

**Diseño e implementación de un sistema cero vertimientos de aguas residuales
provenientes del proceso industrial de la empresa ALFAGRES S.A., Municipio de
Soacha, Cundinamarca**

Oscar Albeiro Galindo Otálora

Universidad Santo Tomás
Decanatura de División de Educación Abierta y a Distancia
Facultad de Ciencias y Tecnologías
Programa Administración Ambiental y de los Recursos Naturales
Bogotá
2019



**Diseño e implementación de un sistema cero vertimientos de aguas residuales
provenientes del proceso industrial de la empresa ALFAGRES S.A., Municipio de
Soacha, Cundinamarca**

**Trabajo de grado para optar al título de Administrador Ambiental y de los Recursos
Naturales**

Oscar Albeiro Galindo Otálora

**Directora
Estrella Cárdenas Castro
Bióloga, MSc. en Ciencias Agrarias**

**Universidad Santo Tomás
Decanatura de División de Educación Abierta y a Distancia
Facultad de Ciencias y Tecnologías
Programa Administración Ambiental y de los Recursos Naturales
Bogotá
2019**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

AGRADECIMIENTOS

Sinceros agradecimientos a:

La Universidad Santo Tomás por mi formación profesional.

A profesora Estrella Cárdenas Castro Bióloga, MSc. en Ciencias Agrarias, por su gran aporte técnico y científico, seguimiento, dirección en la tesis de grado.

A la ingeniera Isela Katherine Garzón Bolívar Jefe de Gestión Ambiental Alfagres S.A. por su apoyo e interés frente al proyecto que llevo a feliz término.

A la empresa Alfagres S.A por permitir realizar este proyecto que fue muy enriquecedor en aprendizaje y para la empresa representó un reconocimiento Premio a la Responsabilidad Social 2018 Camacol.

Tabla de Contenido

RESUMEN ANALÍTICO	1
INTRODUCCIÓN	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
Antecedentes	5
Formulación del Problema	6
Justificación	7
OBJETIVOS	7
Objetivo General	7
Objetivos Específicos	7
MARCO TEÓRICO.....	8
Ubicación del estudio	10
Procedimiento para la identificación de sistemas productivos en los cuales se puede utilizar agua residual	11
Procedimiento para pruebas de laboratorio del agua residual y evaluación de la posibilidad de incorporarla a la producción	12
Procedimiento para la realización de pruebas de laboratorio para descartar afectaciones en la calidad del producto	12
Procedimiento de prueba piloto para la reutilización del agua residual dentro del proceso productivo identificado	21
Procedimiento para hacer las pruebas en producción con agua residual	22
Procedimiento para la evaluación de modificaciones e instalación para llevar el agua residual a la planta de producción	22
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
Identificación de sistemas productivos en los cuales se logró utilizar agua residual	23
Pruebas de laboratorio del agua residual y evaluación de la posibilidad de incorporarla a la producción	24
Resultados de pruebas de laboratorio para descartar afectaciones en la calidad del producto	25
Resultados de las pruebas en producción con agua residual	29
Comparación de calidades de la cerámica en las plantas Alfacer 1, 2, 3	29
Presupuesto de costos para la implementación del agua residual en las plantas de molienda con el fin de llegar a cero vertimientos	31
CONCLUSIONES	33
RECOMENDACIONES	33
BIBLIOGRAFÍA	34
GLOSARIO	36

Lista de tablas

Tabla 1. Planificación del plan de acción con los productos a entregar y responder	11
Tabla 2. Resultados de laboratorio de la prueba de calidad de agua.....	24
Tabla 3 Identificación de muestras de agua con diferente pH	25
Tabla 4. Resultados obtenidos al realizar la prueba de rotura para observar afectaciones en la parte interna del material.....	27
Tabla 5. Resultados porcentaje de humedad de prensado de cada muestra	27
Tabla 6. Resultados porcentaje de Higroscopicidad para cada una de las muestras	28
Tabla 7. Resultados porcentaje de Densidad Aparente	28
Tabla 8. Resultados Rotura y resistencia mecánica	29
Tabla 9. Presupuesto estimado para el montaje sistema bombeo agua residual Planta MOLIENDA32	

Lista de figuras

Figura 1. Esquema de cómo ha sido el proceso de la CAR con el humedal Tierra Blanca y con la Empresa ALFAGRES S.A.	6
Figura 2. Ubicación de la Empresa Alfagres S.A con respecto al Humedal Tierra Blanca, Soacha, Cundinamarca.	10
Figura 3. Plaquetas humedecidas con agua residual. Fotografía del Autor.	13
Figura 4. Balanza de precisión utilizada para el pesaje de las plaquetas. Fotografía del Autor.....	14
Figura 5. A. Recipientes de aluminio con el agua destilada. B. Hidrómetro con la ubicación de los recipientes de aluminio en la partes superior. Fotografía del Autor.	14
Figura 6. Disposición de las plaquetas de arcilla a ser analizadas sobre la bandeja del Hidrómetro. Fotografía del Autor.....	15
Figura 7. Montaje final de las muestras dentro del Hidrómetro. Fotografía del Autor.....	15
Figura 8. Bandeja con las muestras dentro del Hidrómetro. Fotografía del Autor	16
Figura 9. Densímetro utilizado para estimar la densidad aparente de las muestras. Fotografías del Autor	17
Figura 10. Desecador utilizado para mantener las muestras secas. Fotografía del Autor	17
Figura 11. A. Tara de balanza. B. Toma del peso de la muestra. Fotografías del Autor	17
Figura 12. A. Plaqueta muestra introducida en el densímetro. B. Estimación de la densidad de la muestra. Fotografía del Autor.	18
Figura 13. Flexímetro del laboratorio central Alfagres S.A utilizado para el análisis de las muestras. Fotografía del Autor.....	18
Figura 14. A. Medida del ancho de la plaqueta muestra. B. Medida del espesor de la plaqueta muestra. Fotografías del Autor.....	19
Figura 15. Pantalla del Fleximetro en done se registró el número del programa. B. Valores digitados de la longitud, ancho, espesor y velocidad de la rotura de la plaqueta muestra. Fotografías del Autor.	19
Figura 16. A. Fleximetro listo para empezar el proceso. B. Posición correcta de la plaqueta muestra sobre los soportes del fleximetro. Fotografías del Autor.....	20
Figura 17. A. Pantalla del Fleximetro mostrando la salida de los datos del proceso. B. Rotura instantánea de la plaqueta muestra. Fotografías del Autor.....	20
Figura 18. Diagrama del proceso de fabricación de tableta planta de cerámica ALFAGRES S.A. Elaborado por el Autor.....	21
Figura 19. Diagrama mostrando los puntos de reutilización del agua residual en procesos de molienda de arcilla, destinada a la fabricación de tableta para pisos de exteriores para la empresa ALFAGRES S.A. Diagrama del Autor.	23
Figura 20. Comparación del aspecto de la tableta de piso de exteriores utilizando agua limpia (STD Control) y agua residual (P1, P2, P3 y P4).....	26
Figura 21. Calidad material planta Alfacer 1.	29
Figura 22. Calidad material planta Alfacer 2.	30
Figura 23. Calidad material planta Alfacer 3.	30

RESUMEN ANALÍTICO

1. Información general del Documento	
Tipo de documento	Trabajo de pregrado / Tesis de pregrado
Tipo de impresión	Digital
Nivel de circulación	Público
Título del trabajo	Diseño e implementación de un sistema cero vertimientos de aguas residuales provenientes del proceso industrial de la empresa ALFAGRES S.A.
Autor	Oscar Albeiro Galindo Otalora.
Directora	Estrella Cárdenas Castro. Bióloga, MSc. en Ciencias Agrarias
Publicación	Bogotá, D.C.
Unidad patrocinante	Universidad Santo Tomas, Decanatura de División de Educación Abierta y Distancia, Facultad de Ciencias y Tecnologías, Administración Ambiental y de los Recursos Naturales.
Palabras claves	Agua residual, cero vertimientos, reutilización agua residual, productos de cerámica, ALFAGRES
2. Descripción de documento	
Resumen El objetivo del trabajo fue diseñar e implementar un sistema cero vertimientos de aguas residuales procedentes del proceso industrial de la planta ALFAGRES S.A. de Soacha. Se implementó un programa de cero vertimientos en el Empresa ALFAGRES S.A; orientado al ahorro de agua y la reutilización del agua residual de cada proceso industrial, para reutilizarla en otros procesos y evitar vertimientos a cuerpos de agua superficiales o al alcantarillado. De esta forma se da cumplimiento al compromiso con la conservación de los recursos naturales y de una producción industrial más limpia y sostenible.	
3. Contenidos del documento	
Introducción, en la cual se hace una corta presentación de la empresa ALFAGRES y su proceso de producción y se describe el propósito del trabajo. Seguidamente se hace el planteamiento del problema de la investigación con sus antecedentes, el problema mismo y la justificación de la investigación. En el marco teórico se hacen algunas consideraciones sobre la gestión del agua y sobre la resolución 631 de 2015 sobre	

vertimientos a cuerpos de agua. En la sección de materiales y métodos se hace la descripción de los procesos para desarrollar cada objetivo específico. En la sección de resultados se exponen los hallazgos obtenidos del desarrollo de cada objetivo específico con discusión y por último de conclusiones y recomendaciones.
4. Metodología
Se realizó un análisis de los procesos productivos para identificar en qué lugar se puede utilizar el agua residual. Pruebas en laboratorio, para caracterización fisicoquímica del agua residual para determinar factores que pudieran generar defectos en la tableta. Ensayos en laboratorio, prensado de tabletas elaboradas con arcilla humectada con agua del barreno (control) y agua residual con diferentes pH. Prueba industrial humectando arcilla con 50% de agua barreno y 50% agua residual. Ensayos en laboratorio para determinar calidad de las tabletas producidas con la arcilla humectada con agua residual comparadas con agua de del barreno. Por último, se hizo el diseño y cotización del sistema de bombeo para incorporar el agua residual en el proceso de humectación de la arcilla a nivel industrial.
5. Conclusiones
El agua residual de los procesos industrial no presentó ningún efecto sobre la calidad del proceso de producción cerámico, y por lo tanto se puede utilizar en la humectación de la arcilla de otros procesos industriales y de esta forma se logró un nuevo uso del agua residual para llegar a cero vertimientos en la empresa ALFAGRES S.A.
6. Referencias
Arrojo-Agudo, P. (2010). El reto ético de la crisis global del agua. Pags 282-328. En Agua un derecho humano fundamental. Alberto Acosta y Esperanza Martínez Compiladores. 1 edición, ediciones Abiya-yala Quito Ecuador. Auden, W.H. (2012). Humedales y Manejo del Agua-La gran escena. En RAMSAR “Los Humedales cuidan del Agua”. Día Mundial de los Humedales 2 de Febrero de 2012. Disponible en: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/leaflet_s_0.pdf CAMACOL (2018). Experiencias Exitosas en Sostenibilidad. Premio a la Responsabilidad Social 2018. Disponible en: https://ww2.camacolcundinamarca.co/559-experiencias-exitosas-en-sostenibilidad.html Jaramillo-Escobar, J. (2015). El reto de la Industria es el Valor Agregado. El Tiempo 12 de Enero de 2015. Disponible en: http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15088383 Martín, W.F., Lopez, E., Monteagudo, J.P. (2009). Gestión y uso racional de agua. Editorial Feliz varela. La Habana Cuba. 110 pp. Disponible para consulta online en: MINAMBIENTE. (2015). Resolución 0631 de 17 de Marzo de 2015. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los

vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bogotá D.C. 62 pp. MINAMBIENTE. (2018). Decreto No. 50. "Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en relación con los Consejos Ambientales Regionales de la Macrocuencas (CARMAC), el Ordenamiento del Recurso Hídrico y Vertimientos y se dictan otras disposiciones". Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bogotá D.C. 15 pp.			
Elaborado por:	Autor: Oscar Albeiro Galindo Otalora		
Revisado por:	Directora: Estrella Cárdenas Castro.		
Fecha de elaboración del resumen	Día 25	Mes Enero	Año 2019

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA CERO VERTIMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL PROCESO INDUSTRIAL DE LA EMPRESA ALFAGRES S.A., MUNICIPIO DE SOACHA, CUNDINAMARCA

INTRODUCCIÓN

La empresa ALFAGRES S.A. fue fundada el 8 de Octubre de 1971 y esta está ubicada en el km13, Autopista sur, municipio de Soacha. Su actividad está enfocada en la producción, comercialización, distribución, importación, exportación y mercadeo de todo tipo de pisos y revestimientos para vivienda, oficinas y construcción en general. Es una empresa sólida que produce materiales para la construcción y cuenta actualmente con siete plantas de producción ubicadas en el sector de Soacha: una planta de gres, una planta de Cergres, una de Aditivos y Pegantes, dos plantas de Cotoforte y tres plantas de cerámica (Tobón, 2010). Las materias primas principales son la arcilla, el caolín y el agua. En cuanto a las dos primeras, esta empresa posee explotación legal de canteras en Soacha, Cundinamarca, Oiba Santander, Tulará Atlántico principalmente y el agua es extraída de un pozo subterráneo ubicado en la planta de producción principal en Soacha.

Los vertimientos de aguas residuales originados del proceso industrial en ALFAGRES, con licencia de la CAR, se hacían directamente al Humedal Tierra Blanca de Soacha, cercano a la planta de producción. Dado el efecto adverso que se estaba generando al humedal y a la exigencia de la CAR para proteger este humedal, se planteó realizar un estudio para el aprovechamiento de esta agua residual en la producción con la finalidad de obtener como resultado de cero vertimientos.

Este trabajo, hace parte del “programa cero vertimientos” de ALFAGRES (Jaramillo-Escobar, 2015) y presenta los resultados de una prueba piloto para la reutilización total del agua residual originada por el proceso industrial.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Antecedentes

La empresa ALFAGRES S.A. cuenta con avanzada tecnología, la cual le ha permitido crear y desarrollar nuevas líneas de productos con diseños innovadores y productos de excelente calidad, esta exclusividad es reconocida en todos los sectores de la construcción, lo cual la empresa actualmente presenta un alto posicionamiento en los mercados Nacionales e Internacionales. Actualmente, hace presencia en 18 ciudades de Colombia y ha logrado traspasar fronteras gran reconocimiento internacional exportando sus productos a países americanos, europeos y asiáticos (Tobón, 2010).

En el recurso hídrico en una materia prima que debe suplir las necesidades de la industria de materiales para la construcción. La fuente de abastecimiento del agua para llevar a cabo los procesos industriales es un pozo subterráneo, que se encuentra ubicado en las instalaciones de ALFAGRES S.A. de Soacha a una profundidad de 282 metros, con un caudal concesionado de 5,3 litros/segundo, según la resolución CAR 299.

En ALFAGRES S.A., se tiene establecido un sistema para el manejo de las aguas residuales resultantes tanto de los procesos industriales como del uso doméstico. Para el tratamiento de aguas residuales del proceso industrial se tiene una planta de tratamiento de aguas residuales (PTARI) y se tiene otra planta para el tratamiento de agua residuales derivadas del uso doméstico.

Los vertimientos de un 15% de aguas residuales generadas por el proceso industrial eran de aproximadamente $429\text{m}^3/\text{mes}$ y se estaban haciendo, con permiso de la CAR, directamente en el humedal Tierra Blanca. En 2012 la CAR declaró al humedal Tierra Blanca como cuerpo de agua protegido (Figura 1). Por lo cual, se busco diseñar e implementar un sistema para reutilizar toda el agua residual del proceso industrial.

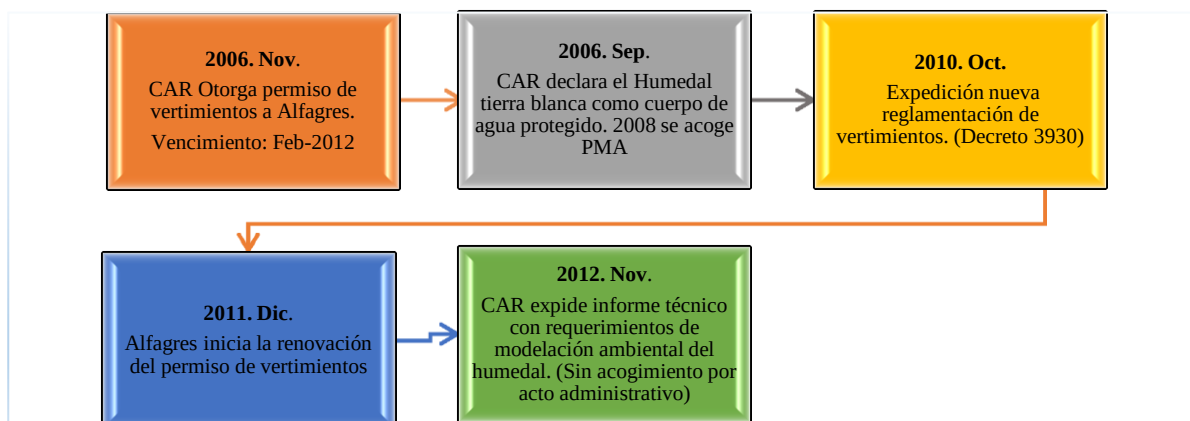


Figura 1. Esquema de cómo ha sido el proceso de la CAR con el humedal Tierra Blanca y con la Empresa ALFAGRES S.A.

Formulación del Problema

Según la resolución 0631 del 17 de Marzo de 2015, se estableció que los parámetros y valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillando público; específicamente el artículo 13 rige para “actividades de fabricación y manufactura de bienes”; como la empresa es productora de cerámica, una de las materias primas es el agua; y dadas las políticas actuales de protección de humedales y otros cuerpos de agua; no se está permitido vertimientos de aguas residuales que no cumplan con características especiales de tratamiento como: pH, DQO, DBO5, SST, SSSED, SAAM, grasas y aceites, fenoles, Cadmio, cinc, cobre, cromo, níquel, plomo y otros (MINAMBIENTE, 2015). A pesar de que ALFAGRES cuenta con una planta PTARI, que hace un tratamiento primario; no cuenta con la tecnología adecuada para remover algunos contaminantes y modificarla o cambiarla tendría un costo muy elevado; y dada esta circunstancia, fue imperativo para la empresa el buscar alternativas para reutilizar totalmente el agua residual del proceso industrial para no hacer ningún vertimiento a cuerpos de agua y de paso ahorrar agua de la fuente abastecedora del pozo subterráneo.

Los resultados de esta investigación son un aporte al mejoramiento de la eficiencia en el uso del agua de la empresa y al medio ambiente de la zona en la cual está ubicada la empresa.

Justificación

Para la Empresa ALFAGRES S.A., entidad financiadora de este estudio, es importante el ahorro de agua y la reutilización del agua residual de cada proceso industrial; para involucrarla en otros procesos y evitar vertimientos a cuerpos de agua superficiales; cumpliendo de esta forma con el compromiso en la conservación de los recursos naturales y en una producción industrial más limpia y sostenible.

El uso racional de los recursos naturales no renovables como el agua subterránea, tal como lo está aplicando ALFAGRES; reduce la presión sobre el acuífero Guadalupe, uno de los más importantes acuíferos subterráneos de la Sabana de Bogotá; ya que mensualmente se está ahorrando 429m³ de agua limpia del pozo subterráneo, equivalente al 7% del consumo mensual actual.

OBJETIVOS

Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema cero vertimientos de aguas residuales procedentes del proceso industrial de la planta ALFAGRES S.A. de Soacha.

Objetivos Específicos

1. Identificar procesos en donde se pueda utilizar agua residual mediante inspección de los sistemas productivos.
2. Realizar pruebas de laboratorio del agua residual para evaluar la posibilidad de incorporarla a la producción.
3. Realizar pruebas de laboratorio para descartar afectaciones en la calidad del producto.
4. Realizar pruebas piloto para reutilizar el agua residual dentro del proceso productivo identificado.
5. Evaluar modificaciones e instalación para llevar el agua residual a la planta de producción.

MARCO TEÓRICO

Una adecuada gestión del agua incluye elementos de igualdad económica del servicio con elementos para mejorar la calidad interna y externa de la empresa. Un sistema de gestión del agua en una organización incluye una estructura organizativa, actividades de planificación, responsabilidad, prácticas, procedimientos, procesos y recursos para desarrollar, implementar, revisar y mantener la política de ahorro y uso del agua; aspecto que forma parte del sistema de gestión ambiental de la empresa (Martín *et al.* 2009).

La sociedad actual exige que dentro de la gestión del agua se garanticen los siguientes aspectos: la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos; como derecho humano fundamental se garantice el acceso efectivo de todos los seres humanos al agua potable; se garantice la gobernanza participativa en la gestión de servicios básicos de interés general como el abastecimiento y saneamiento del agua; y por último la resolución de conflictos de forma pacífica con respecto a la gestión de cuencas y acuíferos transfronterizos (Arrojo-Agudo, 2010).

Actualmente, los ríos, lagos y humedales están siendo sometidos a presión, deterioro y pérdida de su biodiversidad, siendo la más complicada problemática de la biosfera. La crisis global del agua, no es específicamente por problemas de escasez, sino por la calidad del agua disponible. El problema se ha generado por la insaciable e irresponsable ambición de desarrollo económico, que se ha provocado la degradación de los ecosistemas acuáticos, ocasionando problemas graves en la salud de las poblaciones que dependen de estos cuerpos de agua. Un río contaminado en un país desarrollado no genera problemas graves de salud pública; puesto que se dispone de medios económicos y técnicos para garantizar a la población agua potable; mientras que en países arruinados o en desarrollo un río contaminado es causante de quebrantamiento en la salud y la vida de las poblaciones que dependen del mismo. Por esto, la sostenibilidad de ríos, lagos, humedales y acuíferos es prioritario para la supervivencia de las poblaciones más vulnerables y empobrecidas; como un reto global de calidad de vida para todos (Arrojo-Agudo, 2010).

Los humedales y los acuíferos son ecosistemas fundamentales para la regulación natural del ciclo hídrico continental, el cual mantiene el abastecimiento de agua para la humanidad. Entre los servicios ecosistémicos de los humedales se destacan: la captación

de exceso de agua por lluvias o desbordamiento de ríos evitando inundaciones, la purificación de agua que llega al humedal en condiciones normales y por ser el hábitat de muchas especies de fauna y flora endémica (Auden, 2012).

La escasez de agua a nivel mundial es cada vez más grande y es una necesidad su conservación y reúso; actualmente las industrias están invirtiendo en investigación para ahorrar agua y evitar los vertimientos. En la industria cerámica por ejemplo; el agua es una materia prima importante y se consume en los diferentes procesos de producción, como son: molienda de arcilla, fabricación del esmalte cerámico, humectación de material, ajuste de densidades, limpieza de equipos y uso doméstico.

Después de generarse un agua residual industrial en los procesos de fabricación del esmalte y en las líneas de aplicación del mismo debemos realizar un proceso de tratamiento de esa agua por medio de una planta de tratamiento, ALFAGRES S.A cuenta con un tratamiento primario que cuenta con las siguientes etapas: homogenización, neutralización, floculación, sedimentación y Filtración, en la actualidad se está realizando el 85%.

Según la resolución 0631 del 17 de Marzo de 2015 y el decreto No. 50 del 16 de Enero de 2018 por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1076 de 2015 (MINAMBIENTE, 2015 y 2018); se establecen los parámetros y valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público que en el artículo 13 rigen para actividades de fabricación y manufactura de bienes. Para el cumplimiento de algunos parámetros y valores permisibles de la norma; la planta de tratamiento de ALFAGRES no está diseñada para el cumplimiento de la norma; por ejemplo uno de estos parámetros relevantes es el DQO, cuyo valor de salida de la PTARI está por encima de 1000mg/L y el valor máximo permitido es de 100 mg/L. La opción de la empresa fue reutilizar el agua residual en algún proceso industrial para llegar a cero vertimientos realizando ensayos de laboratorio, para poder determinar en qué parte del proceso se podría utilizar sin afectar la calidad de los productos. Es así como en 2015 la planta de producción ALFAGRES S.A. de Soacha alcanzo la meta de cero vertimientos (Jaramillo-Escobar, 2015).

El “programa cero vertimientos” de ALFAGRES genero conciencia de ahorro y uso eficiente del agua en la empresa y por su gestión fue acreedora al “Premio a la Responsabilidad Social 2018” (CAMACOL, 2018).

MATERIALES Y METODOS

Ubicación del estudio

La planta de producción ALFAGRES S.A. esta ubicada en el kilómetro 13 Autopista Sur, Municipio de Soacha, Cundinamarca (Figura 2).



Figura 2. Ubicación de la Empresa Alfagres S.A con respecto al Humedal Tierra Blanca, Soacha, Cundinamarca.

En la Tabla 1, se hace un resumen de la planificación de las estrategias y actividades que se realizaron para desarrollar este trabajo.

Tabla 1. Planificación del plan de acción con los productos a entregar y responder

Objetivos específicos	Actividades	Resultados Esperados/ Producto a Entregar	Responsable
Identificar procesos donde se pueda utilizar agua residual mediante inspección de los sistemas productivos	Evaluación de procesos	Diagrama de proceso ubicando en qué punto se puede utilizar el agua	Oscar Galindo
Realizar humectación y pruebas de laboratorio para evaluar la posibilidad de mezcla de agua residual en procesos productivos	Realizar pruebas de laboratorio con agua residual.	Resultados de laboratorio y análisis, registro fotográfico	Oscar Galindo
Involucrar agua residual en algún proceso productivo para descartar afectaciones en la calidad de los productos	Realizar pruebas en producción con agua residual	Resultados y análisis de las pruebas, registro fotográfico	Oscar Galindo
Evaluar modificaciones e instalación para llevar el agua residual a la planta de producción. Realizar cotizaciones	Presupuesto costos de implementación del sistema de suministro de agua residual	Presupuesto costos del montaje	Oscar Galindo

Procedimiento para la identificación de sistemas productivos en los cuales se puede utilizar agua residual

Se revisaron todos los procesos de producción en donde se estaba utilizando agua limpia (agua de barreno), para identificar en cuál de estos era viable incorporar el agua residual sin afectar la calidad del material y por ende la del producto. Se determinaron los procesos, las variables del agua residual y la inversión del montaje que fuera muy económica. Se detectó un punto en cual el agua residual se podría utilizar en el proceso de molienda de arcilla para la producción de tableta para piso de exteriores.

Procedimiento para pruebas de laboratorio del agua residual y evaluación de la posibilidad de incorporarla a la producción

Una vez, identificado el punto en el cual se podría utilizar el agua residual; se formalizó un comité con los jefes de producción a quienes se les compartió la necesidad incorporar el agua residual para llegar a cero vertimientos. Con un trabajo conjunto, se identificaron los parámetros del agua residual que se debían medir y que posiblemente pudieran afectar la producción, como es la variación de pH. Se tomó la decisión conjunta de caracterizar el agua residual para hacer las pruebas de humectación de arcilla en el laboratorio para la producción de tabletas de piso para exteriores.

Análisis de laboratorio del agua residual. Los análisis de las muestras de agua residual fueron realizados por el analista de laboratorio de planta de tratamiento de agua de Alfagres S.A. Se entregaron al laboratorio, cuatro muestras para la medición del pH del agua residual que queda después de la producción de alfombras Pisotex y una muestra control de agua limpia (agua de barreno). En el proceso de producción de alfombras Pisotex el agua residual presenta variaciones en el pH, dado por los diferentes colorantes y otros aditivos que se mezclan en este proceso; con esta prueba se pretendía descartar si afecta de alguna forma la calidad de la arcilla y el esmalte para la producción de tabletas para pisos de exteriores.

Procedimiento para la realización de pruebas de laboratorio para descartar afectaciones en la calidad del producto

Las pruebas de laboratorio que se realizaron a la arcilla humedecida con agua residual; fueron las siguientes: porcentaje de humedad, porcentaje de higroscopicidad, densidad aparente y resistencia mecánica.

Elementos de protección personal (EPP). Para hacer estas pruebas el personal de laboratorio estuvo protegido con: aguantas de látex para examen médico, bata blanca, botas industriales, protector respiratorio No.95 y overol de dos piezas u overol enterizo.

Porcentaje de humedad. Para determinar el porcentaje de agua libre que contiene una muestra por diferencia de pesos se tomó la muestra de la arcilla, se pesó y luego se colocó en el horno 240°C para secarla. Se dejó enfriar y nuevamente se tomó el peso. Estos pesos se colocan en la siguiente ecuación para obtener el % de humedad.

$$\%Humedad = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} \times 100$$

Porcentaje de Higroscopicidad. El proceso fue realizado por el analista de materias primas de esmaltes y arcillas de Alfagres S.A. Se utilizaron los siguientes equipos: una Balanza de precisión 0,01g, un Hidrómetro, dos crisoles de aluminio, dos plaquetas por muestra para higroscopicidad. Las plaquetas de arcilla se humedecieron con agua residual y se marcaron 2 muestras para obtener un promedio (Figura 3).



Figura 3. Plaquetas humedecidas con agua residual. Fotografía del Autor.

Luego de humedecidas las plaquetas se introdujeron en un recipiente hermético para evitar que perdieran humedad. Luego, se pesó cada una de las plaquetas en una balanza con precisión de 0,01g y se anotó su peso inicial (Figura 4).



Figura 4. Balanza de precisión utilizada para el pesaje de las plaquetas. Fotografía del Autor

En seguida, se colocaron 500 ml de agua destilada en la parte superior del Hidrómetro en dos recipientes de aluminio (Figura 5). Los dos recipientes se llenan con agua destilada con la finalidad de medir la capacidad de absorber humedad de una manera uniforme.

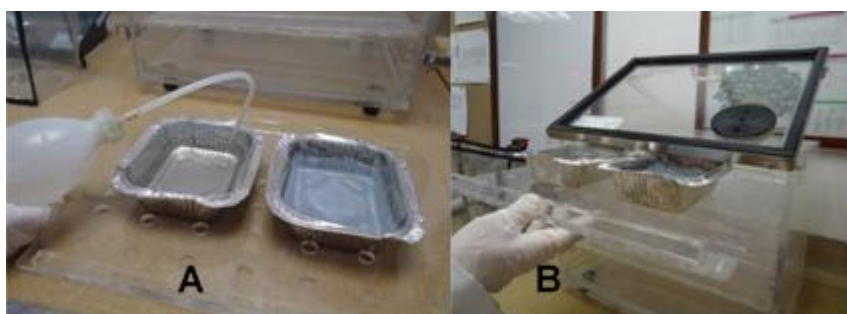


Figura 5. A. Recipientes de aluminio con el agua destilada. B. Hidrómetro con la ubicación de los recipientes de aluminio en la partes superior. Fotografía del Autor.

Seguidamente, se colocaron 500ml de agua destilada con un frasco lavador en la parte inferior y superior del Hidrómetro con el fin de crear un ambiente de humedad controlada por ambos lados de la plaqueta.

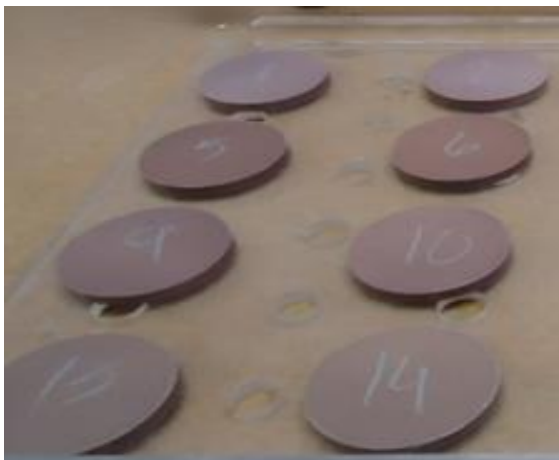


Figura 6. Disposición de las plaquetas de arcilla a ser analizadas sobre la bandeja del Hidrómetro. Fotografía del Autor.

Posteriormente, se colocaron debidamente rotuladas las plaquetas de 50mm a ser analizadas sobre la bandeja del Hidrómetro; en total se colocan 8 plaquetas (Figura 6). Las plaquetas son elaboradas con arcilla y humedecidas con agua residual. Luego, se introdujo la bandeja dentro del Hidrómetro y se cerró el montaje completo (Figura 7).

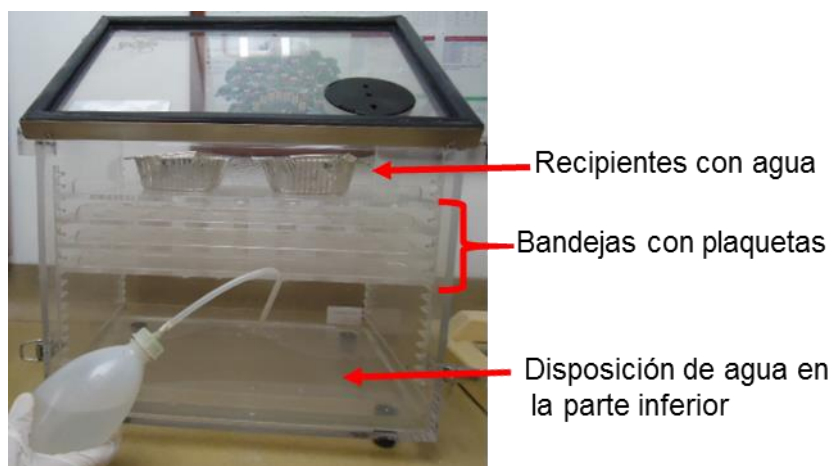


Figura 7. Montaje final de las muestras dentro del Hidrómetro. Fotografía del Autor.

La bandeja con las muestras se dejó por un tiempo de 24 horas dentro del Hidrómetro a una temperatura de 26°C y una humedad relativa entre el 75% y 85% (Figura 8) (solo aplica para probetas de 50mm).

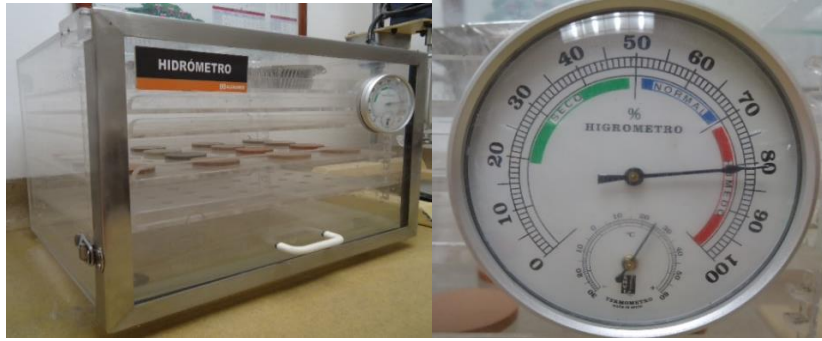


Figura 8. Bandeja con las muestras dentro del Hidrómetro. Fotografía del Autor

Después de las 24 horas de permanecer las muestras en plaquetas dentro del Hidrómetro se volvieron a pesar una por una en la balanza de precisión 0,01g. Por Último se estimó el porcentaje de Higroscopicidad de cada muestra con la formula siguiente:

$$\%Higroscopicidad = \frac{\text{Peso Final} - \text{Peso Inicial}}{\text{Peso Inicial}} * 100$$

Densidad aparente de las muestras de plaquetas de cerámica cocidas. La densidad aparente de las muestras según Gelves *et al.* (2013); está relacionada con la microestructura interna de la muestra de cerámica y determina las propiedades del producto final (resistencia a temperaturas bajo cero, resistencia mecánica, presencia de corazón negro, acabado superficial y otras). El proceso fue realizado por el analista de laboratorio de materias primas de Alfagres S.A. Se utilizaron los siguientes equipos: Balanza 0,1g, recipiente de vidrio de 150ml y un densímetro (Figura 9). Después del secado de las plaquetas, se trasladaron inmediatamente a un desecador (Figura 10); mientras se alistó el densímetro. Para calcular la densidad aparente de las muestras se utilizó el método tradicional de inmersión en mercurio; el cual introduce dos variables cuantitativas (masa y empuje) y la constante de densidad del mercurio (13534kg/m³); según Rodríguez *et al.* (2011) la densidad aparente con este método se calcula con la siguiente ecuación:

$$D_{Hg} = \frac{\text{masa} * 13534}{\text{empuje}}$$



Figura 9. Densímetro utilizado para estimar la densidad aparente de las muestras. Fotografías del Autor



Figura 10. Desecador utilizado para mantener las muestras secas. Fotografía del Autor

Antes de colocar las muestras en el densímetro; se hizo la tara de la balanza; para esto, se sumergió solamente el brazo del densímetro, asegurando que los tres sensores se sumerjan levemente en el mercurio hasta el punto donde el cuarto sensor toque la superficie del mercurio (Figura 11A); luego se taró la balanza (Figura 11B) y se determinó el peso inicial de la plaqueta muestra con una precisión de 0,01g.



Figura 11. A. Tara de balanza. B. Toma del peso de la muestra. Fotografías del Autor

Seguidamente, se introduce la plaqueta muestra dentro del recipiente con mercurio de tal forma que no haga contacto con la pared del mismo (Figura 12A). Luego, se descarga el brazo del densímetro sobre la plaqueta muestra, de tal forma que se sumerja en su totalidad dentro del mercurio haciendo contacto con los 3 sensores; teniendo la precaución de que, al sumergir la muestra, esta no toque la parte inferior del recipiente (Figura 12B) y se registra el peso de inmersión de la muestra que viene a ser el empuje (cm^3) de la muestra dentro del mercurio.

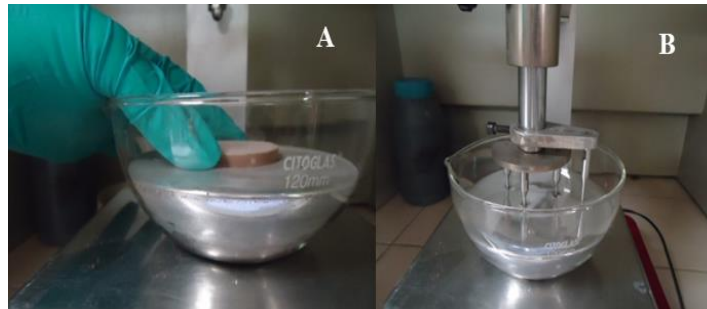


Figura 12. A. Plaqueta muestra introducida en el densímetro. B. Estimación de la densidad de la muestra. Fotografía del Autor.

La estimación de la densidad aparente de las muestras se realizó siguiendo la ecuación utilizada por Rodríguez *et al.* (2011) expresada en g/cm^3 .

Resistencia mecánica de las muestras. El proceso fue realizado por el analista de arcillas de Alfagres S.A. Para este procedimiento se utilizaron los siguientes equipos: calibrador digital, Flexímetro (Figura 13), formato y una brocha.



Figura 13. Flexímetro del laboratorio central Alfagres S.A utilizado para el análisis de las muestras. Fotografía del Autor.

Para realizar este análisis se elaboraron las muestras en plaquetas rectangulares (110 x 30mm), previamente prensadas para ensayo en seco y previamente quemadas para ensayo en cocido. Con un calibrador digital (Figuras 14A y 14B) se midió el ancho y el espesor de cada plaqueta y se registran los valores en la planilla de datos correspondientes.

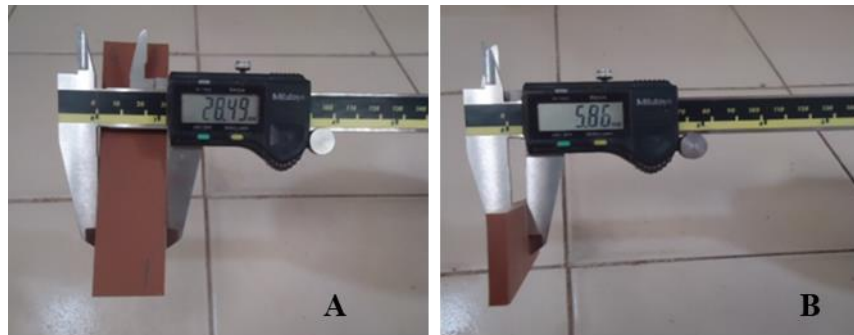


Figura 14. A. Medida del ancho de la plaqueta muestra. B. Medida del espesor de la plaqueta muestra. Fotografías del Autor.

Posteriormente, se oprimió el botón de encendido del Fleximetro y se colocó simétricamente la plaqueta muestra sobre los soportes, como se indica en la Figura 16B. Para dar inicio al proceso de cálculo de la resistencia mecánica de la muestra, se oprimió el botón MENU y se presionó la tecla número dos, opción “modificar programa” y en el primer ítem “numero de programa” se digitó 001 y se oprimió el botón ENTER (Figura 15A).

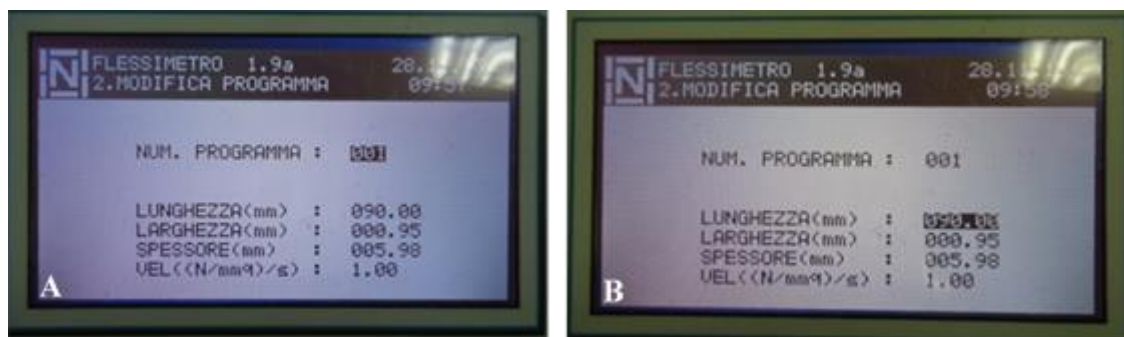


Figura 15. Pantalla del Fleximetro en donde se registró el número del programa. B. Valores digitados de la longitud, ancho, espesor y velocidad de la rotura de la plaqueta muestra. Fotografías del Autor.

Luego, en el ítem número dos “Lunghezza (mm)” se digitó la longitud de la plaqueta muestra (90.0) y se oprimió ENTER; seguidamente, se registraron los ítems: ancho de la

plaqueta tomada con el calibrador “larghezza (mm)” y se presionó ENTER, en el ítem número cuatro “spessore (mm)”, se digitó el valor del espesor de la plaqueta, medido con el calibrador y se oprimió ENTER y por último se digitó la velocidad de la rotura (1.00) y se oprimió ENTER. (Figura 15B). Al finalizar, se presionó el botón ESC para guardar los datos.

Después, con la brocha se limpiaron los residuos de material que quedaron dentro del Fleximetro. Una vez se guardaron los datos; apareció en la pantalla del Fleximetro una ventana donde se muestra “sistema pronto” en la parte inferior, (Figura 16A); indicando que el Flexímetro está listo para empezar el proceso.

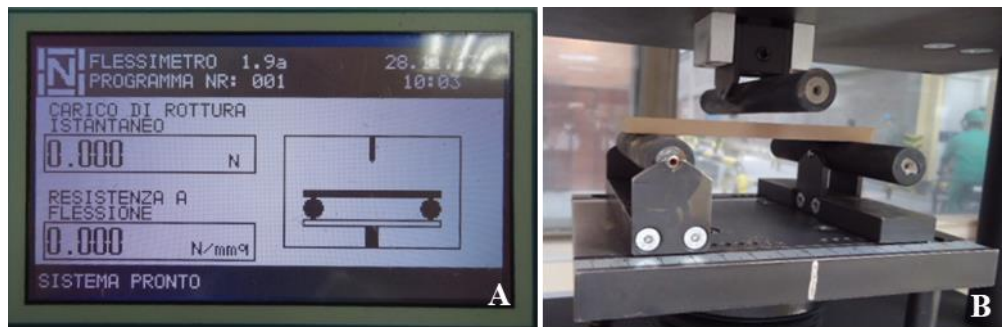


Figura 16. A. Fleximetro listo para empezar el proceso. B. Posición correcta de la plaqueta muestra sobre los soportes del fleximetro. Fotografías del Autor

Una vez listo el Fleximetro se presionó dos veces START para dar inicio a la rotura de la plaqueta muestra y en la pantalla aparecen los datos “carico di rottura istantáneo” (carga de rotura instantánea). “resistenza a flessione” (resistencia a la flexión) (Figura 17A)

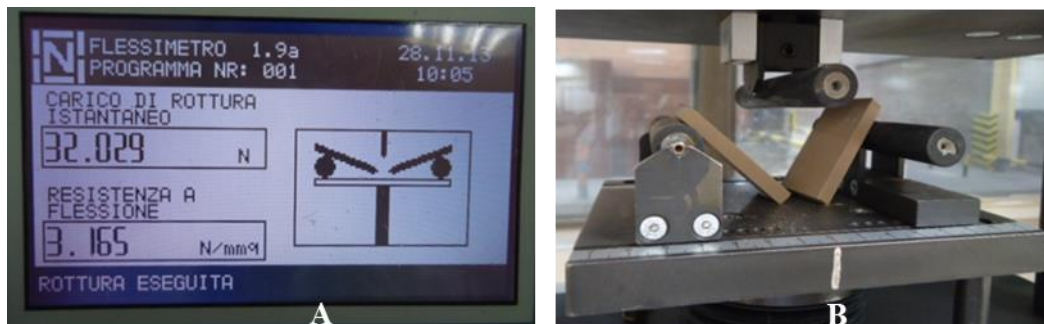


Figura 17. A. Pantalla del Fleximetro mostrando la salida de los datos del proceso. B. Rotura instantánea de la plaqueta muestra. Fotografías del Autor

Procedimiento de prueba piloto para la reutilización del agua residual dentro del proceso productivo identificado

En la Figura 18 se muestra un resumen de la descripción del proceso para la fabricación de cerámicas utilizando el agua residual.

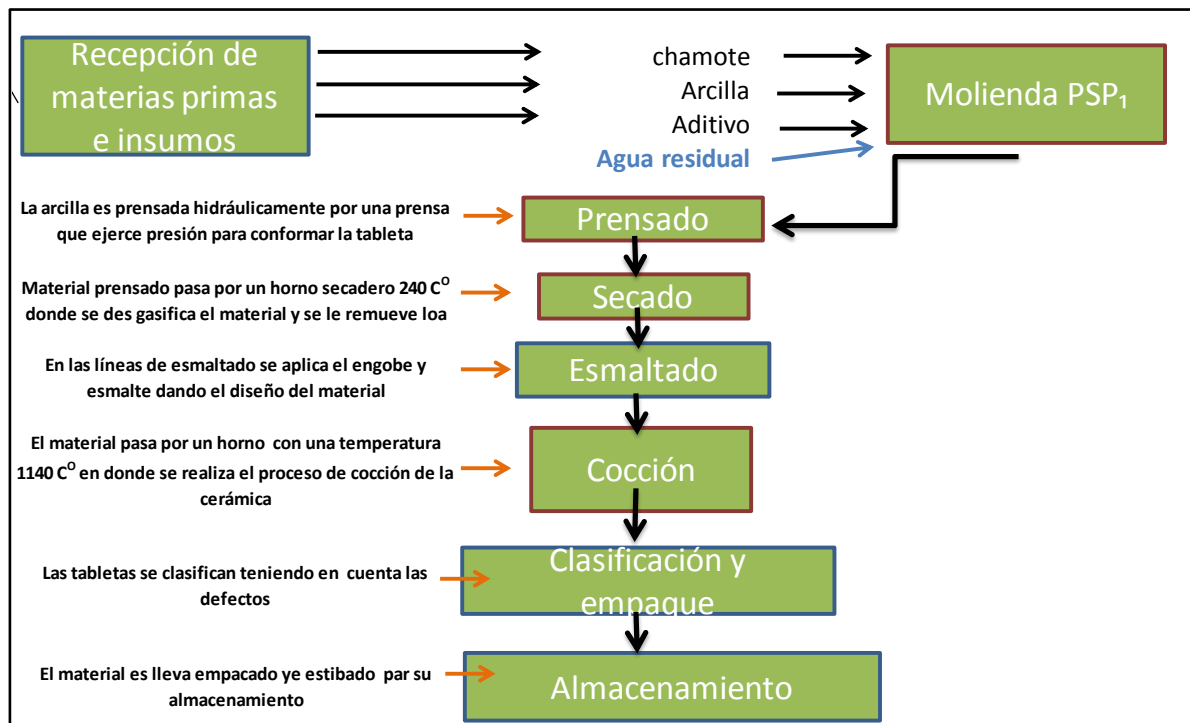


Figura 18. Diagrama del proceso de fabricación de tableta planta de cerámica ALFAGRES S.A. Elaborado por el Autor.

Para la incorporación de agua residual después de la producción de alfombras Pisotex en el proceso productivo de tabletas de piso para exteriores; se realizaron conexiones de agua residual a la red existente que alimenta la molienda (PSP). En el proceso de molienda; se realizó la humectación de la arcilla para obtener una humedad adecuada que permitiera el prensado de las tabletas. El día 10 de Mayo de 2016 se cargó la arcilla humectada con AGUA RESIDUAL+ADITIVO (ácido nítrico, carbonato de Calcio, Soda Caustica, e hidróxido de potasio) en las siguientes plantas de cerámica: Alfacer 1 (silos 4-5), Alfacer 2 (silos 8-9) y Alfacer 3 (silos 12-13). La arcilla humectada fue prensada dando la forma de la tableta; la cual por medio de poleas y correas fue llevada a los secaderos, donde se

evapora el agua a una temperatura 240°C; luego, pasa al área de esmaltado; en donde se aplicó engobe, esmaltes. Posteriormente, este producto es llevado por correas al horno, en donde es cocido a una temperatura de 1140°C y por ultimo pasó al área de clasificación y empaque.

Procedimiento para hacer las pruebas en producción con agua residual

Se realizó el proceso de molienda y humectación de la arcilla con agua residual para obtener un porcentaje de humedad de 5,5% a 6,8 % que permitiera el prensado de las tabletas, este material se envió los silos de almacenamiento de las siguientes plantas: Alfacer 1 (silos 4-5), Alfacer 2 (silos 8-9) y Alfacer 3 (silos 12-13)

Procedimiento para la evaluación de modificaciones e instalación para llevar el agua residual a la planta de producción

Se identificó la presión que es necesaria para este proceso la cual fue de 100 psi, después se identificaron las redes de agua residual y los tanques cercanos a la planta de molienda.

Se calculó el tipo de bomba que se necesitaba, se procedió a medir la tubería necesaria con sus accesorios codos, niples, uniones cantidad de pegante y el limpiador.

Se cotizaron todos los materiales más la mano de obra para la instalación de 1” tubería y el montaje eléctrico de la bomba. Una vez los materiales y la mano de obra estuvieron listos, se procedió al montaje de las instalaciones para llevar el agua residual a la planta de producción.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Identificación de sistemas productivos en los cuales se logró utilizar agua residual

La Figura 19, muestra un diagrama de ubicación de los puntos en los cuales se logró reutilizar el agua residual de anteriores procesos industriales.

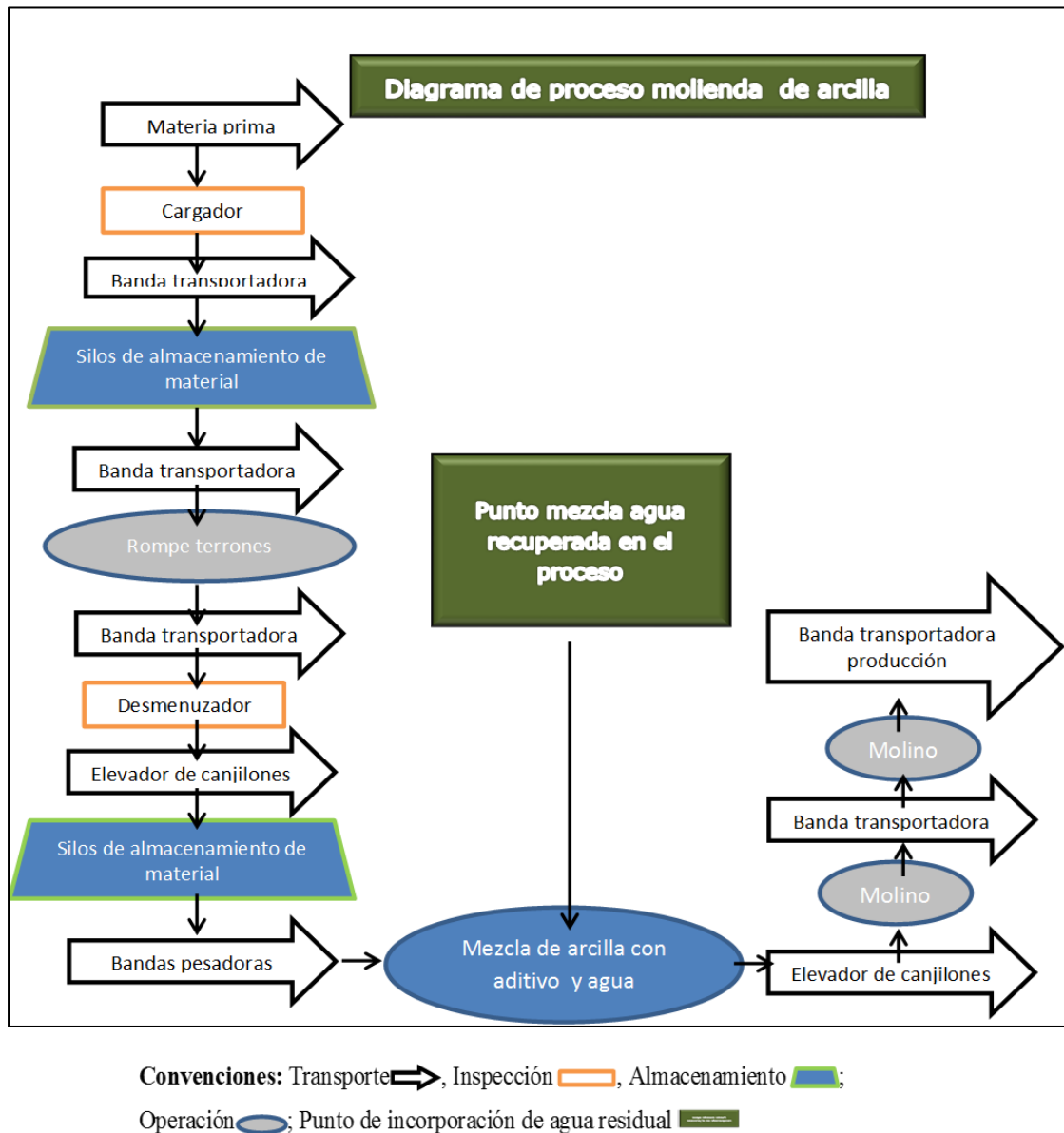


Figura 19. Diagrama mostrando los puntos de reutilización del agua residual en procesos de molienda de arcilla, destinada a la fabricación de tableta para pisos de exteriores para la empresa ALFAGRES S.A. Diagrama del Autor.

Pruebas de laboratorio del agua residual y evaluación de la posibilidad de incorporarla a la producción

En este primer paso buscamos la caracterización de resultados de calidad del agua del barreno y recuperada con el fin de identificar las variables entre los parámetros y posibles afectaciones a las materias primas se tomaron muestras de agua recuperada en diferentes horas para descartar si hay variaciones importantes en los parámetros.

En la Tabla 2, se muestran los resultados de laboratorio de los parámetros de calidad del agua residual.

Tabla 2. Resultados de laboratorio de la prueba de calidad de agua

PARÁMETROS	RESULTADO 7:00 AM	RESULTADO 11:00 AM	RESULTADO 3:00 PM
Turbiedad (NTU)	22,86	30	31
pH	8,57	7,55	7,21
Oxígeno disuelto (ppm)	4,24	4,35	4,5
Sólidos totales (ppm)	633,52	591,12	566,24
Sólidos sedimentales (ppm)	0	0	0
Alcalinidad total (ppm)	286,96	150	140
Cloruros (ppm)	287,28	246,17	248,15
Dureza total (ppm)	339,43	340	350
Conductividad (s/cm)	1497,46	1915	1728
DQO (ppm)	229,07	206	226
Color	105,12	105,12	105,12

Se realizó una caracterización fisicoquímica del agua residual para evaluar en qué condiciones se encontraba y de esa manera poder identificar que parámetros estaban muy elevados. Nos preocupaba que el pH y el DQO ya que estos parámetros si pueden llegar a afectar la calidad del material, el pH no debe sobrepasar de 10 y el DQO 1000 ppm.

En esta tabla se realizó un comparativo de 3 muestras de agua residual en hora diferente en la mañana y en la tarde para evaluar que no presentara variaciones en la calidad del agua y que su comportamiento es estable.

Tomar diferentes horas para evaluar la calidad del agua residual fue con el fin de poder identificar que en el transcurso del día a pesar que la producción tiene variable a través del día estas variables como lavado de pisos con alta cantidad de sólidos, agua proveniente del tinte de alfombras no afectaran considerablemente la calidad final del agua residual.

La comparación de la calidad fisicoquímica del agua residual de las 3 muestras a diferentes horas, podemos concluir que no presenta variaciones significativas en los parámetros y que el pH y DQO no sobrepasan pH 10 y DQO 1000 ppm.

Resultados de pruebas de laboratorio para descartar afectaciones en la calidad del producto

En la Tabla 3, se muestra la identificación que el laboratorio central Alfagres S.A da a cada una de las muestras de agua ya que en el proceso del tratamiento de agua tenemos una agua industrial de proceso de tintes de alfombras (**Pisotex**) la cual tiene una variación alta en el pH por esta razón se analizó la posibilidad que por la alteración del pH generara defectos en la cerámica para pisos y paredes de los diferentes formatos existentes producidos.

Tabla 3 Identificación de muestras de agua con diferente pH

MUESTRA	IDENTIFICACIÓN
Agua limpia del proceso (Control) pH 6,3	PTN Agua barreno
Agua residual CON Pisotex pH 9,5	P1 Agua residual +Pisotex pH 9.5 alto
Agua residual CON Pisotex pH 9,2	P2 Agua residual+Pisotex pH 9,2 Bajo
Agua residual SIN Pisotex pH 8,7	P3 Agua residual pH 8,7 alto
Agua residual SIN Pisotex pH 8,2	P4 Agua Recuperad pH 8,2 Bajo

Una de nuestras líneas de producción es la fabricación de alfombras en este proceso se genera un agua residual por los productos químicos utilizado para tinturar las fibras el pH se lleva esta línea de producción es PISOTEX.

En la tabla podemos observar la identificación de las muestras de agua con diferentes pH y en la muestra PTN que es la del agua utilizada actualmente, se van a realizar pruebas de humectación en el laboratorio y descartar posibles afectaciones a la calidad del material.

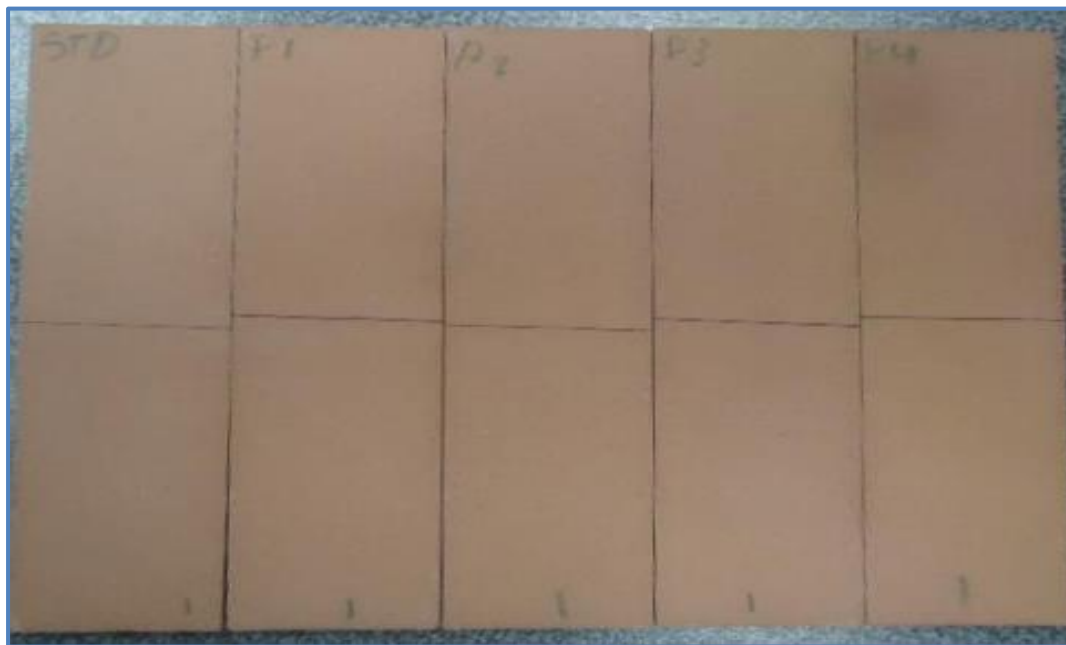


Figura 20. Comparación del aspecto de la tableta de piso de exteriores utilizando agua limpia (STD Control) y agua residual (P1, P2, P3 y P4).

En la Figura 20, se observa que ninguna de las muestras tratadas con agua residual presento variación significativa en el color del material y en forma visual se comparó con la muestra PTN procesada con el agua limpia.

En la tabla 4, se muestra un registro fotográfico del material que fue producido en el laboratorio con las diferentes calidades de agua para descartar afectaciones en la parte interna como son manchas, fisuras y corazón negro que es un defecto que se produce por la acumulación de gases en el interior del material que al elevar la temperatura presenta una mancha negra en la parte interna y generar perdida de resistencia mecánica y fisuras lo que afectan la resistencia del material. En estas muestras no se presentan ningún defecto interno del producto lo que nos confirma que el uso del agua residual en el proceso cerámico no afectaría la calidad del producto.

Análisis de las muestras fabricadas con agua residual se tuvieron en cuenta condiciones para el procesamiento de los materiales como lo fueron:

- Porcentaje de humedad 5.5 A 6.8 %
- Higroscopicidad 1.5 A 3 %
- Densidad aparente 2 gr/cm³ a 2.050gr/cm³

- Resistencia mecánica 32.09 a 37.58 kgf /cm²

Estos análisis son los que se evalúan ala arcilla con la se fabrica el material para garantizar la calidad del producto y a continuación veremos los resultados de las muestras.

Tabla 4. Resultados obtenidos al realizar la prueba de rotura para observar afectaciones en la parte interna del material

MUESTRA	1140° C
PTN	
P1	
P2	
P3	
P4	

Humedad de prensado. En la Tabla 5, se presentan los resultados del porcentaje de agua libre de cada una de las muestras analizada.

Tabla 5. Resultados porcentaje de humedad de prensado de cada muestra

Muestra	% de Humedad de prensado
PTN Agua barreno (Control)	6,01
P1 Agua residual +Pisotex pH 9,5	6,09
P2 Agua residual+Pisotex pH 9,2	6,03
P3 Agua residual pH 8,7	6,09
P4 Agua Recuperad pH 8,2	6,06

Porcentaje de Higroscopicidad. En la Tabla 6, se presentan los resultados del porcentaje de agua libre de cada una de las muestras analizadas. Se observó que el Porcentaje de Higroscopicidad de la arcilla no se ve afectado en ninguna muestra ya que el rango es de 1,5 a 3 y ninguna muestra está por fuera de este rango.

Tabla 6. Resultados porcentaje de Higroscopicidad para cada una de las muestras

Muestra	% de Higroscopicidad
PTN Agua barreno (Control)	2,46
P1 Agua residual +Pisotex pH 9.5	2,6
P2 Agua residual+Pisotex pH 9,2	2,36
P3 Agua residual pH 8,7	2,24
P4 Agua Recuperad pH 8,2	2,23

Densidad Aparente. La Tabla 7, presenta los resultados obtenidos para cada una de las muestras analizadas. La densidad de la arcilla prensada no se ve afectada en ninguna muestra cuyo rango oscilo entre 2 gr/cm^3 y 2.050gr/cm^3 y ninguna muestra estuvo por fuera de este rango.

Tabla 7. Resultados porcentaje de Densidad Aparente

Muestra	Densidad aparente gr/cm^3
PTN Agua barreno	2,036
P1 Agua residual + Pisotex pH 9.5	2,027
P2 Agua residual + Pisotex pH 9,2	2,033
P3 Agua residual pH 8,7	2,035
P4 Agua Recuperad pH 8,2	2,032

Resistencia mecánica de cada muestra. La Tabla 8, muestra el comparativo de la resistencia mecánica de las diferentes muestras analizadas. La resistencia mecánica de las tabletas no se vio afectada en ninguna muestra; puesto que el rango fue $>30\text{kgf/cm}^2$ y todas las muestras estuvieron por encima de este rango a mayor resistencia mecánica mejor producto acorde con lo reportado por Rodríguez (2013).

Tabla 8. Resultados Rotura y resistencia mecánica

Muestra	Rotura y resistencia mecánica kgf / Cm ²
PTN Agua barreno	37,58
P1 Agua residual +Pisotex pH 9.5 alto	34,93
P2 Agua residual+Pisotex pH 9,2 Bajo	36,14
P3 Agua residual pH 8,7 alto	33,75
P4 Agua Recuperad pH 8,2 Bajo	32,09

Resultados de las pruebas en producción con agua residual

Comparación de calidades de la cerámica en las plantas Alfacer 1, 2, 3

Las Figuras 21, 22 y 23 muestran las calidades de las plantas de cerámica de Alfacer 1, 2, 3 desde Enero 2016 hasta Mayo 2016 con el fin de identificar alguna variación cuando se involucró el agua residual.

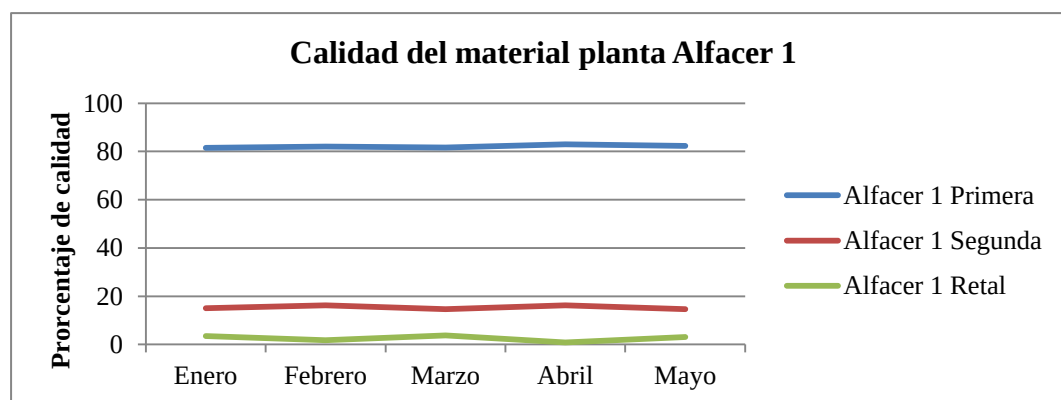


Figura 21. Calidad material planta Alfacer 1.

En la Figura 21, se consolidó la información de la calidad del material producido desde el mes de Enero de hasta el mes de Mayo de 2016 en la planta de producción de cerámica Alfacer 1; con el propósito de comparar los meses antes de incorporar el agua residual en el proceso y de esta manera evidenciar si existían variaciones en la calidades de primera,

segunda y retal; se observó que existe ningún incremento en la calidad segunda y retal, la calidad primera se mantiene en su promedio alto sin ser afectada.

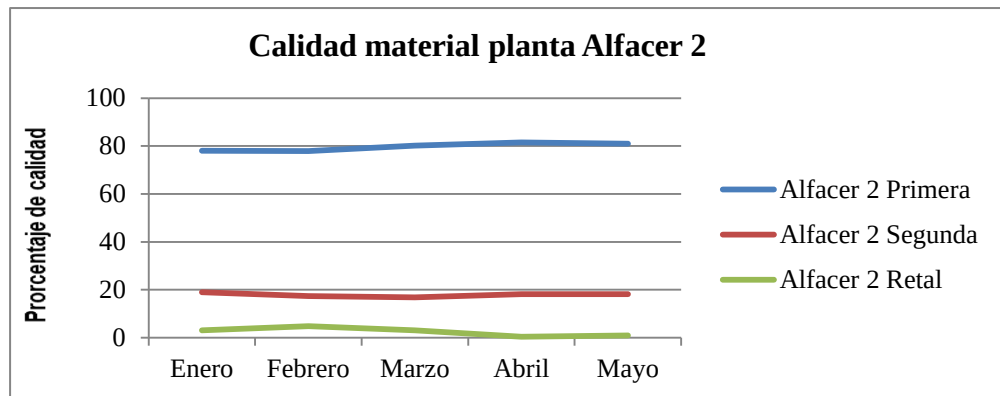


Figura 22. Calidad material planta Alfacer 2.

En la Figura 22, se consolidó la información de la calidad del material producido desde el mes de Enero de hasta el mes de Mayo del 2016, en la planta de producción de cerámica Alfacer 2; se observa que el retal que es el material que ya no sirve se mantiene < 5% la calidad segunda está en el 20% en promedio en todos los meses Enero a Mayo, la calidad primera, mantiene un promedio de 80%, por tanto, no es afectada la calidad en esta planta por el uso del agua residual.

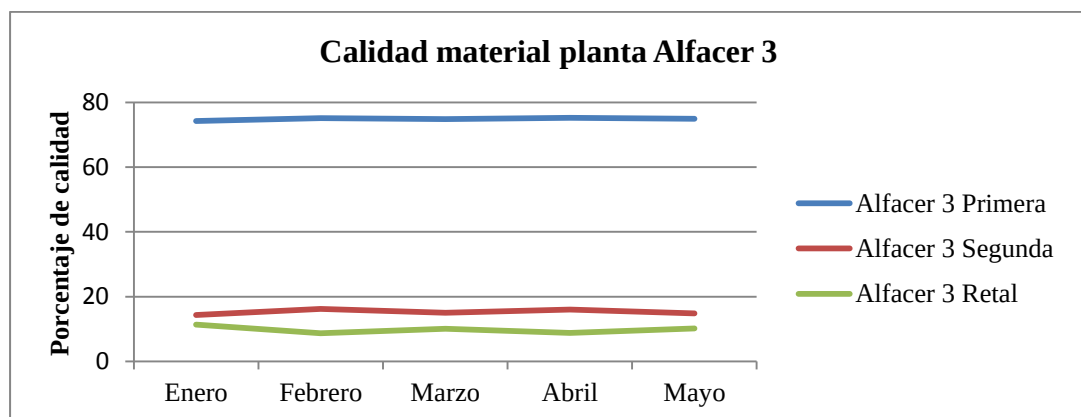


Figura 23. Calidad material planta Alfacer 3.

En la Figura 23, se consolidó la información de la calidad del material producido desde el mes de Enero de hasta el mes de Mayo del 2016, en la planta de producción de cerámica Alfacer 3; en esta planta la calidad primera se mantuvo en un promedio de 78%, la calidad segunda un promedio de 18% y el retal < 5%; se observa un comportamiento estable de las calidades de los productos y no ocurrió afectación por el uso del agua residual en este proceso.

Para concluir, se observó que en las tres plantas el comportamiento de la calidad primera, segunda y retal fue constante y no presentó ninguna variación representativa con respecto al promedio. Esto indica que el agua residual no genera ningún defecto que afecte la calidad del material.

Al comparar la calidad de las tres plantas de producción de cerámica Alfacer 1, 2,3 se evidenció claramente que el uso del agua residual en estos procesos no afecta la calidad de los productos en las tres plantas de producción y que se puede continuar con el uso de agua residual sin afectar la calidad de los productos; lográndose la finalidad de esta prueba en planta de producción que era descartar posibles afectaciones al producto cerámico.

Presupuesto de costos para la implementación del agua residual en las plantas de molienda con el fin de llegar a cero vertimientos

En la Tabla 9, se presenta el presupuesto del montaje de la red hidráulica para llevar el agua residual al proceso de molienda donde se colocan los precios de los materiales, mano de obra eléctrica y asesoría de ingeniería civil que fueron necesarios para realizar este trabajo.

El costo total que se presenta es solo del montaje; puesto que la planta de molienda abastece todas las plantas de producción y se logró que las conexiones fueran muy cercanas para minimizar los costos en materiales y mano de obra.

Tabla 9. Presupuesto estimado para el montaje sistema bombeo agua residual Planta MOLIENDA

Descripción del material	Cantidad	Valor unitario	TOTAL
Tubería Pvc Alta Presión 2"	58	\$ 40.611	\$ 2.355.438
Tee 2" Pvc	18	\$ 5.550	\$ 99.900
Codos 2" Pvc	26	\$ 4.345	\$ 112.970
Adtador Macho 2" Pvc	36	\$ 2.160	\$ 77.760
Unión 2" Pvc	70	\$ 1.600	\$ 112.000
Registro De Bola 2" Pvc	15	\$ 11.450	\$ 171.750
Universal 2" Pvc	15	\$ 10.900	\$ 163.500
Rollo Cinta Teflón	10	\$ 2.350	\$ 23.500
Soldadura Pvc 1/4	15	\$ 36.790	\$ 551.850
Limpiador Pvc 1/4	10	\$ 17.660	\$ 176.600
Guaya De 1/8	25	\$ 250	\$ 6.250
Pernos De 3/16	50	\$ 170	\$ 8.500
Abrazadera De Cremallera	70	\$ 2.400	\$ 168.000
Chasos De 3/8	35	\$ 1.550	\$ 54.250
Tornillos 3/8*1	35	\$ 310	\$ 10.850
Arandelas 3/8	35	\$ 23	\$ 805
Pintura Verde Selva	8	\$ 45.000	\$ 360.000
Bomba Centrífuga IHM	1	\$ 1.850.000	\$ 1.850.000
Total Materiales			\$ 6.303.923
Montaje Eléctrico	1	\$ 2.500.000	\$ 2.500.000
Montaje Tubería	1	\$ 3.647.890	\$ 3.647.890
Total Montaje			\$ 6.147.890
Total			\$ 12.451.813

CONCLUSIONES

El uso del agua residual en el proceso de humectación de arcilla en la planta de molienda dejó de consumir 429m³/mes de agua potable, cantidad equivalente al 7% del consumo actual.

Se realizó la revisión en los procesos de producción para evaluar la posibilidad de incorporar el agua residual encontrando que el proceso más apto para esta mezcla es la molienda de arcilla ya que las características del agua pueden llegar a ser compatibles con este proceso.

Las pruebas realizadas con las diferentes muestras de agua a pesar de presentar pequeñas variaciones en los análisis, no generan un impacto negativo en la calidad del producto y la variación del pH no afecta las propiedades del producto.

Se realizaron las pruebas en planta y se comparan las calidades desde el mes de Enero hasta el mes de Mayo para revisar si se evidenciaba algún incremento en los defectos del material.

Se presupuesta el montaje del sistema de bombeo de agua residual para la planta de molienda se presupuesta materiales de tuberías, bomba, montaje eléctrico y de sistema de bombeo siendo una inversión total de \$12.451.813.

RECOMENDACIONES

Las plantas evaluadas fueron las de producción de cerámica Alfacer 1, 2, 3 en las gráficas no presenta ninguna variación en los porcentajes en las calidades primera, segunda y retal por lo que se concluye que el uso de agua residual en la humectación de la arcilla para para producción de pisos cerámicos no genera ninguna variación en la calidad de la producción; por lo cual se recomienda continuar con el uso del agua residual y así cumplir con el cero vertimientos en la empresa ALFAGRES.

BIBLIOGRAFÍA

- Arrojo-Agudo, P. (2010). El reto ético de la crisis global del agua. Pags 282-328. En Agua un derecho humano fundamental. Alberto Acosta y esperanza Martinez Compiladores. 1 edicion, ediciones Abiya-yala Quito Ecuador. Disponible para consulta online en: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliotecaustasp/reader.action?docID=3217599>
- Auden, W.H. (2012). Humedales y Manejo del Agua-La gran escena. En RAMSAR “Los Humedales cuidan del Agua”. Dia Mundial de los Humedales 2 de Febrero de 2012. Disponible en: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/leaflet_s_0.pdf
- CAMACOL (2018). Experiencias Exitosas en Sostenibilidad. Premio a la Responsabilidad Social 2018. Disponible en: <https://ww2.camacolcundinamarca.co/559-experiencias-exitosas-en-sostenibilidad.html>
- Gelves, J.F., Monroy, R., Sánchez, J., Ramírez, R.P. (2013). Estudio comparativo de las técnicas de extrusión y prensado como procesos de conformado de productos cerámicos de construcción en el Área Metropolitana de Cúcuta. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, 52(1): 48-54. Disponible en: <http://boletines.secv.es/upload/2013021891143.20135248.pdf>
- Jaramillo-Escobar, J. (2015). El reto de la Industria, es el Valor Agregado. El Tiempo 12 de Enero de 2015. Disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15088383>
- Martín, W.F., Lopez, E., Monteagudo, J.P. (2009). *Gestión y uso racional de agua*. Editorial Feliz varela. La Habana Cuba. 110 pp. Disponible para consulta online en: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliotecaustasp/detail.action?docID=3191661>
- MINAMBIENTE. (2015). *Resolución 0631 de 17 de Marzo de 2015*. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bogotá D.C. 62 pp. Disponible en: https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R_MADS_0631_2015.pdf
- MINAMBIENTE. (2018). Decreto No. 50. "Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en relación con los Consejos Ambientales Regionales de la Macro cuencas (CARMAC), el Ordenamiento del Recurso Hídrico y Vertimientos y se dictan otras disposiciones". Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bogotá D.C. 15 pp. Disponible en: <http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%2050%20DEL%2016%20ENERO%20DE%202018.pdf>
- Rodríguez, A.F. (2013). Manual de métodos analíticos. ALFAGRES S.A. Bogotá, D.C.
- Rodríguez, O., López, J., Navarrete, C. F. Segura, E., Anteliz, K., Sánchez, J., Monroy, R. (2011). Estudio de correlación y variabilidad de los métodos de inmersión en

mercurio y el método capacitivo resonante para determinar densidad aparente de material cerámico crudo. Nota Técnica. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, 50(3):5-9. Disponible en: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/43298/1/BSECV-14-12-2011.pdf>

Tobón M.F. (2010). *Diagnostico al Sistema de Entrega de Pedidos desde el Centro de Distribución de la Empresa Pisos Alfa*. Prácticas Profesionales, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad Católica Popular del Risaralda. Pereira. 59 pp.

GLOSARIO

Calentamiento en horno microondas: proceso mediante el cual el calor se induce dentro del material debido a la interacción entre moléculas dipolares del material y un campo eléctrico de alta frecuencia. Las microondas son ondas electromagnéticas cuya longitud se encuentra en el intervalo de 1mm y 1m.

Contenido de humedad: es la cantidad de agua que éste contiene en el momento de ser extraído. Una forma de conocer el contenido de humedad es pesar la muestra cuando se acaba de extraer, y después de haberla mantenido durante 24 horas en un horno a una temperatura determinada.

Densidad aparente: cociente entre la masa de la materia seca de un cuerpo poroso y su volumen aparente, expresado en gramos por centímetro cúbico (g/cm^3) o en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3).

Desecador: Recipiente de vidrio con cierre hermético, usado para permitir el enfriamiento de las muestras sin que éstas se encuentren expuestas a la humedad del ambiente.

Flexión: Deformación o curvatura de un cuerpo que está sometido a una fuerza que actúa de forma perpendicular a su eje.

Fluxómetro: Determina la resistencia a flexión, mediante la aplicación uniforme de carga en una probeta rectangular a través de un rodillo que transmiten la presión perpendicular a la probeta apoyada sobre otros dos rodillos.

Hidrómetro: Es un instrumento que se usa para medir el grado de humedad del aire, por medio de sensores que perciben e indican su variación.

Higroscopicidad: Capacidad de un material para absorber humedad del ambiente hasta ponerse en equilibrio con éste.

Homogenizar: Es la acción de agitar la bolsa que contiene la muestra de arcilla, con el fin de evitar que la muestra presente fases diferentes.

Densímetro de Mercurio: Instrumento utilizado para determinar densidad aparente (porosidad), de una cerámica, a través de mercurio.

Módulo de rotura: Característica intrínseca del material que mide la resistencia máxima que puede soportar el mismo antes de romperse, determinada por un ensayo de flexión.

Newton: Fuerza que se ejerce sobre un kilogramo de masa para que adquiera una aceleración de un metro sobre segundo cuadrado, se representa con una N mayúscula.

Probeta: Elemento de ensayo prensado en un molde con medidas específicas.

Resistencia de flexión: Esfuerzo máximo desarrollado en una probeta justo antes de romperse.

Resistencia: Efecto causado por la acción de las cargas externas que actúan sobre un cuerpo.

Volumen aparente: suma de los volúmenes de la materia sólida, de los poros abiertos y de los poros cerrados dentro de un cuerpo poroso.