer una sola cocción en reducción dejando atrás la oxidante.

4.5 Recomendaciones sobre el proceso

- Realizar una filtración continuada durante las primeras 24 h aproximadamente donde se descartará el agua antes de comenzar a consumir el agua filtrada.
- Limpiar el filtro regularmente y en especial si se aprecia un descenso del ratio de filtrado.
- Evitar la posible contaminación del filtro durante su fabricación, vigilando el proceso y documentando cualquier cambio sobre el mismo.
- Realización de controles periódicos no solo del producto final sino del proceso también.
- Control exhaustivo sobre las materias prima utilizadas incluyendo el agua para evitar la contaminación del filtro.

- Será necesario formar a los trabajadores en la manipulación de plata coloidal y dotarles de las medidas de seguridad necesarias.
- Utilizar una tela antes de verter el agua en el filtro en caso de que esta tenga muchos sólidos en suspensión.

4.6 Líneas futuras de investigación relativas a los procesos de fabricación

Como futuras líneas de estudio se plantea la continuidad del desarrollo del filtro en cerámica negra. En el anexo F se muestra un diseño de horno muy asequible y que ha sido desarrollado por el ceramista Josep Matés el cual es experto en este tipo de cocciones. Las ventajas que puede aportar esta técnica son muy grandes en comparación con el pequeño cambio que supone en el proceso de fabricación.

Además, se debe trabajar más en profundidad la cantidad máxima que se podría llegar a añadir a la mezcla de barro con el fin de aumentar el ratio de filtrado. También es necesario homogeneizar este proceso con el fin de lograr resultados lo más fiables posibles en las distintas pruebas realizadas.

Por último, sería de gran interés investigar la implantación en comunidad necesitadas de este nuevo tipo de filtros donde se reduce notablemente la dificultad de fabricación.

Capítulo 5

CONCLUSIONES

5.1 Cumplimiento de los objetivos

Tras analizar los resultados obtenidos se ha conseguido el objetivo principal del proyecto, simplificar en la medida de lo posible los proceso de fabricación manteniendo las especificaciones de funcionalidad y eficiencia. En este caso, el uso de una prensa ya no es necesario para el diseño habiéndose demostrado que la pasta se puede llegar a tornearse manteniendo unos ratios de filtrado aceptables.

No obstante, aún hay espacio para el desarrollo como se ha mostrado en los ensayos de cerámica negra. A pesar de poder fabricar prototipos de tamaño reducido no se consiguió realizar uno operativo a escala real. Es por ello que en el anexo F se presenta un diseño de horno con el que se podrá continuar como línea futura de investigación.

5.2 Posibilidades de ampliación y/o aplicación del proyecto realizado

Como se ha nombrado antes, existen amplias posibilidades de continuar el desarrollo de estos filtros, especialmente en el ámbito de la cerámica negra. Esta posibilidad será de gran importancia de cara al objetivo raíz de este proyecto, que es el aplicar todos los conocimientos en la implantación de este nuevo diseño de filtros en las comunidades desfavorecidas de la India.

Gracias a la ayuda de una comunidad religiosa con sedes en un gran número de localizaciones, se buscará fomentar el uso de estos métodos de potabilización y enseñarles cómo fabricarlos adecuadamente. De esta forma, el objetivo final es un proyecto sostenible y sustentado en los artesanos locales que, debido al bajo coste de

su fabricación, puedan cubrir las necesidades de todos aquellos que lo necesiten siendo compatible con la economía local y sus tradiciones.

5.3 Valoración personal

La realización de este proyecto ha supuesto la oportunidad de poder desarrollar muchos ámbitos de mi persona. Desde los aspectos más técnicos y de gestión, hasta los más personales gracias a los cuales me he visto en disposición de aprender una serie de habilidades que no habría podido de otra forma.

Por otro lado, al ser un proyecto de cierta envergadura, he tenido que involucrar a muchas personas gracias a las cuales hemos podido obtener estos resultados, y de los que he aprendido, además, un gran número de cosas.

En general considero que ha sido una experiencia muy positiva y gratificante el poder desarrollar un proyecto con una futura aplicación gracias a todos los conocimientos obtenidos durante el grado.

ANEXOS

ANEXO A. CONCENTRACIÓN DE PLATA COLOIDAL	56
A.1. CÁLCULOS DE CONCENTRACIÓN DE PLATA COLOIDAL.....	56
ANEXO B. DIAGRAMA DE PROCESO DE FABRICACIÓN	57
B.1. DIAGRAMA DE PROCESO	57
ANEXO C. ANÁLISIS DEL FILTRADO	58
C.1. MECANISMO DE FILTRADO	58
C.2. ESTUDIO ANALÍTICO DE LA FILTRACIÓN.....	59
C.3. ANÁLISIS DEL MODO DE SANEAMIENTO DEL AGUA	62
ANEXO D. ANÁLISIS DE LA COCCIÓN	64
D.1. CURVA DE COCCIÓN	64
D.2. ANÁLISIS DE LA CURVA DE COCCIÓN	65
ANEXO C ANEXO E. BARROS UTILIZADOS	66
E.1. BARRO TRT.....	66
E.2. BARRO TRT CHAMOTADO.....	67
ANEXO F. PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO APTO PARA COCCIÓN DE CERÁMICA NEGRA	68
F.1. PROPUESTA DE DISEÑO	68
ANEXO G. RESULTADOS BACTERIOLÓGICOS DEL FILTRADO	72
G.1. RESULTADOS DE LA MUESTRA DEL AGUA SIN FILTRAR.....	73
G.2. RESULTADOS DE LA MUESTRA DE AGUA DEL FILTRO CON 10% DE SERRÍN.....	76
G.3. RESULTADOS DE LA MUESTRA DE AGUA DEL FILTRO CON 15% DE SERRÍN.....	79

Anexo A

CONCENTRACIÓN DE PLATA COLOIDAL

A.1. Cálculos de concentración de plata coloidal

Solución de Producto de plata coloidal (sólido) y H₂O:

Según Ceramistas por la Paz, se deben agregar a 250 ml de agua, 2 ml de producto de plata coloidal al 3,2%⁴³:

3,2% → 32 g/l de producto de plata coloidal

En un litro por tanto habría 1.000 dosis de 1 ml ó 500 dosis de 2 ml.

Por tanto cada 2 ml habrá 0,064 g_{producto} → $\frac{32 \text{ g/l} \times 1000 \text{ l}}{2} = 0,064 \text{ g}$

La solución contendrá:

$$\frac{0,064 \text{ g de producto}}{250 \text{ ml de agua}} = 0,000256 \frac{\text{g}}{\text{ml}} = 0,256 \text{ g/l}$$

Teniendo la concentración de la solución respecto del producto utilizado es 0.256 g_{producto}/l), es necesario conocer la concentración final de plata utilizada ya que el producto sólo tiene un 70% de la misma:

$$\frac{100}{70} = 0,7 \rightarrow 0,256 \frac{\text{g}}{\text{l}} \times 0,7 = 0,1792 \text{ g de plata/l}$$

Por tanto, para concluir, será necesario mezclar 0,064 g_{producto} con 250 ml de agua para tener una dosis para impregnar 1 solo filtro.

⁴³ Informe: The Ceramics Manufacturing Working Group (2011). Best Practice Recommendations for Local Manufacturing of Ceramic Pot Filters for Household Water Treatment, Ed. 1. Atlanta, GA, USA: CDC.

Anexo B

DIAGRAMA DE PROCESO DE FABRICACIÓN

B.1. Diagrama de proceso

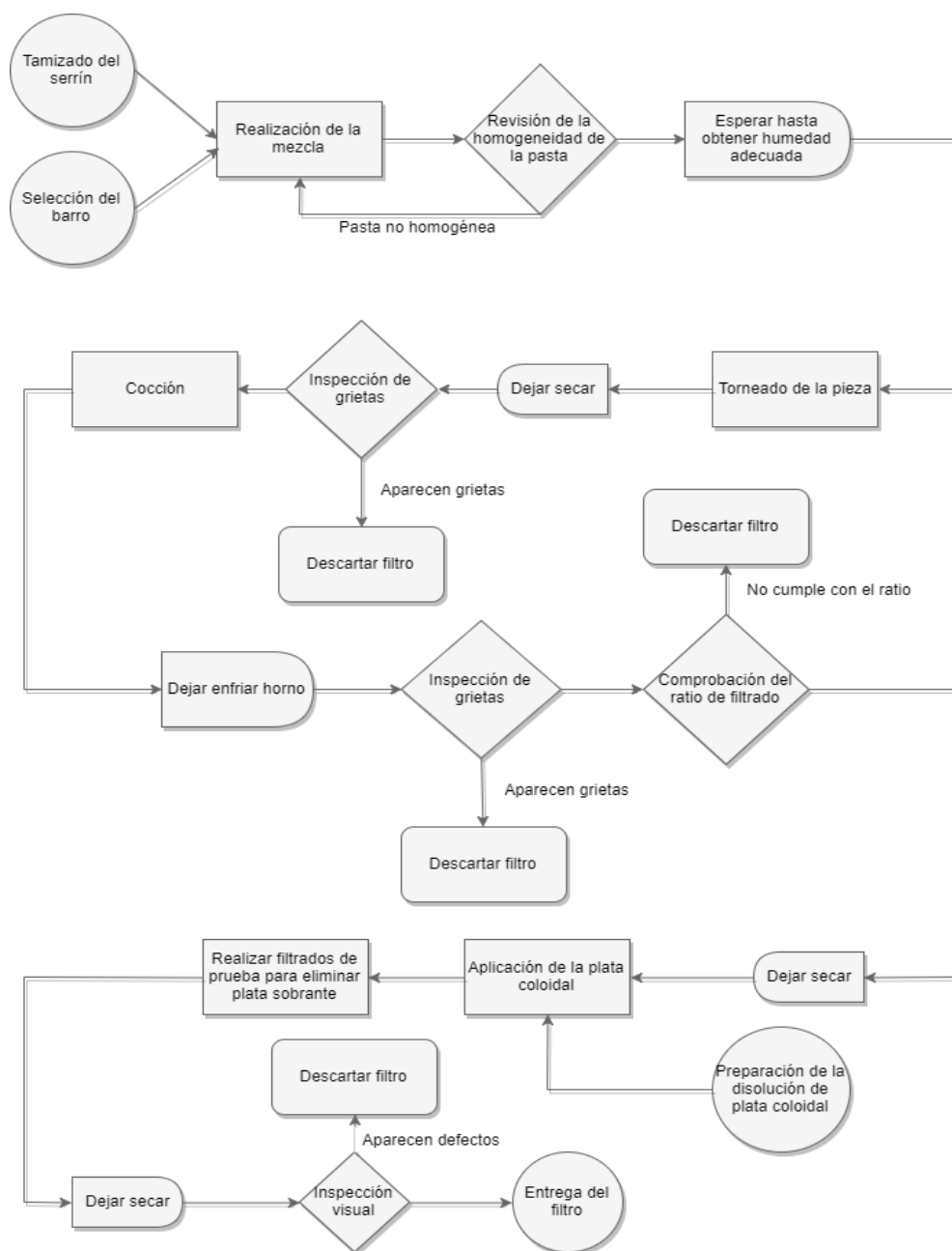


Figura 17. Diagrama de proceso de fabricación⁴⁴

⁴⁴ Figura de elaboración propia

Anexo C

ANÁLISIS DEL FILTRADO

C.1. Mecanismo de filtrado

Tal y como se ha comentado en apartados anteriores, el proceso de filtrado se debe principalmente a la adición de materia orgánica, en este caso serrín, en la cerámica. Esta materia se volatilizará durante el proceso de cocción dejando una serie de poros que fomentarán el filtrado. La cerámica es porosa por naturaleza, pero así se aumentará tanto el número como el tamaño de los poros permitiendo que pase el agua.

En cuanto a la tipología de los poros existen tres variedades como se observa en la figura 18. La primera, que será la más importante de cara al paso del agua, son los poros que conectan el interior del filtro con el exterior (A). Dichos poros deberán tener un diámetro lo suficientemente pequeño como para que no pasen las bacterias (generalmente de unos 40 μm) pero sí el agua. Por otro lado estarán los poros no conectados (B), es decir, poros que equivalen a caminos sin salida para el agua. Y finalmente estarán los poros aislados que no están conectados ni al interior ni al exterior del filtro (C).

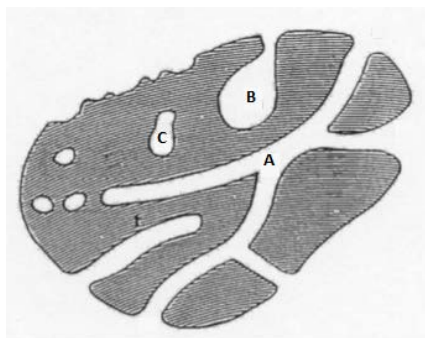



Figura 18. Tipología de los poros⁴⁵

⁴⁵ <http://www.uco.es/~iq2sagrl/TranspAdsGases.pdf>

Es importante destacar la tortuosidad de los poros que interconectan ambos lados del filtro. Como se verá en los siguientes apartados, será de gran importancia a la hora de realizar el estudio analítico del filtrado.

Para terminar, se debe mencionar la variación en la porosidad del filtro según las zonas analizadas. Existirán dos zonas completamente diferenciadas, los laterales y la base del filtro. En las paredes la porosidad será mayor, ya que ahí es más fácil controlar el espesor y la compactación de la pieza cuando ésta se está realizando en el torno. Por otro lado, en cuanto al espesor de la base, se dependerá en gran medida de la pericia del ceramista pero generalmente el espesor suele ser mayor y suele quedar más compactado reduciendo así la porosidad.

En la siguiente tabla obtenida del estudio realizado por van Halem, se puede observar dicha variación según la parte del filtro incluso en el caso de utilizar una prensa. En este caso la parte de la base quedará más compactada que la de las paredes como muestra la tabla 18.



Sample	Porosity [%]	Density [g/mL]	Total pore area [m ² /g]
Lip	32	1.34	0.20
	32	1.40	3.51
Middle (H=10)	40	1.34	3.93
	45	1.36	3.63
Bottom (H=0)	33	1.36	0.19
	43	1.37	1.78

Tabla 18. Variación de la porosidad van Halem⁴⁶

C.2. Estudio analítico de la filtración

A continuación se comentarán los distintos estudios analíticos del filtrado que se han realizado, los cuales, debido a la dificultad del cálculo no han conseguido llegar a una conclusión unánime.

⁴⁶ Van Halem, D. (2006). Ceramic silver impregnated pot filters for household drinking water treatment in developing countries.

Para empezar, siguiendo las leyes de Darcy, Eriksen ideó un modelo matemático en el cual se contemplaba un filtro completamente lleno al que no se le volvía a añadir agua hasta quedar vacío. De esta forma, el flujo saldría más rápido cuanto más lleno se encontrara el filtro. A su vez, se simplificó la forma del filtro obteniendo la siguiente ecuación para la conductividad hidráulica (facilidad a la hora de dejar pasar un fluido por una superficie) :

$$k_{actual} = \frac{b}{T} \ln \left(\frac{H(1+2\frac{x}{D})}{x(1+2\frac{H}{D})} \right) \approx \frac{b}{T} \ln \left(\frac{H}{x(1+2\frac{H}{D})} \right)$$

Ecuación 1. Conductividad Hidráulica Eriksen

x = Altura del agua
 D = Diámetro
 H = Altura máxima del agua en el filtro
 b = Espesor de la cerámica
 T = Tiempo

Lamentablemente, los resultados teóricos no concordaban con los prácticos. La k_{actual} , que sería la conductividad hidráulica del filtro, no sería suficiente para inactivar las bacterias por medio de la plata coloidal estimando así de forma clara la ineficiencia del filtro. Esta conductividad hidráulica aporta una estimación de cuánto tiempo le costará al agua el ser filtrada por las paredes del filtro.

En este estudio quedaría por tanto espacio al desarrollo, como se hizo en el llevado a cabo por Lantagne.

En dicho caso, se añadió la tortuosidad propia del poro actualizando así el espesor de la capa efectiva de plata coloidal y aumentando el contacto teórico entre la plata y el agua contaminada. Al añadir la tortuosidad del poro, se aumenta notablemente la superficie bañada con plata coloidal que estará en contacto con el agua.

En las figuras 19 y 20 se observan los distintos tipos de flujo de filtrado:

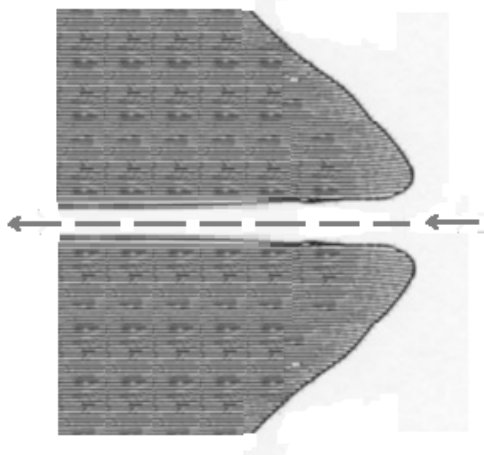


Figura 20. Flujo sin tortuosidad⁴⁷

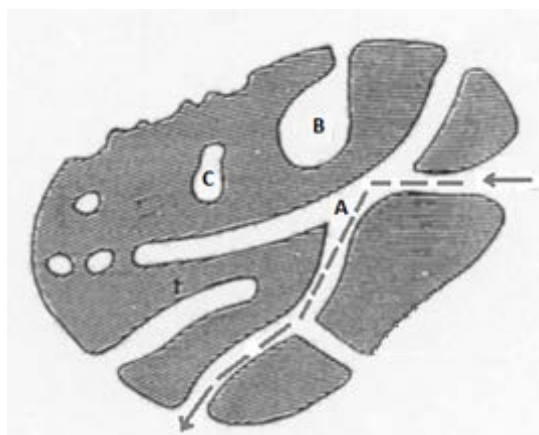


Figura 19. Flujo con tortuosidad⁴⁸

Además, se actualizó el tiempo de vaciado del filtro, de 1 hora utilizada por Eriksen a las 8 horas reales utilizadas por Lantagne. De todas formas, los resultados siguieron sin ser definitivos por lo que se sugería continuar con el desarrollo del análisis.

Finalmente, en el estudio realizado por Fahlin, se añadieron nuevas mejoras al desarrollo. La actualización principal de este estudio fue el cambio del modelo simplificado del filtro planteado por Eriksen y la utilización de un modelo más aproximado a la situación real por Fahlin. Las paredes contarían con una ligera inclinación y como hemos explicado antes, un mayor espesor en la base en comparación con los laterales. Estas variaciones desembocarían en la necesidad de calcular dos conductividades hidráulicas independientes, una para la base y otra para los laterales.

Para concluir, las recomendaciones de los tres estudios fueron las mismas. Es necesario un estudio más en profundidad sobre el filtrado para poder obtener una formulación que se asemeje a las experimentaciones reales. Los tres desarrollos se aproximan a ella, pero ninguno con la suficiente precisión.

⁴⁷Figura de elaboración propia

⁴⁸Figura de elaboración propia

A pesar de ello, si se consiguiera contar con una conductividad hidráulica lo suficientemente precisa, se podría calcular el flujo del filtro tanto por las paredes como por la k_{base} del filtro con la siguiente ecuación:

$$Q_{pared} = \frac{k_{pared} \pi D}{2e_{pared}} x^2$$

Ecuación 2. Flujo pared

$$Q_{base} = \frac{k_{base} \pi D^2}{4e_{base}}$$

Ecuación 3. Flujo base

Q = Flujo de agua
 k = Conductividad hidráulica
 D = Diámetro
 e = Espesor
 x = Altura del agua

Como se puede ver, en la ecuación del flujo por la pared del filtro el término x equivale a la altura del agua en el interior del mismo. Es importante señalar la relación que tiene dicha altura con el flujo del filtro. A mayor altura del agua, mayor ratio de filtrado.

C.3. Análisis del modo de saneamiento del agua

Analizando las formas que tiene el filtro de sanear el agua, se ha hablado anteriormente de los mecanismos que tiene la plata coloidal para actuar frente a las bacterias. Es por ello que será de gran importancia también, el analizar los mecanismos propios del filtro y la estructura cerámica, a la hora de actuar frente a las mismas:

- **Tamaño de poro:** Si la partícula, en este caso la bacteria, es de un tamaño mayor al del diámetro del poro, no podrá pasar. En el caso de análisis además, suponemos un tamaño de poro menor al de la media al haber realizado la cocción a 1.050 °C, temperatura a la cual los poros comienzan a hacerse más pequeños. Se obtendrá un menor ratio de filtrado pero un mayor bloqueo de las bacterias. Estas bacterias bloqueadas se quedará retenidas en el filtro donde morirán por la falta de oxígeno y por el efecto de la plata coloidal.

- Sedimentación: Como se ha comentado antes, hay distintos tipos de poros dentro de la estructura cerámica. Esta variedad causa que las partículas puedan depositarse en ciertas zonas y que no lleguen a pasar por los poros que conectan el interior del filtro con el exterior.
- Adsorción: Las fuerzas de adsorción se basan en la interacción de las cargas entre un sólido poroso y un fluido, como sería en este caso. Estas fuerzas, tienen un rango de acción muy pequeño por lo que será necesario que las partículas estén lo más pegadas posibles al sólido para poder actuar y adsorberlas. El pH del fluido o la limpieza del mismo tendrán un efecto muy importante sobre la eficacia de la adsorción final.
- Difusión: Las partículas pueden sufrir desvíos en sus trayectorias debido a la constante interacción entre las mismas. Su movimiento aleatorio puede provocar choques entre ellas que generen dichos desvíos favoreciendo así los procesos de sedimentación y adsorción.⁴⁹

⁴⁹ Van Halem, D. (2006). Ceramic silver impregnated pot filters for household drinking water treatment in developing countries.

Anexo D

ANÁLISIS DE LA COCCIÓN

D.1. Curva de cocción

1080° 30min. Mantenimiento

HORNO DE GAS Nº 2

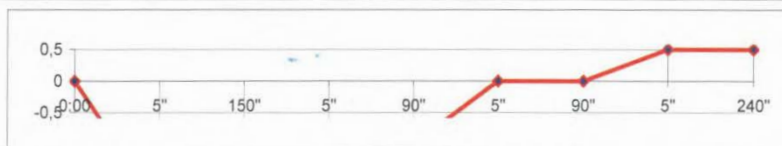
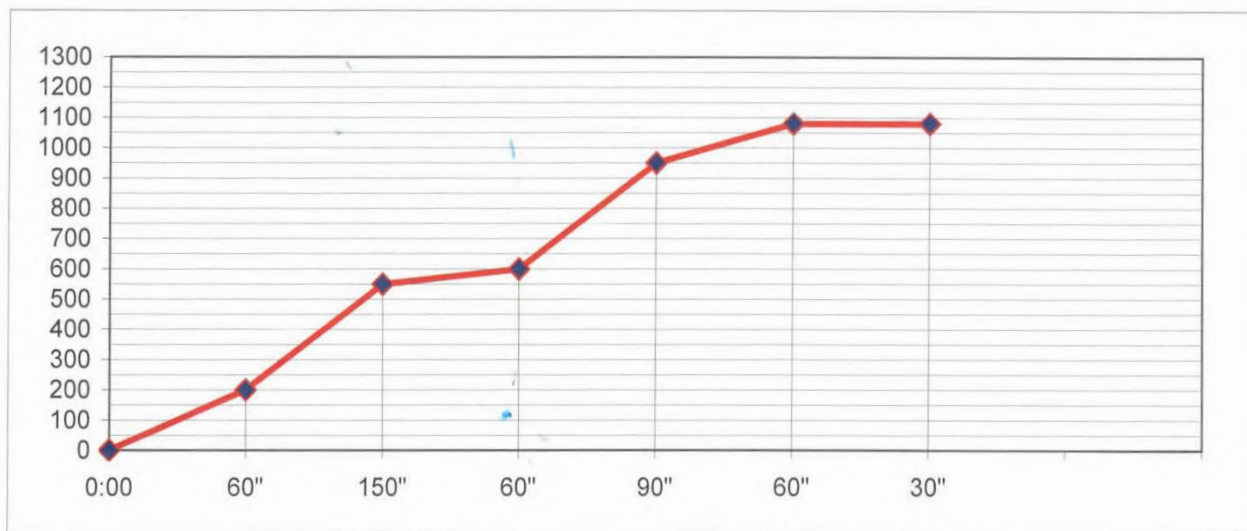
GRÁFICO Nº

1080° C

BIZCOCHO X

DECORADO

SEGMENTO	SEG 1	SEG 2	SEG 3	SEG 4	SEG 5	SEG 6	SEG 7	SEG 8	SEG 9	SEG 10	SEG 11	SEG 12	SEG 13	SEG 14	SEG 15	SEG 16
HORA	60"	150"	60"	90"	60"	30"										
GRADOS	200	550	600	950	1080	1080										
OXI-1 (OUT-01)	0	0	0	0	0	0										
OXI-2 (OUT-02)	0	0	0	0	0	0										
OXI-1+2 (OUT 1+2)																
REDUCCIÓN																
FRIO-3 (OUT 3)																



SEGMENTO	SEG 1	SEG 2	SEG 3	SEG 4	SEG 5	SEG 6	SEG 7	SEG 8	SEG 9	SEG 10	SEG 11	SEG 12	SEG 13	SEG 14	SEG 15	SEG 16
HORA	5"	150"	5"	90"	5"	90"	5"	240"								
GRADOS	-2	-2	-1	-1	0	0	0,5	0,5								

⁵⁰ Figura de elaboración propia

D.2. Análisis de la curva de cocción

Dentro de la cocción se podrán diferenciar distintas etapas, tanto por los colores que tomará el cuerpo cerámico como por las temperaturas:

100°C	Pérdida del agua proveniente de la humedad
200°C	La cristobalita cambia de fase (expansión del 3%)
300°C	Combustión de la materia orgánica (serrín) aumentando la porosidad (350-650°C)
400°C	Disociación de la pirita (450-510°C)
500°C	Pérdida del agua química (450-650°C)
600°C	Cambio de fase del cuarzo a los 573°C (expansión del 1%)
700°C	
800°C	Comienza la sinterización (800-900°C) fusión parcial de los óxidos y el sílice provocando la contracción de la pieza (800°C - ↑)
900°C	
1000°C	A temperaturas mayores de 1000°C aparece el cambio de mullita y cristobalita a cristal
1100°C	

Tabla 19. Fases de la cocción⁵¹

⁵¹ Análisis y descripción gráfica del funcionamiento del hornos cerámicos. Grupo de trabajo 411. Escuela de Arte Francisco Alcántara. Autores: Isabel Blasco, Javier Ferrero, Carlos García, Roberto González.

Anexo E

BARROS UTILIZADOS

E.1. Barro TRT

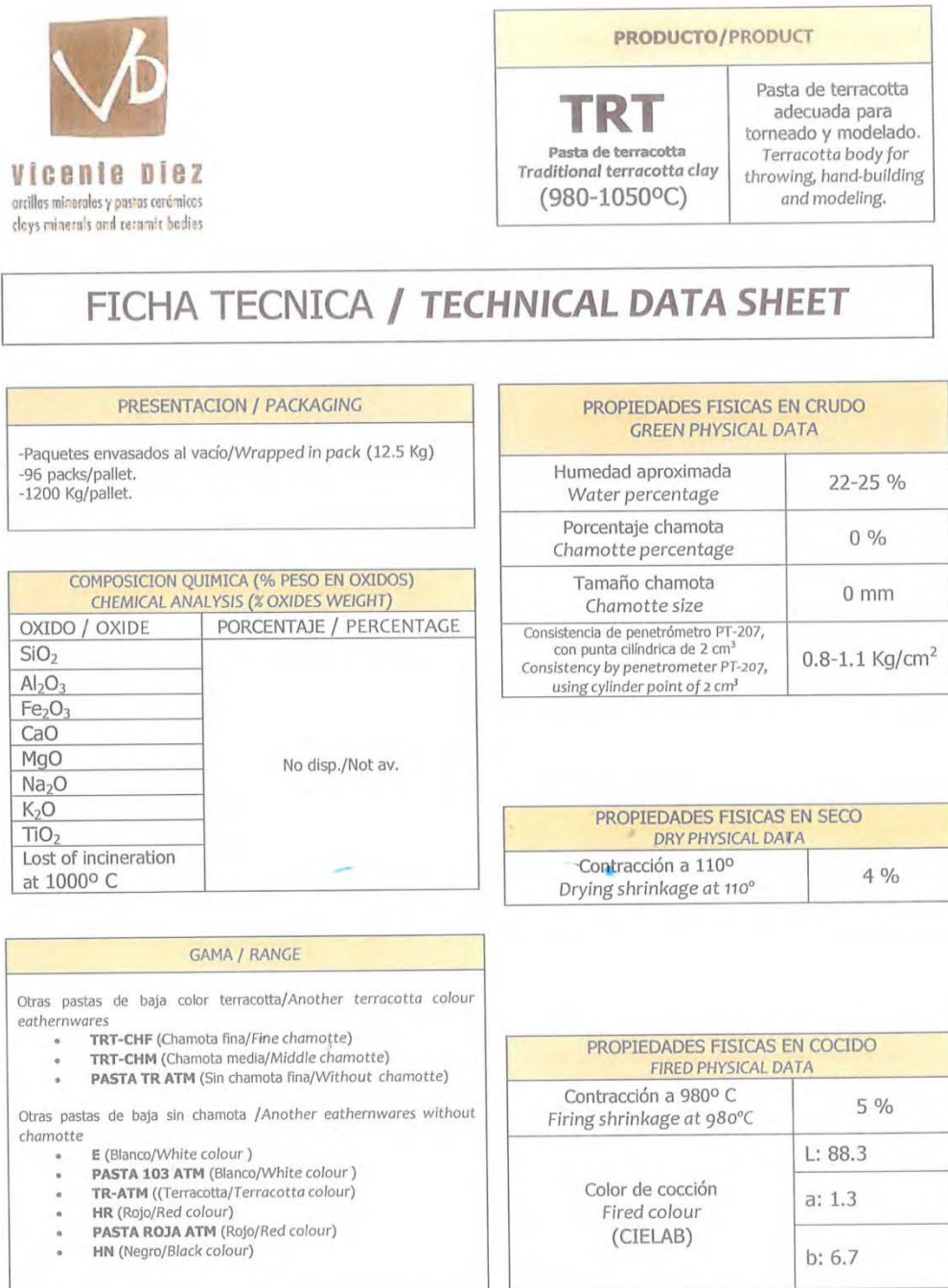


Figura 22. Ficha técnica barro TRT⁵²

⁵² Arcillas Vicente Díez

E.2. Barro TRT Chamotado



PRODUCTO/PRODUCT	
TRT-CHF Pasta de terracotta chamotada Traditional chamotted terracotta clay (980-1050°C)	Pasta de terracotta adecuada para torneado y modelado. Terracotta body for throwing, hand-building and modeling.

FICHA TECNICA / TECHNICAL DATA SHEET

PRESENTACION / PACKAGING
-Paquetes envasados al vacío/Wrapped in pack (12.5 Kg) -96 packs/pallet. -1200 Kg/pallet.

PROPIEDADES FISICAS EN CRUDO GREEN PHYSICAL DATA	
Humedad aproximada Water percentage	22-25 %
Porcentaje chamota Chamotte percentage	20 %
Tamaño chamota Chamotte size	0-0.5 mm
Consistencia de penetrómetro PT-207, con punta cilíndrica de 2 cm ³ Consistency by penetrometer PT-207, using cylinder point of 2 cm ³	0.8-1.1 Kg/cm ²

COMPOSICION QUIMICA (% PESO EN OXIDOS) CHEMICAL ANALYSIS (% OXIDES WEIGHT)	
OXIDO / OXIDE	PORCENTAJE / PERCENTAGE
SiO ₂	56.51
Al ₂ O ₃	17.00
Fe ₂ O ₃	5.96
CaO	5.07
MgO	1.58
Na ₂ O	0.58
K ₂ O	3.32
TiO ₂	0.75
Pérdida al fuego a 1000° C Lost of incineration at 1000° C	9.10

PROPIEDADES FISICAS EN SECO DRY PHYSICAL DATA	
Contracción a 110° Drying shrinkage at 110°	4 %

GAMA / RANGE
Otras pastas de baja color terracotta/Another terracotta colour eathernwares <ul style="list-style-type: none"> • TRT (Sin chamota fina/Without chamotte) • TRT-CHM (Chamota media/Middle chamotte) • PASTA TR ATM (Sin chamota fina/Without chamotte)
Otras pastas de baja con chamota media /Another eathernwares middle chamotte <ul style="list-style-type: none"> • HR-CHF (Rojo/Red colour) • HN-CHM(Negro/Black colour)

PROPIEDADES FISICAS EN COCIDO FIRED PHYSICAL DATA	
Contracción a 980° C Firing shrinkage at 980° C	5.2 %
Color de cocción Fired colour (CIELAB)	L: 55.6
	a: 24.1
	b: 25.9

Figura 23. Ficha técnica barro TRT⁵³

⁵³ Arcillas Vicente Díez

Anexo F

PROPUESTA DE DISEÑO DE UN HORNO APTO PARA COCCIÓN DE CERÁMICA NEGRA

F.1. Propuesta de diseño

A continuación se detallarán los pasos para la construcción de un horno apto para realizar la cocción en reducción:

1. Base excavada del horno

En esta primera fase se excavará el hogar del fuego del horno y la entrada de la leña al mismo. La entrada tendrá una pequeña inclinación de forma que suba hasta llegar al hogar, fomentando así la circulación del aire en el horno.

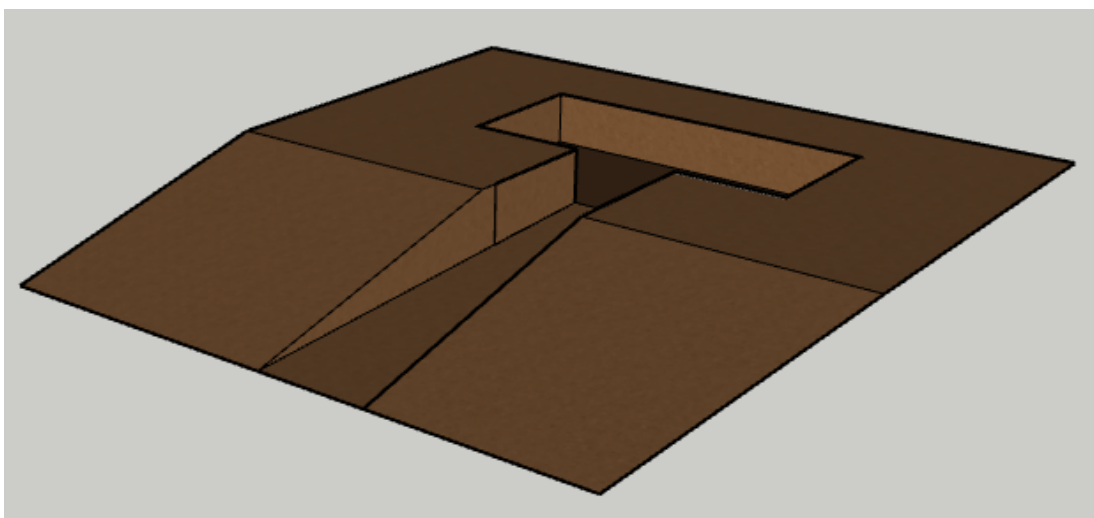


Figura 24. Base excavada del horno⁵⁴

2. Base estructurada con reja y ladrillo

Se añadirán planchas cerámicas en las paredes del hogar. Al estar en contacto con el fuego deberán ser capaces de soportar bien la temperatura. Por otro lado, en la

⁵⁴ Figura de elaboración propia

parte superior se colocará una reja metálica, generalmente de fundición donde apoyarán las piezas.

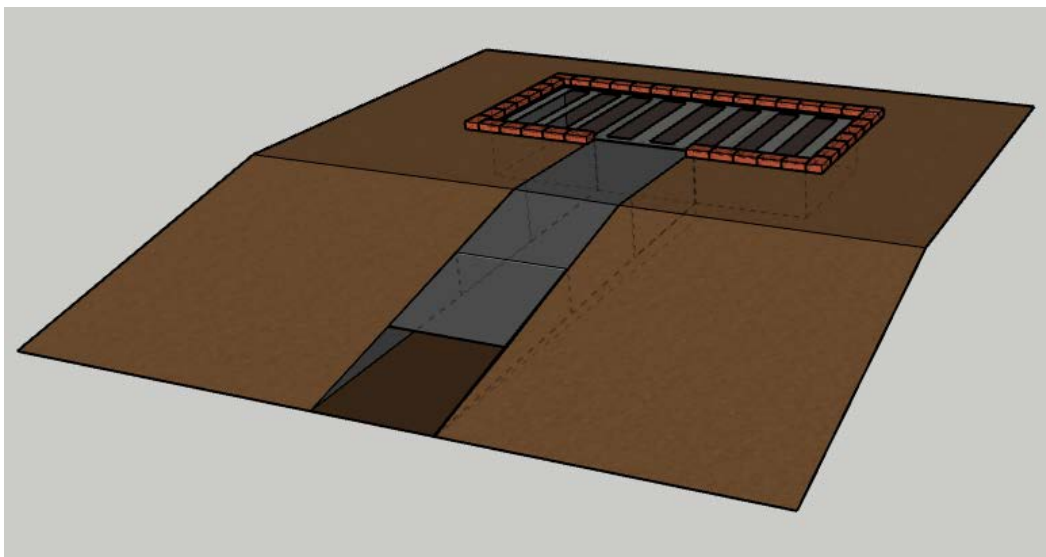


Figura 25. Base estructurada del horno⁵⁵

3. Cámara del horno

Continuando con la estructura de ladrillo se construirá la cámara del horno sobre el hogar. No es necesario utilizar ningún tipo de argamasa para unir los ladrillos, bastará con barro.

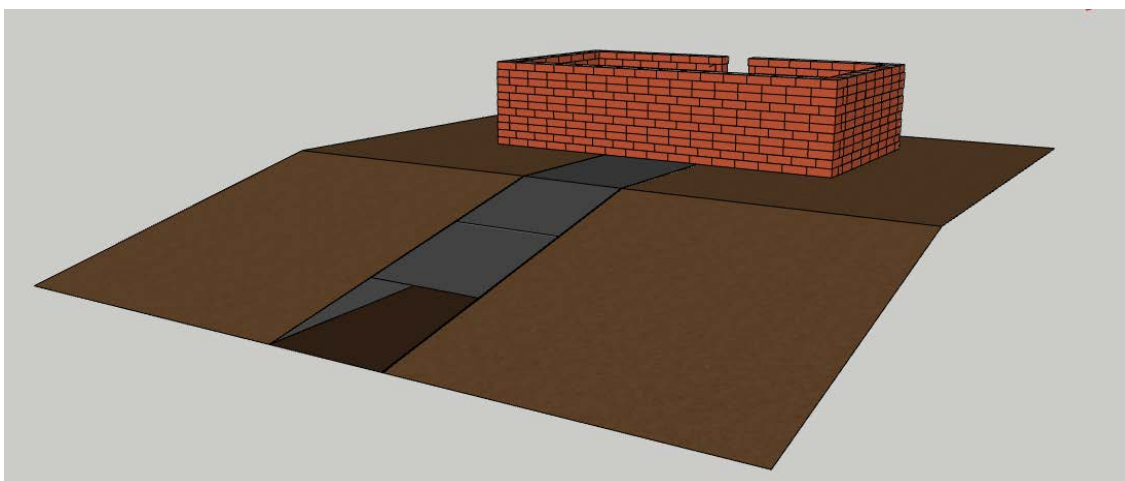


Figura 26. Cámara del horno⁵⁶

⁵⁵ Figura de elaboración propia

⁵⁶ Figura de elaboración propia

Como se puede observar, en la parte trasera se dejará una apertura para la entrada de las piezas y poder cargar el horno. Interesa que sea de un tamaño pequeño para poder tajarla rápidamente y realizar la cocción en reducción.

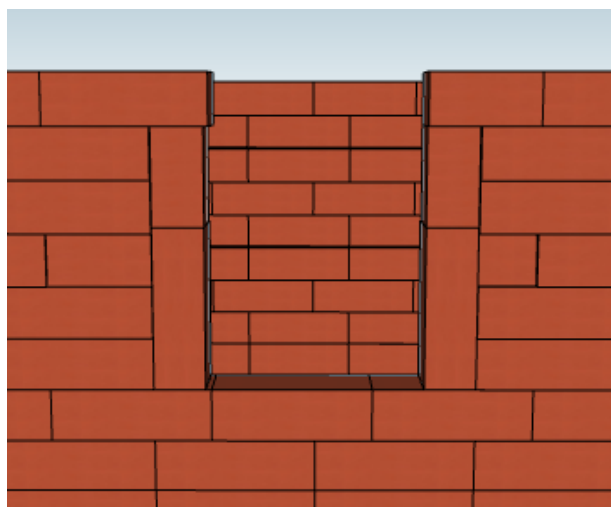


Figura 27. Puerta del horno⁵⁷

4. Diseño final

Se añadirán planchas cerámicas resistentes a alta temperatura en la parte superior. Será sobre ellas donde se abrirán una serie de huecos que harán la función de chimenea. En este caso también es importante ser capaz de cerrarlas rápidamente.

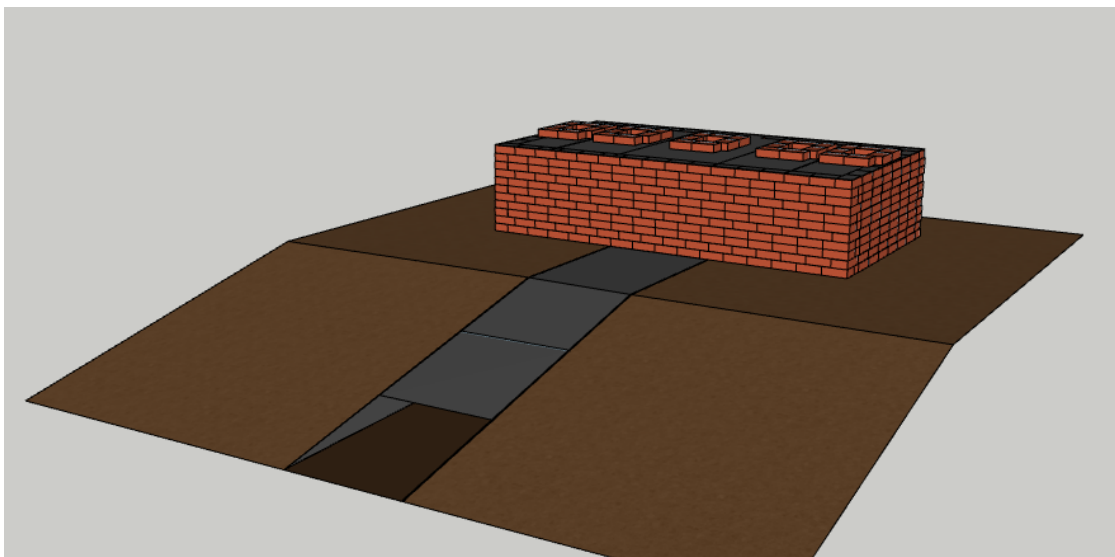


Figura 28. Diseño final horno vista frontal⁵⁸

⁵⁷ Figura de elaboración propia

⁵⁸ Figura de elaboración propia

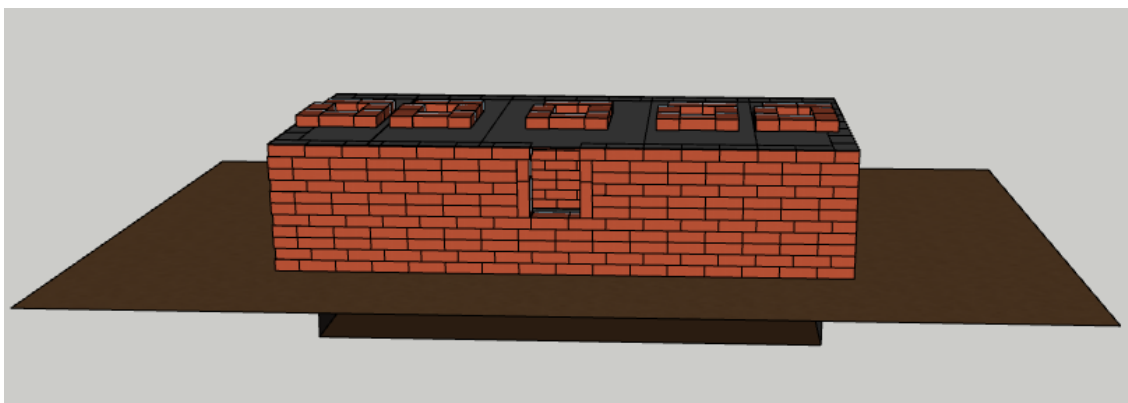


Figura 29. Diseño final horno vista trasera⁵⁹

Llegados a este punto es recomendable acumular tierra sobre las paredes exteriores del horno, además de la parte superior de las chimeneas, con el fin de lograr un mayor aislamiento. Como se ha comentado anteriormente, no se utilizará ningún tipo de argamasa aparte de barro por lo que será de gran importancia el lograr un mejor aislamiento.

5. Uso en cocción

Este horno de pequeño tamaño permite realizar cocciones a leña de forma rápida y controlada. Las dimensiones pueden variar según el uso final que se le quiera dar, no obstante, el funcionamiento será el mismo.

Como en cualquier cocción será importante seguir una curva de calentamiento acorde con el barro utilizado y respetando los tiempos de la misma, en este caso la temperatura máxima a alcanzar serían los 800-900 °C. Llegados a este punto, será el momento de tapar cualquier entrada de aire y dejar que la temperatura del horno se reduzca gradualmente y de manera natural. Es entonces cuando al negar la entrada de oxígeno en el horno, se conseguirá una atmósfera reductora que permitirá a las piezas absorber parte del carbón generado durante la cocción volviéndolas de un color negro.

Será importante que el horno ya haya alcanzado la temperatura ambiente cuando se vuelva a abrir, para recuperar las piezas evitando cualquier fractura o grieta por el choque térmico.

⁵⁹ Figura de elaboración propia

Anexo G

RESULTADOS BACTERIOLÓGICOS DEL FILTRADO

En las páginas siguientes se incluirán los resultados de los análisis bacteriológicos de las 3 muestras tomadas para el estudio. La primera muestra G.1, será agua sin filtrar, recogida en el Canal Imperial de Aragón de Zaragoza. Las otras dos, serán las muestras tomadas tras realizar el filtrado de esa misma agua recogida en el mismo día y en el mismo punto del canal. La muestra G.2 será la correspondiente a la muestra tomada del filtro con 10% de serrín mientras que la G.3 corresponderá a la muestra del filtro con 15% de serrín.

G.1. Resultados de la muestra del agua sin filtrar



(* Los ensayos y actividades marcados no están amparados en el alcance de acreditación.

LABORATORIO CUYO SISTEMA DE CALIDAD ESTÁ CERTIFICADO SEGÚN LA NORMA ISO 9001 : 2008
 LABORATORIOS ANÁLISIS ASESORES CONSULTORES FORMACIÓN CALIDAD SERVICIOS ON LINE

INFORME DE ENSAYO: 17167736

EOLISA LABORATORIOS

Juan Manuel Jimenez
Avda de las Estrellas nº 19 Local

50012 - Zaragoza (ZARAGOZA)

Descripción muestra: Agua AFCH Agua sin filtrar 30.10.2017

Fecha de Recepción: 31/10/2017

Referencia cliente: 17/1840

Fecha de Recogida:

Recogida por (*): El Cliente

Fecha de Envasado:

Otros datos de interés:

Lote:

Fecha de Caducidad:

Fecha inicio análisis: 31/10/2017

Fecha final análisis: 03/11/2017

Fecha entrega análisis: 08/11/2017

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO DE ENSAYO	LÍMITE DE REFERENCIA (*)
Unidades			
Rec. microorganismos aerobios 22°C (aguas) (ufc/ml)	6,9E3	UNE-EN-ISO 6222:1999	<=100
Rec. bacterias coliformes (aguas) (ufc/100 ml)	> 1,0E2	UNE-EN-ISO 9308-1:2014	<=0
Rec. Escherichia coli (aguas) (ufc/100 ml)	> 1,0E2	UNE-EN-ISO 9308-1:2014	<=0
Rec. Clostridium perfringens y esporas (aguas) (ufc/100 ml)	(*) 39	R.D. 140/2003 de 7 de Febrero (BOE nº45 de 21-02-03)	<=0
Rec. enterococos intestinales (aguas) (ufc/100 ml)	(*) 0	UNE-EN-ISO 7899-2:2001	<=0

Las incertidumbres de las técnicas acreditadas por ENAC están calculadas y a disposición del cliente.
 Los datos analíticos solo corresponden a las muestras sometidas a ensayo.
 Este informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.

Director Técnico
José M^e Viñuela Ballesteros

Página 1 de 3

INDUSTRIA ALIMENTARIA - MEDIO AMBIENTE - INDUSTRIA AGROPECUARIA - INDUSTRIA FARMACEÚTICA

Informe emitido por: Análiza Control de Calidad, S.L.
 Centro Europeo de Empresas e Innovación • Módulos 28 - 29 • 09007 Burgos • Tel 947041479 • Fax 947041480 • E-mail: info@analizacalidad.com

Anexo G. Resultados bacteriológicos del filtrado



Analiza Control de Calidad S.L.



ENSAYOS
N° 552 / LE 1225
N° 552 / LE 1333

(*) Los ensayos y actividades
marcados no están amparados
en el alcance de acreditación.

LABORATORIO CUYO SISTEMA DE CALIDAD ESTÁ CERTIFICADO SEGÚN LA NORMA ISO 9001 : 2008
LABORATORIOS ANÁLISIS ASESORES CONSULTORES FORMACIÓN CALIDAD SERVICIOS ON LINE

INFORME DE ENSAYO: 17167736

LÍMITES DE REFERENCIA (*):

Según los límites de referencia indicados, la muestra analizada incumple las especificaciones analíticas del R.D. 140/2003, 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de Red de distribución, para los parámetros siguientes:

- Rec. microorganismos aerobios 22°C (aguas)
- Rec. bacterias coliformes (aguas)
- Rec. Escherichia coli (aguas)
- Rec. Clostridium perfringens y esporas

Analiza Control de Calidad, S.L. - Registro Mercantil de Burgos, Tomo 460, Libro 251, Folio 143, Sección 8ª, Hoja BU-8534, inscripción 1ª - N.I.F.: B-08394107

Las incertidumbres de las técnicas acreditadas por ENAC están calculadas y a disposición del cliente.
Los datos analíticos solo corresponden a las muestras sometidas a ensayo.
Este informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.


Director Técnico
José Mª Vinyuela Ballesteros

Página 2 de 3

INDUSTRIA ALIMENTARIA - MEDIO AMBIENTE - INDUSTRIA AGROPECUARIA - INDUSTRIA FARMACEÚTICA
Informe emitido por: Analiza Control de Calidad, S.L.
Centro Europeo de Empresas e Innovación • Módulos 28 - 29 • 09007 Burgos • Tel 947041479 • Fax 947041480 • E-mail: info@analizacalidad.com

Anexo G. Resultados bacteriológicos del filtrado



ENSAYOS
N° 552 / L E 1 2 2 5
N° 552 / L E 1 3 3 3

(*) Los ensayos y actividades marcados no están amparados en el alcance de acreditación.

LABORATORIO CUYO SISTEMA DE CALIDAD ESTÁ CERTIFICADO SEGÚN LA NORMA ISO 9001 : 2008
LABORATORIOS ANÁLISIS ASESORES CONSULTORES FORMACIÓN CALIDAD SERVICIOS ON LINE

INFORME DE ENSAYO: 17167736

OBSERVACIONES(*):

En el análisis de microorganismos aerobios a 22°C se ha utilizado la técnica de siembra en profundidad en placa. Medio de cultivo: Agar extracto de levadura. Tiempo de incubación 68 ± 2 horas. Temperatura de incubación 22 ± 2 °C

Analiza Control de Calidad, S.L. - Registro Mercantil de Burgos, Tomo 460, Libro 251, Folio 143, Sección 8ª, Hoja BU-8534, inscripción 1ª - N.I.F.: B-09394107

Las incertidumbres de las técnicas acreditadas por ENAC están calculadas y a disposición del cliente.
Los datos analíticos solo corresponden a las muestras sometidas a ensayo.
Este informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.

Director Técnico
José M^o Vizueta Ballesteros

Página 3 de 3

INDUSTRIA ALIMENTARIA - MEDIO AMBIENTE - INDUSTRIA AGROPECUARIA - INDUSTRIA FARMACEÚTICA

Informe emitido por: Analiza Control de Calidad, S.L.
Centro Europeo de Empresas e Innovación • Módulos 28 - 29 • 09007 Burgos • Tel 947041479 • Fax 947041480 • E-mail: info@analizacalidad.com

G.2. Resultados de la muestra de agua del filtro con 10% de serrín



LABORATORIO CUYO SISTEMA DE CALIDAD ESTÁ CERTIFICADO SEGÚN LA NORMA ISO 9001 : 2008
 LABORATORIOS ANÁLISIS ASESORES CONSULTORES FORMACIÓN CALIDAD SERVICIOS ON LINE



(*) Los ensayos y actividades marcados no están amparados en el alcance de acreditación.

INFORME DE ENSAYO: 17167735

EOLISA LABORATORIOS

Juan Manuel Jimenez
Avda de las Estrellas nº 19 Local

50012 - Zaragoza (ZARAGOZA)

Descripción muestra: Agua AFCH Agua filtro con 10% de serrín 30.10.2017

Fecha de Recepción: 31/10/2017

Referencia cliente: 17/1839

Fecha de Recogida:

Fecha de Envasado:

Recogida por (*): El Cliente

Lote:

Otros datos de interés:

Fecha de Caducidad:

Fecha inicio análisis: 31/10/2017

Fecha final análisis: 03/11/2017

Fecha entrega análisis: 08/11/2017

PARÁMETRO Unidades	RESULTADO	MÉTODO DE ENSAYO	LÍMITE DE REFERENCIA (*)
Rec. microorganismos aerobios 22°C (aguas) (ufc/ml)	5,9E3	UNE-EN-ISO 6222:1999	<=100
Rec. bacterias coliformes (aguas) (ufc/100 ml)	0	UNE-EN-ISO 9308-1:2014	<=0
Rec. Escherichia coli (aguas) (ufc/100 ml)	0	UNE-EN-ISO 9308-1:2014	<=0
Rec. Clostridium perfringens y esporas (aguas) (ufc/100 ml)	(*) 0	R.D. 140/2003 de 7 de Febrero (BOE nº45 de 21-02-03)	<=0
Rec. enterococos intestinales (aguas) (ufc/100 ml)	(*) 0	UNE-EN-ISO 7899-2:2001	<=0

Las incertidumbres de las técnicas acreditadas por ENAC están calculadas y a disposición del cliente.
 Los datos analíticos solo corresponden a las muestras sometidas a ensayo.
 Este informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.


Director Técnico
José M. Vinyuela Ballesteros

Página 1 de 3

INDUSTRIA ALIMENTARIA - MEDIO AMBIENTE - INDUSTRIA AGROPECUARIA - INDUSTRIA FARMACEÚTICA

Informe emitido por: Analiza Control de Calidad, S.L.
 Centro Europeo de Empresas e Innovación • Módulos 28 - 29 • 09007 Burgos • Tel 947041479 • Fax 947041480 • E-mail: info@analizacalidad.com

Anexo G. Resultados bacteriológicos del filtrado



LABORATORIO CUYO SISTEMA DE CALIDAD ESTÁ CERTIFICADO SEGÚN LA NORMA ISO 9001 : 2008
LABORATORIOS ANÁLISIS ASESORES CONSULTORES FORMACIÓN CALIDAD SERVICIOS ON LINE



(*) Los ensayos y actividades marcados no están amparados en el alcance de acreditación.

INFORME DE ENSAYO: 17167735

LÍMITES DE REFERENCIA (*):

Según los límites de referencia indicados, la muestra analizada incumple las especificaciones analíticas del R.D. 140/2003, 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de Red de distribución, para los parámetros siguientes:

Rec. microorganismos aerobios 22°C (aguas)

Analiza Control de Calidad, S.L. - Registro Mercantil de Burgos, Tomo 460, Libro 251, Folio 143, Sección 8ª, Hoja BU-6534, Inscripción 1ª - N.I.F.: B-08394107

Las incertidumbres de las técnicas acreditadas por ENAC están calculadas y a disposición del cliente.
Los datos analíticos solo corresponden a las muestras sometidas a ensayo.
Este informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.

Director Técnico
José M^o Vinyuela Ballesteros

Página 2 de 3

INDUSTRIA ALIMENTARIA - MEDIO AMBIENTE - INDUSTRIA AGROPECUARIA - INDUSTRIA FARMACEÚTICA
Informe emitido por: Analiza Control de Calidad, S.L.
Centro Europeo de Empresas e Innovación • Módulos 28 - 29 • 09007 Burgos • Tel 947041479 • Fax 947041480 • E-mail: info@analizacalidad.com

Anexo G. Resultados bacteriológicos del filtrado



(*) Los ensayos y actividades marcados no están amparados en el alcance de acreditación.

LABORATORIO CUYO SISTEMA DE CALIDAD ESTÁ CERTIFICADO SEGÚN LA NORMA ISO 9001 : 2008
LABORATORIOS ANÁLISIS ASESORES CONSULTORES FORMACIÓN CALIDAD SERVICIOS ON LINE

INFORME DE ENSAYO: 17167735

OBSERVACIONES(*):

En el análisis de microorganismos aerobios a 22°C se ha utilizado la técnica de siembra en profundidad en placa. Medio de cultivo: Agar extracto de levadura. Tiempo de incubación 68 ± 2 horas. Temperatura de incubación 22 ± 2 °C

Analiza Control de Calidad, S.L. - Registro Mercantil de Burgos. Tomo 460, Libro 261, Folio 143, Sección 8ª, Hoja BU-6534. Inscripción 1ª. N.I.F.: B-08394107

Las incertidumbres de las técnicas acreditadas por ENAC están calculadas y a disposición del cliente. Los datos analíticos solo corresponden a las muestras sometidas a ensayo. Este informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.

Director Técnico
José M^a Vizueta Ballesteros

Página 3 de 3

INDUSTRIA ALIMENTARIA - MEDIO AMBIENTE - INDUSTRIA AGROPECUARIA - INDUSTRIA FARMACEÚTICA

Informe emitido por: Analiza Control de Calidad, S.L.
Centro Europeo de Empresas e Innovación • Módulos 28 - 29 • 09007 Burgos • Tel 947041479 • Fax 947041480 • E-mail: info@analizacalidad.com

G.3. Resultados de la muestra de agua del filtro con 15% de serrín



LABORATORIO CUYO SISTEMA DE CALIDAD ESTÁ CERTIFICADO SEGÚN LA NORMA ISO 9001 : 2008
 LABORATORIOS ANÁLISIS ASESORES CONSULTORES FORMACIÓN CALIDAD SERVICIOS ON LINE



(*) Los ensayos y actividades marcados no están amparados en el alcance de acreditación.

INFORME DE ENSAYO: 17167737

EOLISA LABORATORIOS

Juan Manuel Jimenez
Avda de las Estrellas nº 19 Local

50012 - Zaragoza (ZARAGOZA)

Descripción muestra: Agua AFCH Agua filtro con 15% de serrín 30.10.2017

Fecha de Recepción: 31/10/2017

Referencia cliente: 17/1841

Fecha de Recogida:

Fecha de Envasado:

Recogida por (*): El Cliente

Lote:

Otros datos de interés:

Fecha de Caducidad:

Fecha inicio análisis: 31/10/2017

Fecha final análisis: 03/11/2017

Fecha entrega análisis: 08/11/2017

PARÁMETRO Unidades	RESULTADO	MÉTODO DE ENSAYO	LÍMITE DE REFERENCIA (*)
Rec. microorganismos aerobios 22°C (aguas) (ufc/ml)	6,6E3	UNE-EN-ISO 6222:1999	<=100
Rec. bacterias coliformes (aguas) (ufc/100 ml)	0	UNE-EN-ISO 9308-1:2014	<=0
Rec. Escherichia coli (aguas) (ufc/100 ml)	0	UNE-EN-ISO 9308-1:2014	<=0
Rec. Clostridium perfringens y esporas (aguas) (ufc/100 ml)	(*) 0	R.D. 140/2003 de 7 de Febrero (BOE nº45 de 21-02-03)	<=0
Rec. enterococos intestinales (aguas) (ufc/100 ml)	(*) 0	UNE-EN-ISO 7899-2:2001	<=0

Las incertidumbres de las técnicas acreditadas por ENAC están calculadas y a disposición del cliente.
 Los datos analíticos solo corresponden a las muestras sometidas a ensayo.
 Este informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.


Director Técnico
José M. Vinyuela Ballesteros

Página 1 de 3

INDUSTRIA ALIMENTARIA - MEDIO AMBIENTE - INDUSTRIA AGROPECUARIA - INDUSTRIA FARMACEÚTICA

Informe emitido por: Analiza Control de Calidad, S.L.
 Centro Europeo de Empresas e Innovación • Módulos 28 - 29 • 09007 Burgos • Tel 947041479 • Fax 947041480 • E-mail: info@analizacalidad.com

Anexo G. Resultados bacteriológicos del filtrado



LABORATORIO CUYO SISTEMA DE CALIDAD ESTÁ CERTIFICADO SEGÚN LA NORMA ISO 9001 : 2008
LABORATORIOS ANÁLISIS ASESORES CONSULTORES FORMACIÓN CALIDAD SERVICIOS ON LINE



(*) Los ensayos y actividades marcados no están amparados en el alcance de acreditación.

INFORME DE ENSAYO: 17167737

LÍMITES DE REFERENCIA (*):

Según los límites de referencia indicados, la muestra analizada incumple las especificaciones analíticas del R.D. 140/2003, 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de Red de distribución, para los parámetros siguientes:

Rec. microorganismos aerobios 22°C (aguas)

Analiza Control de Calidad, S.L. - Registro Mercantil de Burgos, Tomo 460, Libro 251, Folio 143, Sección 8ª, Hoja BU-6534, Inscripción 1ª - N.I.F.: B-08394107

Las incertidumbres de las técnicas acreditadas por ENAC están calculadas y a disposición del cliente.
Los datos analíticos solo corresponden a las muestras sometidas a ensayo.
Este informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.

Director Técnico
José M^o Vinyuela Ballesteros

Página 2 de 3

INDUSTRIA ALIMENTARIA - MEDIO AMBIENTE - INDUSTRIA AGROPECUARIA - INDUSTRIA FARMACEÚTICA
Informe emitido por: Analiza Control de Calidad, S.L.
Centro Europeo de Empresas e Innovación • Módulos 28 - 29 • 09007 Burgos • Tel 947041479 • Fax 947041480 • E-mail: info@analizacalidad.com

Anexo G. Resultados bacteriológicos del filtrado



(*) Los ensayos y actividades marcados no están amparados en el alcance de acreditación.

LABORATORIO CUYO SISTEMA DE CALIDAD ESTÁ CERTIFICADO SEGÚN LA NORMA ISO 9001 : 2008
LABORATORIOS ANÁLISIS ASESORES CONSULTORES FORMACIÓN CALIDAD SERVICIOS ON LINE

INFORME DE ENSAYO: 17167737

OBSERVACIONES(*):

En el análisis de microorganismos aerobios a 22°C se ha utilizado la técnica de siembra en profundidad en placa. Medio de cultivo: Agar extracto de levadura. Tiempo de incubación 68 ± 2 horas. Temperatura de incubación 22 ± 2 °C

Analiza Control de Calidad, S.L. - Registro Mercantil de Burgos. Tomo 460, Libro 261, Folio 143, Sección 8ª, Hoja BU-6534. Inscripción 1ª. N.I.F.: B-08394107

Las incertidumbres de las técnicas acreditadas por ENAC están calculadas y a disposición del cliente. Los datos analíticos solo corresponden a las muestras sometidas a ensayo. Este informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.

Director Técnico
José M^a Vizueta Ballesteros

Página 3 de 3

INDUSTRIA ALIMENTARIA - MEDIO AMBIENTE - INDUSTRIA AGROPECUARIA - INDUSTRIA FARMACEÚTICA

Informe emitido por: Analiza Control de Calidad, S.L.
Centro Europeo de Empresas e Innovación • Módulos 28 - 29 • 09007 Burgos • Tel 947041479 • Fax 947041480 • E-mail: info@analizacalidad.com

REFERENCIAS

- Web: https://www.unicef.org/spanish/wash/index_31600.html
- Libro: CALLISTER, William D. Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. Reverté, 2002.
- Revista del Instituto de Salud Pública de la Universidad Veracruzana. Volumen 6, No.12, septiembre 2010 : Plata coloidal y salud. Autores: Elda Maria del Rocio Coutiño Rodríguez, Rocio Anais Pérez Gutiérrez, Rebeca García Román, Luis Alfredo Herbert Doctor
- Informe: Edition, F. (2011). Guidelines for drinking-water quality. WHO chronicle, 38, 104-8.
- Estudio: Van Halem, D. (2006). Ceramic silver impregnated pot filters for household drinking water treatment in developing countries.
- Informe: LANTAGNE, Daniele S. Investigation of the potters for peace colloidal silver impregnated ceramic filter. Report 2: Field Investigations: Alethia Environmental, 2001.
- Web: <http://filtrosdescontaminantedeagua.blogspot.com.es/>
- Libro: FERNÁNDEZ CHITI, J. (2005). Filtro Cerámico Condorhuasi: Descontaminante de Aguas. BUENOS AIRES: CONDORHUASI.
- Estudio: Delgado, G. (2010). Estudio de filtros cerámicos para el diseño y desarrollo de sistemas domésticos de bajo costo. In II Congreso Iberoamericano de Investigación Artística y Proyectual y V Jornada de Investigación en Disciplinas Artísticas y Proyectuales (La Plata, 2010).
- Web: <https://www.madidrop.com>
- Web: <http://www.britishberkefeld.com>
- Web: <https://www.sswm.info/category/step-university/module-2-centralised-and-decentralised-systems-water-and-sanitation/modu-24>
- Web: <http://www.biosandfilter.org>
- Informe: The Ceramics Manufacturing Working Group (2011). Best Practice Recommendations for Local Manufacturing of Ceramic Pot Filters for Household Water Treatment, Ed. 1. Atlanta, GA, USA: CDC.
- Web: <http://pottersforpeace.com>
- Estudio: Guerrero-Latorre, L., Rusiñol, M., Hundesa, A., Garcia-Valles, M., Martinez, S., Joseph, O. & Girones, R. (2015). Development of improved low-cost ceramic water filters for viral removal in the Haitian context. Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development, 5(1), 28-38.
- Web: <http://www.infoceramica.com/2017/07/filtros-de-agua-de-ceramica-negra-de-fonteta-al-ecuador/>

- Estudio: Howard, G., Bartram, J., Water, S., & World Health Organization. (2003). Domestic water quantity, service level and health.
- Informe: Desarrollo del artículo 27.7 del Real Decreto 140/2003, de 7 de Febrero. Autores: Grupo de trabajo sobre parámetros (Subgrupo de parámetros C) Dependiente de la ponencia de sanidad ambiental. Ministerio de salud y consumo.
- Web: <http://www.uco.es/~iq2sagrl/TranspAdsGases.pdf>
- Estudio: Análisis y descripción gráfica del funcionamiento del hornos cerámicos. Grupo de trabajo 411. Escuela de Arte Francisco Alcántara. Autores: Isabel Blasco, Javier Ferrero, Carlos García, Roberto González.