



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Ecodiseño para la fabricación de tejas cerámicas con aplicación de un descarte
industrial polvos de acería**

Vizueta Cajo, Juan Alfredo

Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

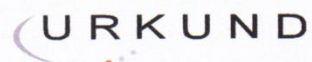
Centro de Posgrados

Maestría en Sistemas de Gestión Ambiental

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título Magister en Sistemas de Gestión
Ambiental

Ing. Bermeo Garay, Martha Mirella PhD

14 de octubre del 2020



Urkund Analysis Result

Analysed Document: Tesis maestrante Juan Vizqueta.pdf (D59001961)
Submitted: 16/11/2019 15:09:00
Submitted By: mpharo@espe.edu.ec
Significance: 1 %

Sources included in the report:

TRABAJO DE TITULACIÓN PÉREZ CASTILLO JUAN GABRIEL.pdf (D18314276)
Trabajo de Titulacion, Paola Tenesaca.docx (D43446906)
T.F.T_Carlos Tillaguango_URKUND.pdf (D25750694)
Recuperación de hierro proveniente de escoria para uso en la impregnación de catalizadores soportados.docx (D36221195)
https://www.researchgate.net/publication/304013119_Estudio_Comparativo_de_la_Recuperacion_de_Zn_de_Polvos_de_Acer'ia_por_Lixiviacion_con_H2SO4_y_HCl_electrodeposicion_electrol'itica_y_bielectrol'itica
https://www.construmatica.com/construpedia/Teja_Cer%C3%A1mica._Tipos_y_Formatos
http://www.aecientificos.es/empresas/aecientificos/documentos/residuos_industriales_jmarincon.pdf

Instances where selected sources appear:

8





VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE
TECNOLOGÍA

CENTRO DE POSGRADOS

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, **"Ecodiseño para la fabricación de tejas cerámicas con aplicación de un descarte industrial polvos de acería"** fue realizado por el señor **Vizueta Cajo, Juan Alfredo** el mismo que ha sido revisado y analizado en su totalidad, por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 14 de octubre del 2020



MARtha MIRELLA
BERMEO GARAY

Ing. Bermeo Garay, Martha Mirella PhD

C.C.: 0905104790



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE
TECNOLOGÍA

CENTRO DE POSGRADOS

Responsabilidad de Autoría

Yo **Vizueta Cajo, Juan Alfredo**, con cédula de ciudadanía n°.0922386891 declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Ecodiseño para la fabricación de tejas cerámicas con aplicación de un descarte industrial polvos de acería...** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 14 de octubre del 2020

Vizueta Cajo, Juan Alfredo

C.C.: 0922386891



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE
TECNOLOGÍA

CENTRO DE POSGRADOS

Autorización de publicación

Yo **Vizueta Cajo, Juan Alfredo** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Ecodiseño para la fabricación de tejas cerámicas con aplicación de un descarte industrial polvos de acería**: en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 14 de octubre del 2020

Vizueta Cajo, Juan Alfredo

C.C.: 0922386891

Dedicatoria

El presente trabajo de titulación va dedicado primeramente a **Dios** por darme la vida, y por demostrarme día a día que está presente en cada paso que doy. A mis padres **Luis Vizqueta Paguay** y **Lucila Cajo Ortiz** por haberme dado la vida y darme su amor y su apoyo incondicional todo es fruto de su esfuerzo mis amados padres.

A mis hermanos **Fredy, Anita, Sandra** y **Yolanda** por estar siempre conmigo apoyándome en cada etapa de mi vida, sin condiciones.

A mi esposa **Natacha García** y a mis hijos **Juan Carlos Vizqueta, David Alejandro Vizqueta,** y **David Joel Vizqueta** por ser mi razón de vivir y deseo de superación personal.

Agradecimiento

Quiero expresar mi agradecimiento a Dios y a mi familia en especial a mis padres por todo el apoyo brindado durante toda mi vida.

A mis hermanos por el simple hecho de vivir y ser parte de mis triunfos y fracasos.

Un agradecimiento especial a mi directora de tesis la **Ing. Qca. Mirella Bermeo Garay PhD** sin ella no hubiese sido posible este trabajo de investigación, las jornadas fueron duras, pero el esfuerzo tuvo su recompensa.

Un reconocimiento muy especial a los directivos de la empresa NOVACERO y en especial **al Ing. Guillermo Miño** en calidad de Gerente de Planta y la **Ing. Mayra Freire** por la colaboración de las instalaciones y por compartir sus conocimientos en cada etapa de este proyecto.

Índice de contenido

Certificado urkund	2
Certificado del director	3
Responsabilidad de Autoría.....	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento	7
Resumen	15
Abstract	16
Capítulo I	17
Planteamiento de investigación	17
Antecedentes	17
Alcance	18
Planteamiento del problema	19
Justificación e Importancia	20
Objetivos	20
Objetivo general del proyecto	20
Objetivos Específicos	21
Estado del Arte.....	21
Hipótesis	22
Variables de la Investigación (variables dependientes-variables independientes)	23
Capítulo II	24
Marco Teórico referencial, conceptual y legal.....	24
Ecodiseño	25

Preparación del proyecto.....	26
Factores motivantes para el desarrollo de investigación.....	26
Aspectos ambientales	26
Aspectos ambientales	27
Análisis de aspectos ambientales del producto y prioridades	28
Ideas de mejora	29
Desarrollo del concepto.....	29
Plan de acción	30
Industria Metalurgia.....	31
Industria siderúrgica	31
Polvo de acería	31
Características físicas, químicas y mineralógicas.....	32
Métodos de lixiviación	33
Definición de arcillas.....	34
Propiedades de las arcillas.....	35
Clasificación de arcillas	37
Clases usuales de arcillas	38
Teja cerámica.....	38
Clasificación de tejas.....	39
Dimensiones y tolerancia de las tejas según su clasificación	40
Definición de desechos peligrosos	41
Materiales cerámicos con aplicación de residuos industriales	42
Procedimiento elaboración de las tejas	43
Capítulo III... ..	45
Metodología de la Investigación	45

	10
Esquema de presentación de la metodología.....	45
Diseño experimental.....	46
Diseño de las muestras.....	47
Caracterización granulométrica y química del polvo de acería.....	48
Procedimiento.....	49
Cálculos.....	50
Preparación de las muestras de Polvo de acería para análisis en espectrómetro.....	51
Procedimiento y resultados de ensayos.....	52
Preparación de las muestras de Arcilla roja para análisis en espectrómetro.....	55
Procedimiento y resultados de los ensayos de la arcilla roja.....	55
Descripción de los tratamientos del diseño experimental.....	578
Preparación de la pasta para la fabricación de las tejas.....	589
Reducción de tamaño de partícula.....	58
Mezclado y amasado de las arcillas.....	59
Moldeo y Prensado.....	59
Secado al ambiente.....	60
Cocción en horno artesanal.....	61
Diagrama de flujo del proceso fabricación de las tejas.....	63
Materiales y métodos de ensayos para demostrar su factibilidad.....	63
Ensayo de resistencia a la Flexión de acuerdo con norma INEN.....	64
Método de ensayo de resistencia a la flexión.....	65
Preparación de la Muestra para el ensayo de resistencia de flexión.....	65
Descripción del procedimiento para el ensayo de resistencia de flexión.....	66
Cálculo e informe de los resultados.....	66
Ensayo de absorción de agua de acuerdo con INEN.....	67

	11
Método para el ensayo de absorción.....	67
Preparación de las muestras	68
Procedimiento para el ensayo de absorción	68
Cálculo e informe de resultados de absorción	69
Determinación de plasticidad y contracción.....	69
Capitulo IV.....	71
Interpretación de los resultados.....	71
Esquema de presentación de análisis y resultados	71
Análisis comparativo con la caracterización inicial y final.....	71
Resultados del diseño experimental con polvos de acería.....	73
Análisis de resultados de Ensayos a la flexión mediante STATGRAPHICS.	73
Pruebas de múltiples rangos para carga máxima por polvo de acería	75
Absorción de humedad Polvo de acería mediante STATGRAPHICS.	77
Pruebas de Múltiple Rangos para Absorción de humedad por polvo de acería.	78
Resultados de los ensayos mecánicos a la flexión de la teja en laboratorio	80
Resultado de ensayo a la absorción de agua	82
Resultados de la caracterización final de los elementos residuales.	84
Análisis de contracción de las tejas	85
Conclusiones.....	89
Recomendaciones.....	91
Bibliografía	92
Anexos	95

Índice tablas

<i>Tabla 1 Método de MET para un análisis descriptivo de aspectos ambientales.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 2 Plan de acción en función del producto en investigación</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 3 Clasificación de arcilla según sus propiedades.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 4 Tipos de tejas según INEN 990</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 5 Dimensiones estructurales para diferentes tipos de teja</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 6 Descripción de residuos industriales en materiales cerámicos.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 7 Análisis granulométrico por tamizado arcilla blanca.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 8 Análisis granulométrico por tamizado arcilla roja</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 9 Resultados de los óxidos presentes en la muestra de PA (Polvo de Acería)</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 10 Resultados de los Óxidos presentes en la muestra de arcilla roja</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 11 Descripción del tratamiento del diseño experimental</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 12 Método de ensayo según INEN 986</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 13 Resultados de humedad, plasticidad-contracción al 15 % de PA.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 14 Resultados</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 15 Caracterización química de polvo de acería, arcilla vs teja</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 16 Análisis de varianzas ANOVA para carga máxima polvo de acería.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 17 Resultados de pruebas múltiples para carga máxima de polvo de acería</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 18 Análisis de varianza ANOVA para Absorción de humedad de polvos de acería.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 19 Resultados de múltiples rangos para absorción de humedad de PA.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 20 Resultados de flexion de tejas a diferetes concentraciones de PA.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 21 Resultados ensayos de absorción teja diferentes formulaciones PA.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 22 Resultados de las pruebas de lixiviación</i>	<i>84</i>

Índice de figuras

<i>Figura 1 Ecodiseño de un producto</i>	25
<i>Figura 2 Factores motivantes que engloban un producto de investigación.....</i>	26
<i>Figura 3 Sistema del producto de investigación.....</i>	27
<i>Figura 4 Descripción del aspecto e impacto ambiental del producto de investigación ...</i>	27
<i>Figura 5 Ideas de mejora para el producto de investigación.....</i>	29
<i>Figura 6 Tipos de tejas</i>	40
<i>Figura 7 Esquema de la metodología del diseño experimental y ensayos.....</i>	45
<i>Figura 8 Geometría de excitación de la muestra y detección de la radiación característica.....</i>	48
<i>Figura 9 Toma de muestra</i>	52
<i>Figura 10 Homogenizar muestra</i>	52
<i>Figura 11 Preparación de muestra polvos de acería.....</i>	53
<i>Figura 12 Espectrómetro de Rayos X EDX 720 preparación de muestras analíticas.....</i>	53
<i>Figura 13 Preparación de muestra de arcilla roja reducción de partícula.....</i>	55
<i>Figura 14 Reducción de partículas arcilla roja y blanca</i>	58
<i>Figura 15 Mezcla y amasado de la muestra de arcilla con polvos de acería.....</i>	59
<i>Figura 16 Moldeo y prensado de la pasta muestra de arcilla polvos de acería</i>	60
<i>Figura 17 Secado de tejas a temperatura ambiente</i>	61
<i>Figura 18 Proceso de cocción de las tejas en horno artesanal a GLP.</i>	62
<i>Figura 19 Escala de temperatura de cocción vs tiempo.....</i>	62
<i>Figura 20 Diagrama de flujo del proceso de fabricación de las tejas</i>	63
<i>Figura 21 Ensayo de resistencia a la flexión.....</i>	65
<i>Figura 22 Ruptura de las tejas en la maquina de tracción.</i>	66

Figura 23 Toma de peso de las tejas previo a ensayo de absorción.....	67
Figura 24 Ensayo de absorción de humedad.....	68
Figura 25 Esquema para el analisis de Iso resultados	71
Figura 26 Carga maximo aplicado a las tejas con polvos de acería.....	76
Figura 27 Absorción de humedad tejas con polvos de acería.....	79
<i>Figura 28 Resultados de las pruebas de contracción y plasticidad</i>	<i>85</i>
Figura 29 Análisis de la curvatura granulométrica de la arcilla blanca	86
Figura 30 Análisis de la curvatura granulométrica de la arcilla roja	87

Resumen

En el proceso de fundición de la chatarra ferrosa en el horno de arco eléctrico de Novacero se generan gases que arrastran partículas sólidas, estos polvos finos son considerados por la legislación ecuatoriana según el Acuerdo Ministerial 142 como residuo peligroso por contener metales pesados. La reutilización en la fabricación de tejas cerámicas es una alternativa viable para reducir el impacto que ocasiona al medio ambiente la generación de este residuo. Así como los costos de tratamiento con gestor autorizado que debe asignar la empresa anualmente. La idea principal es encapsular a una matriz cerámica los metales contenidos en el polvo y realizar los ensayos físicos, mecánicos y químicos al producto final a fin de evaluar si es viable técnica y ambientalmente la propuesta.

La investigación plantea un diseño experimental con 5 niveles o tratamientos y 5 repeticiones. La metodología experimental consistió en realizar varios experimentos modificando un solo factor y manteniendo constantes los demás.

Desde el punto de vista técnico y medioambiental es posible la reutilización del polvo de acería como materia prima parcialmente sustituta en la fabricación de tejas cerámicas debido a que se cumple la norma INEN 990 requisitos y sus lixiviados cumplen con la Norma de calidad Ambiental.

PALABRAS CLAVE:

- **RECICLAJE.**
- **ABSORCIÓN.**
- **LIXIVIADOS.**

Abstract

In the process of foundry, the ferrous dust in the electric arch of NOVACERO it generates gases which carry solid particles. This tiny dust is considered, by Ecuadorian Legislation according to the ministerial agreement 142, as hazardous waste because it contains heavy metals.

The reuse in the manufacturing of ceramic tiles is a viable alternative to reduce the impact that the generation of this waste causes to the environment. Besides the company must cover the cost of the treatment with an authorized and experienced professional that they have to assign annually.

The principal idea is to encapsulate the heavy metals contained in the powder to a ceramic matrix and preform the physical, mechanical, and chemical tests on the final product in order to evaluate whether the proposal is technically and environmentally viable.

The investigation proposes an experimental design with 5 levels or treatments with 5 repetitions. The experimental methodology consisted of carrying out several experiments modifying a single factor and keeping the others constant.

From the technical and environment point of view it is possible to reuse the steel powder as a partially substituted raw material in the manufacturing of ceramic tiles because the INEN 990 requirements are met and its leachates fulfill with the environmental quality standard.

KEY WORDS:

- **RECYCLING.**
- **ABSORPTION.**
- **LIXIVIATED.**

Capítulo I

Planteamiento de investigación

Antecedentes

En el proceso de aceración por arco eléctrico EAF por sus siglas en inglés se generan gases y material particulado, tanto en la atmósfera interna del horno como también en el baño de acero líquido, por las reacciones de descarburación, y dentro de la escoria buscando el espumado de las mismas. Estos gases son colectados por un sistema de aspiración y al escapar del horno llevan consigo numerosas partículas finas sólidas y líquidas. Éstas están compuestas de elementos provenientes del acero, de la escoria, finos de la carga (chatarra de acero y pellets de hierro pre-reducido, fundentes, etc.) y del refractario. Este polvo es considerado un residuo sólido peligroso por las legislaciones medioambientales de los principales países y recibe el tratamiento correcto para su disposición o reciclaje en función de que en su composición se puede encontrar mayormente hierro y zinc con menores porcentajes de plomo y cadmio entre otros.

Los polvos de acería contienen de 20-55% de Fe, 10-35% de Zn, 1-8% de Pb y 0,05-0,20% de Cd; por lo que la recuperación resulta beneficiosa para el medio ambiente y rentable económicamente. (C. Espinoza, ENERO 2014)

En Europa según el Catálogo Europeo de Residuos con el código 10 02 01, a los polvos de acería se los considera como residuos peligrosos, así mismo en EE. UU. la EPA los considera como residuos peligrosos de Clase I, CódigoK061, siendo el Pb, y Cd

las especies consideradas más peligrosas, mientras que el zinc debido a su cantidad relativamente grande es el compuesto de mayor interés. (C. Espinoza, ENERO 2014). **En el Ecuador el acuerdo ministerial 142 listado nacional de sustancias químicas peligrosas desechos peligrosos y especiales de El anexo B listado de desechos peligrosos por fuente específica en su apartado N-24 lo cataloga como Tóxico con la descripción polvo de acería que contengan material peligroso C.24.02.** (Acuerdo-142, Septiembre-2012)

En América Latina, si bien predomina ampliamente el depósito sin tratamiento en terrenos preparados a ese efecto, se están dando pasos importantes en el reciclado de los polvos. La primera solución, todavía utilizada, fue la de los depósitos, ya sea en terrenos propios de las siderúrgicas o bien en terceros (en Alemania, por ejemplo, se utilizaron minas abandonadas).

Debido a la presencia de metales pesados que pueden ser lixiviados y contaminar napas y corrientes de agua, los requisitos legales para los depósitos fueron creciendo. Se exigieron precauciones especiales para evitar esa incorporación de metales pesados. Posteriormente, en algunos países se comenzó a exigir que el polvo a depositar pasara por un tratamiento de estabilización, para permitir un manejo como residuo no peligroso.

Alcance

El alcance de esta investigación buscara definir mediante un DCA diseño completamente al azar, cuál sería la mejor alternativa de reutilización en términos de peso la mezcla de un ,5%, 10%, 15%, 20%, de materia prima (arcilla) con el residuo y

comprobar mediante software apropiado si existe diferencias significativas de textura, resistencia mecánica, y analizar sus lixiviados para comparar con la normativa legal vigente.

Planteamiento del problema

Desde los inicios de la industria de acero se han presentado problemas de residuos tóxicos liberados a la atmosfera, en la actualidad se han tomado medidas con el fin de minimizar el impacto ambiental. El polvo de acería es considerado como polvo residual toxico y peligroso según las legislaciones ambientales, la composición de este polvo residual en mayor concentración tenemos; hierro, zinc, plomo.

La reutilización o el reciclaje es una de las alternativas viable para reducir el impacto que ocasionan el polvo de acería, también en cuanto a costos y almacenamiento. Tal es el caso de NOVACERO empresa dedicada a la creación, desarrollo e implementación de soluciones de acero para todo tipo de construcción, donde se genera alrededor de 42,26 ton/mes de polvo de acería según la tasa de producción promedio el cual es almacenado en un depósito acondicionado para su gestión. NOVACERO reporta al ministerio de ambiente UN PASIVO AMBIENTAL de 40 Ton/Mes, lo cual lo declaran en el MANIFIESTO ÚNICO. Sin embargo, el uso inadecuado de este residuo puede causar degradación del suelo, aire y las corrientes de agua por los metales pesados que este constituye. El presente proyecto busca los lineamientos para encapsular a una matriz cerámica estos residuos teniendo la primicia del reciclaje para elaborar un nuevo producto.

Justificación e Importancia

La alta demanda mundial y nacional de acero para la construcción, conlleva a la generación de millones de toneladas de residuos, tales como escorias, polvos, lodos, considerados residuos industriales que en muchos casos son catalogados como residuos peligrosos por sus características químicas.

El presente proyecto buscará afianzar un mecanismo de reutilización de un residuo catalogado como peligroso por nuestra legislación como son los polvos de acería, con el objeto de minimizar el Impacto Ambiental, así como ver la posibilidad de un beneficio económico producto de utilizar un residuo de descarte como sustituto parcial de materia prima para la fabricación de tejas cerámicas para la construcción civil, disminuyendo el uso del recurso suelo (arcillas) que es materia prima para la fabricación de las tejas, también reducimos el residuo a tratar, que actualmente es entregado a un gestor autorizado, INCINEROX el mismo que realiza un tratamiento para su gestión final en celdas de encapsulamiento. El no tratamiento previo de los polvos de acería puede afectar al recurso suelo y con alta probabilidad las reservas acuíferas, corrientes de aguas, mediante el proceso de percolación de los metales pesados Pb y Cd

Objetivos

Objetivo general del proyecto

Elaborar un ecodiseño para la fabricación de tejas cerámicas con la aplicación de un descarte industrial polvos de acería.

Objetivos Específicos

- a) Determinar las características físicas, químicas del polvo de acería y la materia prima para la elaboración de la teja cerámica.
- b) Realizar a nivel laboratorio, formulaciones en base a concentraciones 5, 10, 15, 20% de polvos de acería que nos permitan obtener un mejor resultado en la fabricación de la teja cerámica a fin de cumplir requisitos INEN y con la normativa ambiental legal vigente.
- c) Determinar el ahorro económico en la gestión del procesamiento de residuos sólidos en base a la sustitución de polvos de acería como materia prima para la fabricación de tejas cerámicas.

Estado del Arte

La alta demanda en la generación de polvos de acería a nivel mundial, hoy en día se ha implementado varios modelos de gestión para los polvos de acería, como son (reciclado interno, recuperación de cinc para la industria del galvanizado, sustituto parcial de arcilla mineral en la industria cerámica, mezcla con escoria tratada de hornos para la industria cementera. Que nos dejan un mundo de información para buscar una solución integral en la gestión de este residuo generado por la industria siderúrgica.

Antonio Ros Moreno, 2011. Realiza un tema de investigación Reciclado de polvo de acería (Óxido de Zinc). Donde detalla la metodología más viable para encapsular los elementos que forman parte de residuo, siendo el más destacado el proceso de Waelz

donde hay una reacción química de oxidación y reducción que separa los elementos deseados como Zinc, Plomo. (Moreno, 2001)

El Ing. José A. Pons Herrera, Dr. C presenta, Termodinámica del uso del polvo de horno eléctrico oxidante, donde realiza un estudio termodinámico la temperatura de trabajo (1 813 K a 1 893 K), Dando resultado negativo, se evidencio la baja concentración de Zn y Pb y por ende no es posible considerar como materia prima.

En el Ecuador existe un proyecto o estudio que está netamente relacionado con el tema de investigación que se desea encaminar.

La investigación realizada por Nicolalde Sara tiene por objeto utilizar Escorias y Polvo de acería en la producción de bloques y adoquines, reducir la materia prima y obtener beneficios económicos y sobre todo disminuir el impacto ambiental, la metodología para dar tal solución es el test TCLP (Procedimiento de lixiviación característico de toxicidad y absorción atómica) y las continuas muestras realizadas ya como parte de producto final. (Granja, 2018)

Hipótesis

Mediante la utilización de polvos de acería en diferentes % (p/p) se logrará obtener tejas cerámicas que cumplan los requisitos de acuerdo Norma INEN y a la normativa ambiental vigente como son parámetros físicos, mecánicos y lixiviados.

Variables de la Investigación (variables dependientes-variables independientes)

Como variable independiente vamos a considerar la siguiente:

- Qué % de metales pesados (Pb, Cd, Cr, y Zinc) presentes en el polvo de acería son los idóneos según el diseño experimental para la fabricación de tejas, y si estas cumplen requisitos Norma INEN y con la normativa ambiental legal vigente.

Como variables dependientes tendremos a considerar las siguientes:

- Cumplimiento de normativa INEN-990 prueba de flexión y Absorción de agua.
- Cumplimiento de normativa legal vigente Acuerdo Ministerial 097^a.

Capítulo II

Marco Teórico referencial, conceptual y legal

La demanda nacional y mundial de acero aumenta a un ritmo importante, especialmente a causa del crecimiento de las economías emergentes. (Gerdau, 2012) La Asociación Mundial del Acero reportó para el 2012 una producción mundial de 1 518 millones de toneladas, pese a la crisis económica de la Unión Europea que afectó gravemente al sector de la construcción.

La tasa de generación de polvos residuales de acería se estima entre 12 y 15 kg de polvo por tonelada de acero manufacturada lo que se traduce en una producción de más de 17 millones de toneladas de este desecho con base en la cifra señalada para el 2012 por la Asociación Mundial del Acero. (Gerdau, 2012)

En Ecuador, Acería del Ecuador C.A. reporta 1 000 t anuales de este residuo, (Acería del Ecuador C.A) mientras que en NOVACERO S.A. se obtienen 507,12 t aproximadamente de polvo de acería al año. (Alvarez, 2010)

Sin duda la industria de la construcción, y en particular la producción de materiales cerámicos constituye una de las áreas más efectivas para la reutilización de residuos industriales. Siguiendo las etapas habituales de los procesos cerámicos, tales como molienda de las materias primas, selección de tamaños granulométricos, humectación, mezclado y prensado, y finalmente tratamiento térmico adecuado al producto diseñado,

pueden incorporarse importantes cantidades de descartes industriales, en la fabricación de cuerpos compactos cocidos.

Ecodiseño

Se trata de la fusión de una diversidad de criterios medioambientales que está estrechamente unido con el diseño de cualquier producto que la mente se ingenia para dar solución y mejora en cuanto a la reducción o minimizar el impacto medioambiental, es decir, el Ciclo de Vida del producto como tal. Para seguir los pasos de un proyecto se hace uso de metodología, Experiencia, y herramientas bibliográficas.

Figura 1

Ecodiseño de un producto



Nota. El diseño de un producto con ingenio de solución y ejecutar mejoras al producto.

Tomado (FJ, 2000)

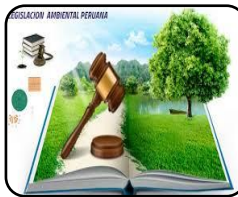

Preparación del proyecto

El Desarrollo del proyecto es liderado por el presente Juan Alfredo Vizqueta Cajo bajo la supervisión y dirección Martha Mirella Bermeo Garay PhD directora de proyecto de tesis y el ente que representa y autoriza la investigación dentro de sus procesos "NOVACERO".

Factores motivantes para el desarrollo de investigación

Figura 2

Factores motivantes que engloban un producto de investigación

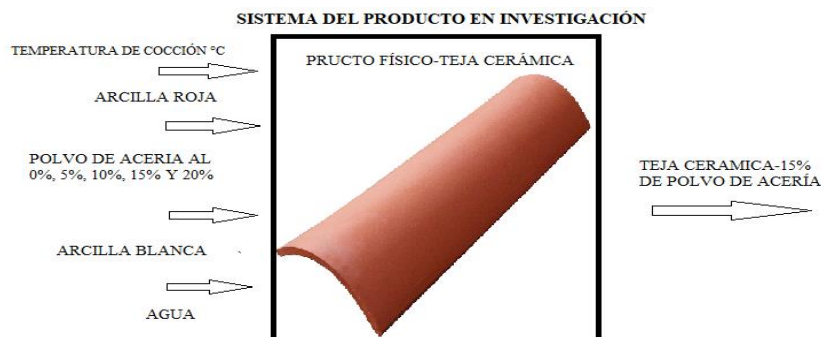
	<p>Factores motivantes externos</p> <ul style="list-style-type: none"> • "El Ministerio del Ambiente", Anexo B listado de desechos peligrosos por fuente específica en su apartado N-24 lo cataloga como Tóxico con la descripción polvo de acería que contengan material peligroso. C.24.02, que afecta directamente al medio ambiente. Por lo que sugiere la eliminación o reducción mediante un proceso de tratamiento y disposición final como residuo peligroso.
	<p>Factores motivantes internos</p> <ul style="list-style-type: none"> • El poder de innovación es un reto de diferenciación, este proyecto de investigación apuesta por un producto de reciclaje y de calidad como es la teja cerámica. • El aspecto de responsabilidad con el medio ambiente, social e investigación es un punto detonante para la concientización.

Nota. Factores motivantes externo e internos que engloban la investigación de los polvos de acería. Tomados (Stiller, Noviembre, 2000)

Aspectos ambientales

Figura 3

Sistema del producto bajo investigación



Nota. Sistema entradas y salidas del producto bajo investigación a diferentes concentraciones de polvo de acería.

Aspectos ambientales

Figura 4

Descripción del aspecto e impacto ambiental del producto de investigación

Aspectos ambientales	Impacto ambiental
<input type="checkbox"/> Consumos de residuos sólidos polvo de acería <input type="checkbox"/> Consumo de suelos arcillosos y energía. <input type="checkbox"/> Generación de CO ₂ y SO ₂ <input type="checkbox"/> Generación de metales pesados por lixiviación	<input type="checkbox"/> Contaminación de suelos y deposición incontrolada de residuos <input type="checkbox"/> Disminución de recursos naturales <input type="checkbox"/> Smog <input type="checkbox"/> Contaminación de agua y suelo

Nota. Descripción de aspectos ambientales que pueden generar un impacto ambiental.

Tomado (Stiller, Noviembre, 2000)

Análisis de aspectos ambientales del producto y prioridades

Tabla 1

Método de MET para un análisis descriptivo de aspectos ambientales

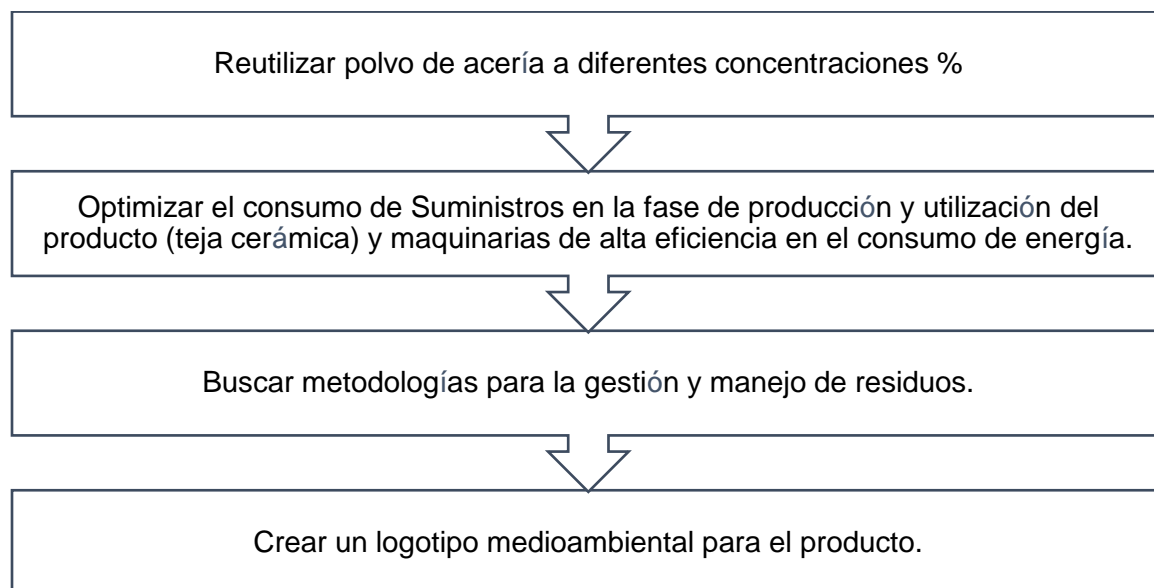
	Materiales (M)	Energía (E)	Emisiones tóxicas (T)
Obtención y consumo de materiales	<ul style="list-style-type: none"> - Polvo de acería al 0%, 5%, 10%, 15% y 20% - Arcilla Roja 40% - Arcilla Blanca 60% - Agua 22,5 % 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto contenido de Fe, Mg, Ca, K como elementos fundentes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Lixiviados con metales pesados.
Producción en fabrica	<ul style="list-style-type: none"> - Mezclador convencional tipo paleta (Cubeta) - Moldeo y prensado - Secado - Cocción a gas 	<ul style="list-style-type: none"> - Consumos de energía - Presión a 60 Kpa - 15 días de secado ambiente - Cocción a 850-900 °C 	<ul style="list-style-type: none"> - Residuos de la mezcla - Emisiones de combustión
Distribución	<ul style="list-style-type: none"> - Caja de cartón - Envoltura de burbuja 	<ul style="list-style-type: none"> - Gasolina - Diésel 	<ul style="list-style-type: none"> - Emisiones de transporte - Caja de cartón - Envoltura de burbuja
Uso utilización	<ul style="list-style-type: none"> - Mezclas de arcilla - polvo de acería 	<ul style="list-style-type: none"> - Consumo de suministros 	<ul style="list-style-type: none"> - Emisiones de residuos sólidos y lixiviados
Sistema de vida útil	-	-	<ul style="list-style-type: none"> - Aguas lixiviadas - Residuo peligroso

Nota. Análisis descriptivo sobre el impacto ambiental generado en el proceso de transformación del producto. Tomado de (Stiller, Noviembre, 2000)

Ideas de mejora

Figura 5

Ideas de mejora para el producto de investigación



Nota. Ideas innovadoras para el diseño del producto bajo investigación y buscar alternativas de mejora. Tomado de (Stiller, Noviembre, 2000)

Desarrollo del concepto

El concepto del producto de investigación que se obtuvo fue una teja de cerámica con el 15% de polvo de acería proporcional a la mezcla cumpliendo los parámetros físicos y mecánicos, como son ensayo de flexión y absorción de agua. Además, los beneficiados en la reducción del 15% PA es la empresa (NOVACERO) que genera 42,26 toneladas/mes.

Plan de acción

Tabla 2

Plan de acción en función del producto en investigación

Medidas de mejora	de	Plazo	Acciones	Responsables	Periodicidad
Valorizar y optimizar proceso	y	Largo plazo	Comparar con las normas vigentes actualizadas	Juan Alfredo Vizueta Cajo	3 meses
Caracterizar muestras		Largo plazo	Comparar con las normas vigentes actualizadas Comparar resultados con distintos laboratorios certificados.	Juan Alfredo Vizueta Cajo	6 meses
Sustituir el 20% de polvo de acería	20%	Largo plazo	Deberá realizar nuevos ensayos para continuar con la reutilización de polvo de acería	Juan Alfredo Vizueta Cajo	Según resultados

Nota. El plan de acción debe cumplirse según la periodicidad de cada proceso bajo la responsabilidad del autor del producto.

Industria Metalurgia

La industria de metalurgia comprende toda actividad de extracción de minerales y transformación a productos elaborados. Los materiales de uso son: Óxidos (silicato y carbonato, sulfuros), metales no ferrosos (aluminio, zinc, cobre y cadmio), metales ferrosos (aleaciones de hierro y acero).

Industria siderúrgica

La siderurgia es la metalurgia del hierro que consiste en el proceso de transformación de la materia prima del mineral de hierro, o chatarra en acero con una aleación metálica constituida por hierro y una pequeña proporción de carbono (entre 0,02 y 2%) y como metal adiciona: fósforo, cobre, níquel etc. La fabricación de acero tiene un sector amplio en el mercado con el fin de comercializar: láminas de acero, planchas para horno, maquinarias eléctricas y hasta materiales para transporte aéreo y terrestre.

Polvo de acería

Los polvos de acería son partículas finas arrastradas por los gases de escape generados en hornos eléctricos. Estas partículas están compuestas por elementos provenientes del acero de la escoria y de la materia prima de carga (chatarra ferrosa) incluyendo hierro, cinc, y metales pesados como el plomo y el cadmio.

También es considerado un material pulverulento de color pardo oscuro, constituido por partículas de tamaño menor a 0,001 mm, pero con una distribución de tamaños

variable. Estas partículas muy finas presentan una gran tendencia a aglomerarse, debido a su comportamiento como material ferromagnético.

- Almacenamiento

Luego de ser recolectados desde la campana del galpón por conducto hasta un filtro de manga: se llenan para luego ser acumulados en un silo. El polvo del silo es colocado en lonas o big bag y se procede a llevarlos hacia el área de almacenamiento temporal.

Características físicas, químicas y mineralógicas

- Caracterización física

Como la granulometría, oscila un valor de menor 1 μm y más 100 μm , la granulación no es uniforme por tanto hay un 50% de 3 μm .

- Caracterización química

Los componentes el material está constituido en forma predominante por:

- ✓ Fe_2O_3 , Óxido de hierro-abundante
- ✓ CaO , Óxido de calcio
- ✓ ZnO . Óxido de zinc
- ✓ Al_2O_3 , Óxido de aluminio III
- ✓ MgO , Óxido de magnesio
- ✓ MnO , Óxido de manganeso II.

La concentración más relevante en cuanto a metales hallados es el Zinc y plomo, por lo que se recomienda un proceso de reciclaje adecuado para un posterior tratamiento metalúrgico.

Métodos de lixiviación

La metodología pretende encapsular metales Zinc, Cromo, Cadmio, Plomo, etc.

- Lixiviación ácida: Con ácido sulfúrico se obtiene zinc metálico y óxido de zinc, y con el ácido clorhídrico se obtiene cloruro de zinc y óxido de zinc.
- Lixiviación Neutra: Con lejía de carácter neutro se obtiene menor a 20% de zinc.
- Lixiviación ácido: Con Hidróxido de Sodio se obtiene ácido óxido de zinc y menor proporción hierro y calcio.

La normativa ambiental vigente en Ecuador controla con severidad las prácticas de la industria siderúrgica y establece sanciones muy fuertes a las empresas que, por sus operaciones, provoquen daños al entorno. La Constitución política de Ecuador indica en el artículo 396 que “cada uno de los actores de los procesos de producción, distribución, comercialización y uso de bienes o servicios asumirá la responsabilidad directa de prevenir cualquier impacto ambiental, de mitigar y reparar los daños que ha causado, y de mantener un sistema de control ambiental permanente.” (Asamblea, 2018)

Por lo tanto, el reciclado y rehusó de este residuo catalogado como peligroso en la fabricación de tejas cerámicas constituye una fuente de mitigación del impacto Ambiental por la disposición final que actualmente la empresa entrega a una gestora autorizada. Es

importante mencionar que dentro de la clasificación más general existen tres tipos de residuos: especiales, no especiales e inertes. (Castells, 2018)

El residuo especial es aquel que por sus características tóxicas o peligrosas y por su grado de concentración, precisa de tratamientos específicos y de controles estrictos debido a sus potenciales efectos perniciosos. Se consideran residuos inertes aquellos que no sufren ningún tipo de cambio fisicoquímico con el tiempo en las condiciones habituales de su disposición. Los residuos no especiales son aquellos que, si bien pueden sufrir transformaciones, los productos no resultan potencialmente peligrosos.

Definición de arcillas

El término “arcilla” encierra en sí mismo un significado bastante ambiguo que requiere varias acepciones para su comprensión (tamaño de partícula, mineralogía, petrografía, propiedades físicas, etc. Además, salvo excepciones, poseen un comportamiento físico muy peculiar frente al agua cual es la plasticidad, e incluso endurecen cuando son secadas o sometidas a tratamientos térmicos a alta temperatura. De hecho, la definición más reciente del concepto “arcilla” , según la nomenclatura de los comités de la AIPEA y de la Clay Minerals Society (CMS) es la siguiente: “ (CMS) es la siguiente: “Naturally occurring material composed primarily of fine-grained minerals, wich is generally plastic at appropriate water contents and willl harden when dried of fired”, “Materia prima natural con una constitución de partida compuesta por minerales de tamaño fino, que se comporta plásticamente con el agua y que endurece al ser secada o calentada”. (L.A. DÍAZ RODRÍGUEZ, 2002)

La arcilla proviene de canteras cuyas bondades como material para la construcción de tejas es la: adherencia, maleabilidad (plasticidad), dureza, porosidad.

Propiedades de las arcillas

- Plasticidad

“La plasticidad es la capacidad que tienen algunos materiales para modificar su forma por acción de una fuerza exterior, subsistiendo tal deformación después de cesar la causa que la produjo”. (José, 1962)

- Contenido en agua.

Fusión de una cantidad de agua con un conjunto de partículas sólidas estructurales de la masa de arcilla. La proporción de agua debe ser justa porque a menor proporción las redes que rodean a las partículas se rompen y pierde la plasticidad. (Mejía, 2013)

- Refractoriedad.

La arcilla refractaria es un material que resiste altas temperaturas de cocción sin sufrir cambios y variaciones en su estructura molecular. (Mejía, 2013)

- Merma.

La pasta de arcilla sufre un proceso de encogimiento, el agua se evapora al ser sometido a cocción o secado. El factor que influye para su mayor reducción es un material no plástico de la arcilla con el cual está trabajando para la fabricación de tejas. (Mejía, 2013)

- Tamaño de las partículas.

Según Seger la arcilla adopta mejor plasticidad cuando se aumenta el grado de finura, aunque al someter el material a altas temperaturas las partículas resultantes de menor tamaño carecen de plasticidad.

- Forma y estructura de las partículas.

Las formas laminares de las arcillas favorecen a la propiedad en mención.

- Agregación de las partículas.

“Se ha encontrado que las arcillas de grano muy fino y las de grano muy grueso son menos plásticas que las que contienen simultáneamente granos finos y gruesos. Según ha sugerido Mellor, esto se debe a que una distribución de granos de diferentes tamaños permite un empaquetamiento más cerrado y compacto que proporciona una mayor plasticidad”. (José, 1962)

- Presencia de materia orgánica.

La presencia de un material coloidal mejora la plasticidad dejando en reposo en estado húmedo con el fin de que, hay un crecimiento microbiano y ayude a las propiedades plásticas de la arcilla.

Clasificación de arcillas

Para la clasificación de arcilla se maneja un concepto puntual “sustancia mineral con alto contenido de silicato de aluminio hidratado”.

Tabla 3

Clasificación de arcilla según sus propiedades

Tipos de arcilla		Características
según su:		
Plasticidad	Arcillas plásticas	Pasta moldeable
	Arcillas anti plásticas	Fundente, estructuras químicamente inertes.
Fusibilidad	Arcillas refractarias son:	- Resisten temperaturas de 1600-1750 C.
	- Arcillas	- Adaptan un color gris y blanca
	- Caolines	- Resisten temperatura desde 1100 C
	Arcillas de alfarería	- Adaptan un color castaño. amarillo, y/o marfil

Nota. Existen una variedad de arcillas con características muy propias de cada una.

Tomado de (Mejía, 2013)

Clases usuales de arcillas

Caolín. Son arcillas considerados menos plásticos por el tamaño de sus partículas que ayuda a perder propiedades de plasticidad y su grado de contracción es bajo por lo que es sometido a un punto de fusión es de 1800 °C.

Arcillas plásticas. De partículas mucho más finas, y plásticas, fácil de manipular la pasta con elevado grado de contracción hablamos de hasta un 20%, la combinación de esta arcilla con el caolín compensa la plasticidad que pierde el caolín.

Arcillas refractarias. Es el grado de resistencia que tiene la arcilla a elevadas temperaturas de hasta 1.500 C. Este tipo de arcillas soy muy útiles para la elaboración de ladrillos netamente para hornos y calderas.

Arcillas de alfarería.

- Arcilla roja. La pasta echa de arcilla roja tiene plasticidad fácil de moldear.
- Arcilla azul. Es un material con un alto nivel de plasticidad que todas las arcillas ya mencionadas, pero carece de otras propiedades que le hacen menos aceptados para cualquier elaboración de tejas, ladrillos etc.

Teja cerámica

Según la norma técnica ecuatoriana (INEN 986-1984) es una pieza acanalada o plana de poco espesor hecha de arcilla o tierra arcillosa adecuadamente quemada, elaboradas

mediante proceso de extrusión o prensado, secado y cocción. Las propiedades de plasticidad y refractariedad permiten obtener tejas con formas diversas.

“Las funciones que cumplen las cubiertas de tejas cerámicas son:

- Estanqueidad al agua, asegurada por las propias tejas.
- Aislamiento térmico.
- Resistencia a heladas.
- Resistencia al fuego.
- Estanqueidad al aire y, si es necesario, al vapor.
- Aislamiento acústico.
- Estética y armonía con el paisaje.
- Respeto al medio ambiente”. (Construmatica, 2019)

Clasificación de tejas

Tejas cerámicas curvas. Son elementos en forma de canal curva, sus diseños se acoplan solapando entre piezas (unas con otras) de manera longitudinal y transversal.

Tejas cerámicas mixtas. Diseño combinado con una parte plan y otra parte curva también con sistema de encaje de forma longitudinal y transversal. (Construmatica, 2019)

Para efectos de la norma INEN-990, tejas cerámicas requisitos las tejas se clasifican de acuerdo con su forma y acabado en los siguientes tipos:

Tabla 4

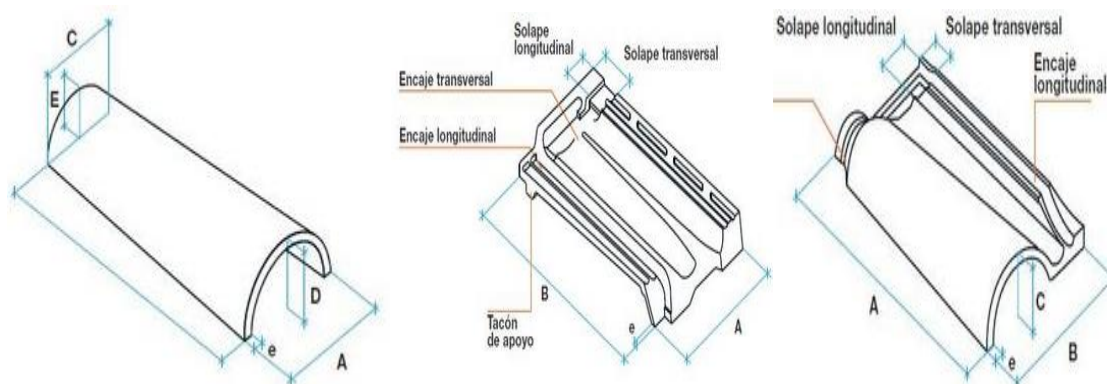
Tipos de tejas según INEN 990

TIPO	Referencia
A	Teja común curva
B	Teja común plana
C	Teja vidriada curva
D	Teja vidriada plana

Nota. Tipos de tejas que existen en el mercado según la norma INEN. Tomado de (INEN, Tejas Ceramicas. Requisitos, 990 1982-12)

Figura 6

Tipos de tejas



a. Teja ceramica curva b. Teja ceramica plana c. Teja cerámica mixta

Nota. Aquí se detalla la estructura de cada tipo de tejas. Tomado de (Construmatica, 2019)

Dimensiones y tolerancia de las tejas según su clasificación

Las dimensiones según la norma INEN Tejas cerámica. Definiciones. Clasificación y condiciones generales 986-12 so CO 0207-2015 según su clasificación.

Tabla 5*Dimensiones estructurales para diferentes tipos de teja*

	Dimensiones	Valor	Unidad
Teja curva	Largo	44	cm
	Ancho	22	cm
	Espesor	1	cm
Teja plana	Largo	44	cm
	Ancho	30	cm
	Espesor	1	cm

Nota. La tabla indica las medidas estandarizadas según la norma ecuatoriana. Tomado de (INEN, Tejas cerámicas. Definiciones. Clasificación y Condiciones generales , 2015)

Las dimensiones de las tejas elaboradas en la presente investigación no cumplen con el requisito de la INEN-986, puesto que se fabricaron tejas con dimensión de 30 cm largo x 15 cm ancho x 1,2 cm de espesor, para lo cual se fabricó un molde metálico con las medidas señaladas. (INEN, Tejas cerámicas. Definiciones. Clasificación y Condiciones generales , 2015)

Definición de desechos peligrosos

“Desechos sólidos, pastosos, líquidos o gaseosos resultantes de un proceso de producción, extracción, transformación, reciclaje, utilización o consumo y que contenga alguna sustancia que tenga características corrosivas, reactivas, tóxicas, inflamables, biológico-infecciosas, y/o radioactivas, que representen un riesgo para la salud humana

y el ambiente de acuerdo con las disposiciones legales aplicables”. (ACUERDO MINISTERIAL 097 LIBRO VI, 2015)

Materiales cerámicos con aplicación de residuos industriales

A lo largo de la historia y el desarrollo de procesos industriales, los residuos peligrosos generados ha sido el cáncer que en la actualidad debemos combatir y de alguna manera debemos remediar y hacer uso de las 3R el de reducir, reciclar, reutilizar. La reutilización de residuos industrial en productos cerámicos es el inicio de un extenso tema de investigación.

Tabla 6

Descripción de residuos industriales en materiales cerámicos

Residuos industriales	Aplicación en materiales cerámicos
Polvo de acería-residuo de la fundición de acero	Elaboración de tejas y bloques de cemento (adoquines)
Arcillas + residuos de polímeros	Construcción (bloques para prefabricados y aislantes)
Residuos de demolición	Construcción (fachadas)
Hormigones de demolición	Construcción Tejas
Lodos de todo tipo: hidrometalurgia, depuradoras de aguas residuales, desemboque de ríos etc.	Construcción (ladrillos y pavimentos y revestimientos cerámicos)

Nota. La tabla menciona una infinidad de alternativas para el uso de residuos industriales.

Tomado de (Rincon, 2011)

Procedimiento elaboración de las tejas

Preparación de pasta: Se realiza una mezcla de las distintas materias prima (Arcilla Roja, Blanca y Polvo de acería) en diferentes porciones para luego separar impurezas. En este proceso se verifica la consistencia de la arcilla, la plasticidad (facilidad de moldear), si la pasta está muy seca se adiciona más agua hasta obtener una pasta ideal. (Tamayo, 2015)

Mezclado y amasado: Generalmente se realiza en una Mezcladora de tipo cubeta, Ejes con paletas, y Garganta de alimentación donde se recepta la materia prima y desde un extremo mientras corta, desmenuza y voltea la pasta hasta obtener una pasta homogénea y consistente. (Tamayo, 2015)

Moldeo: Existe moldeo por extrusión que consiste en hacer pasar la pasta por un cilindro de extrusión donde una especie de tornillo gira para mejorar la uniformidad y maleabilidad de la pasta al final el cabezal del cilindro obliga a pasar a través de un prensado y un molde. (Tamayo, 2015)

Secado: Se realiza un secado a temperatura ambiente para evitar resquebrajamiento, el tiempo de secado de forma artesanal toma entre 15 a 20 días. (Tamayo, 2015)

Cocción. Generalmente se cuece en un horno a altas temperaturas luego del proceso de secado, la arcilla se caracteriza por tener propiedades refractarias. Las tejas se colocan de forma vertical y separada unas de otras luego de alcanzar la cocción precisa

se toman un tiempo estimado para enfriar el horno sin que las piezas se agrieten o se rompa. (Tamayo, 2015)

Vidriado: se aplica una capa de suspensión de agua sobre el lomo de las tejas para mejorar la impermeabilidad y resistencias. (Tamayo, 2015)

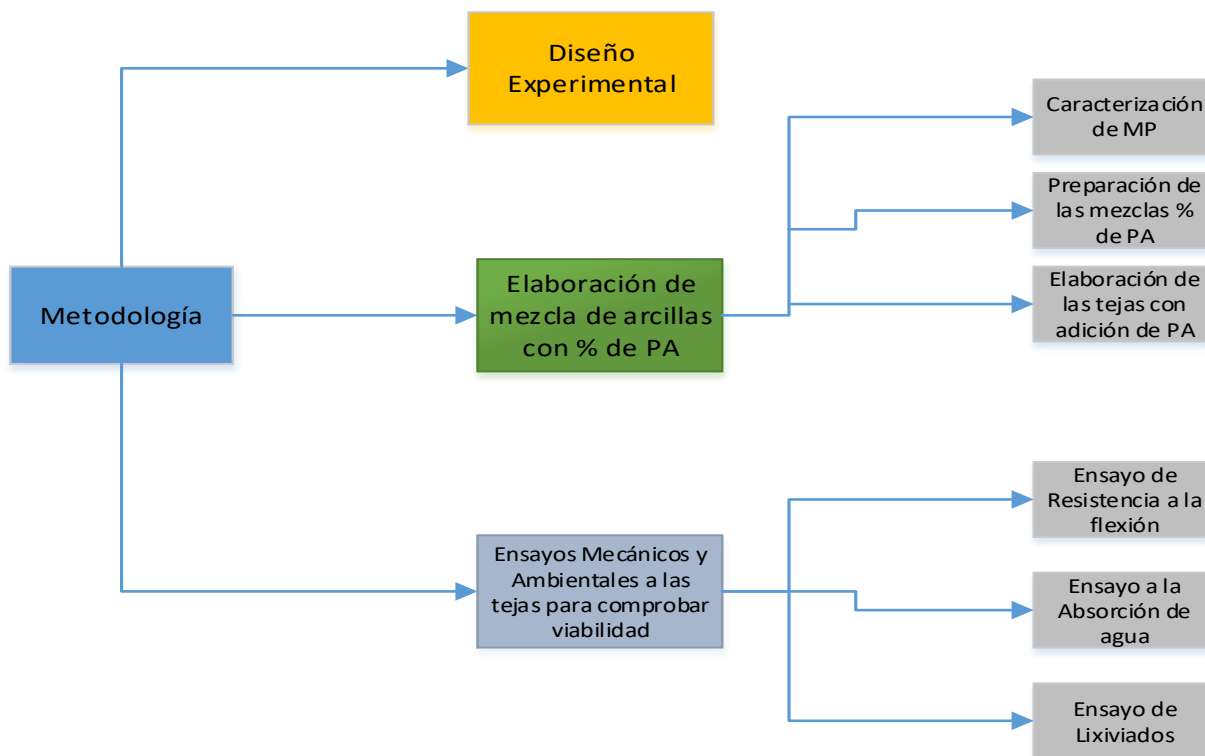
Capítulo III

Metodología de la Investigación

Esquema de presentación de la metodología

Figura 7

Esquema de la metodología del diseño experimental y ensayos



Nota. Diagrama de un diseño experimental siguiendo una metodología para el análisis y evaluación del producto de investigación.

Diseño experimental

Las investigaciones y en particular los diseños experimentales intentan establecer básicamente relaciones causa-efecto. Específicamente cuando se desea estudiar como una variable independiente (causa) modifica una variable dependiente (efecto). En el diseño experimental completamente al azar la hipótesis nula es que los efectos en los tratamientos son todos iguales $H_0 = T_1 = T_2 = T_3 = T_4$ y la hipótesis alterna es que al menos uno de los tratamientos es diferente a los demás. (Ramon, Gustavo)

La presente investigación plantea un diseño experimental completamente al azar DCA con 5 niveles o tratamientos y 5 repeticiones, este diseño consiste en una prueba basada en el análisis de varianza, en donde la varianza total se descompone en la varianza de los tratamientos y la varianza del error, con el objetivo de determinar si existe diferencia significativa entre los tratamientos en nuestro producto final. La metodología experimental consiste en realizar varios experimentos en los cuales solo varía un parámetro y se mantiene constante los demás, dados que las variaciones de respuestas se podrían atribuir a un solo factor. Para la realización del estudio las unidades experimentales están diseñadas en función de los porcentajes de 5, 10, 15, 20% de polvo de acería, mientras que los demás factores en el proceso de elaboración de las tejas se mantuvieron constantes, estos son tipos de arcillas utilizadas, dimensión de la teja, humedad, tiempo de secado, tiempo y temperatura de cocción. Como variables dependientes a analizar tendremos la resistencia a la flexión y absorción de agua estipulada en la Norma INEN 990. Requisitos tejas cerámicas.

Diseño de las muestras

Las materias primas que utilizamos para preparar las muestras son arcilla mineral roja y blanca proveniente de las minas del Austro y polvo de acería. La arcilla se compró conforme a disposición en el mercado se compraron en total 50 kg de arcilla roja y 50 kg de arcilla blanca.

La generación de polvo de acería tiene lugar mientras se lleva a cabo el proceso de fundición de la chatarra ferrosa en el horno de arco eléctrico EAF por sus siglas en inglés. El polvo de acería es un conjunto de partículas sólidas que son arrastradas por los gases de escape generados durante la fundición cuando estos salen del horno. Estas partículas están compuestas por elementos provenientes del acero, de la escoria y de la materia prima de carga como son Fe, Zn, y metales pesados como Pb y Cd.

Dichas partículas son arrastradas desde la campana del galpón del horno de fundición mediante ventiladores por los conductos hacia la planta de tratamientos de humos, donde el polvo de acería es atrapado en filtros de mangas para luego ser depositados en el silo de almacenamiento.

Para la preparación de las muestras escogimos un 40% arcilla roja y 60% arcilla blanca con los respectivos porcentajes 5%, 10%, 15%, 20% en peso de polvo de acería para fabricar 10 tejas con cada porcentaje definido y 5 tejas sin polvo de acería que actuaría como testigo en nuestra investigación. La preparación de la masa se realizó en un mezclador convencional agregando agua desde un 22,5% llegando hasta un 35% en peso hasta obtener una masa plástica fácil de moldear.

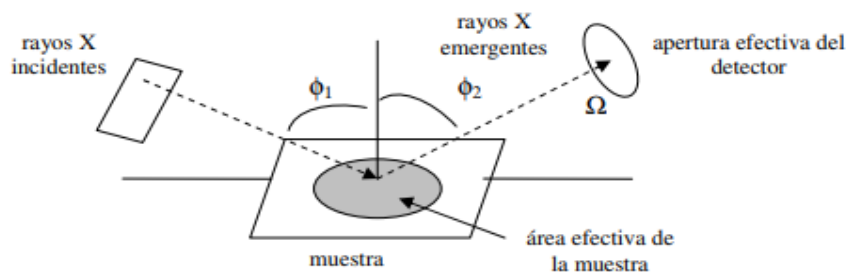
Caracterización granulométrica y química del polvo de acería

La granulometría del polvo de acería no se pudo calcular en tamices debido a que posee un diámetro de partícula uniforme con valores por debajo de una micra. Un estudio realizado en una tesis de la Politécnica Nacional menciona que más del 90% de partículas son inferiores a 10 μm , Este análisis concuerda con un estudio realizado por Takano M.C Mantovany quien indica que en dos polvos de origen diferente más del 90% de las partículas son menores a 10 μm (Takano, 2009).

La caracterización química de las materias primas polvo de acería y arcillas se lo realizó en el laboratorio de control de calidad de la acería. La composición química de las muestras se la determino mediante un análisis de Fluorescencia de rayos X en el espectrómetro de Rayos X EDX 720 este es un equipo utilizado para el análisis químico en el rango de medición desde el Na (11) hasta el U (92) de muestras sólidas y líquidas.

Figura 8

Geometría de excitación de la muestra y detección de la radiación característica.



Nota. Análisis de elementos residuales Tomado (NOVACERO, Método de operaciones y manejo del software de espectrómetro de Rayos X EDX-720, 2018)

El análisis por fluorescencia de rayos X se basa en el fenómeno por el cual se liberan electrones de las capas más internas por la excitación mediante radiación X primaria de los átomos de una muestra de material. Las vacantes se rellenan con electrones de las capas externas. Durante estas transiciones, se genera radiación por fluorescencia característica de cada elemento. Esto es leído por un detector que informa sobre la composición de la muestra.

La determinación del análisis granulométrico de las arcillas se dio siguiendo la norma ASTM C136-01 que indica la graduación de materiales finos y gruesos y determinar la distribución del tamaño de partículas y clasificar según su módulo de finura en arena gruesa, fina y muy fina.

Procedimiento

Para el procedimiento cálculo de la granulometría por tamizaje se utilizaron los siguientes materiales:

- Balanza shimadzu precisión 0,1 g
- Juego de tamices mallas:14, 35, 150, 250
- Vibrador mecánico
- Brocha pequeña
- Estufa blinder

Los pasos por seguir son los siguientes:

- Se seca la muestra en la estufa a 110°C por 1 hora

- Se encera la balanza y se toma la muestra de la arcilla a tamizar
- Se coloca la masa en el juego de tamices se cierra y se lleva al vibrador
- El vibrador mecánico se programa por 2 min
- Pesar las porciones retenidas en cada tamiz y registrar los pesos para calcular la curva de granulometría.

Cálculos

Tabla 7

Análisis granulométrico por tamizado arcilla blanca

TAMIZ MALLA N°	Diámetro (mm)	Peso retenido (g)	%retenido		% Acumulado que pasa
			Parcial	Acumulado	
14	1,4	600,8	19,31	19,31	80,69
35	0,5	1445,9	46,47	65,77	34,23
150	0,098	915,8	29,43	95,21	4,79
250	0,058	130	4,18	99,38	0,62
Tara		19,2	0,62	100,00	
TOTAL		3111,7	100,00		

Nota. Resultados del análisis granulométrico de la arcilla blanca por el método del tamiz

Peso de la muestra= 3128,4 g

Peso total de masa= 3111,7 en la tamizada.

Tabla 8*Análisis granulométrico por tamizado arcilla roja*

TAMIZ MALLA N°	Diámetro (mm)	Peso retenido (g)	%retenido		% Acumulado que pasa
			Parcial	Acumulado	
14	1,4	288,4	7,35	7,35	92,65
35	0,5	1510,1	38,48	45,83	54,17
150	0,098	1934	49,28	95,11	4,89
250	0,058	172,6	4,40	99,51	0,49
Tara		19,3	0,49	100,00	
TOTAL		3924,4	100,00		

Nota. Resultados del análisis granulométrico de la arcilla roja por el método del tamiz

Peso de la muestra= 3944,6 g

Peso total de masa= 3924,4 g en la tamizada

Preparación de las muestras de Polvo de acería para análisis en espectrómetro

Las muestras analizadas se tomaron desde el silo de almacenamiento temporal, durante varios días de operación de la planta de humos, se sacó 4 muestras de 5 kg/cu aproximadamente. Se toma 5 muestras representativas polvo de acería para conocer su composición química.

Figura 9

Toma de muestra

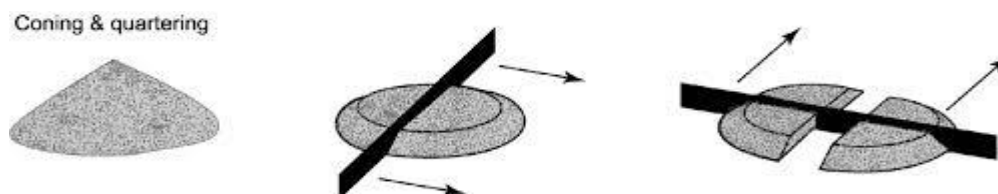


Nota. Toma de muestra de polvo de acería desde el silo de almacenamiento temporal

Con el propósito de homogenizar las muestras procedimos con el método del cono y anillo.

Figura 10

Homogenizar muestra



Nota. Método de mezcla para homogenizar la muestra. Tomado de (Universidad Nacional de ingeniería cybertesis.uni.edu.pe)

Procedimiento y resultados de ensayos

- Recibir las muestras de polvos en fundas herméticas y secas

- Tamizar la muestra malla 270 y obtener polvo fino de 53 μm
- Colocar plástico delgado en la parte inferior de la porta muestras y hacer 4 pequeños agujeros.
- Colocar la muestra en porta muestras.
- Tapar el porta-muestras con film de polipropileno de 50 μm sin dejar partes rugosas.

Figura 11

Preparación de muestra polvos de acería



Nota. Preparación de muestra de polvo de acería en diferentes porciones y condiciones adecuadas para su análisis.

Figura 12

Espectrómetro de rayos x edx 720, preparación de muestras analíticas



Nota. Análisis de muestras en diferentes concentraciones en el Espectrómetro de Rayos X EDX 720.

Tabla 9

Resultados de los óxidos presentes en la muestra de pa (polvo de acería)

Parámetros	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Promedio
	% PA-1	% PA-2	% PA-3	% PA-4	% PA-5	
Fe₂O₃	56,444	54,597	55,878	54,606	54,175	55,140
ZnO	24,214	25,894	25,307	26,130	26,379	25,585
K₂O	5,293	5,535	5,091	5,388	5,591	5,380
MnO	4,904	5,238	4,749	4,994	5,257	5,028
CaO	3,100	2,627	3,313	3,191	2,616	2,969
MgO	1,996	1,848	1,857	1,718	1,880	1,860
SiO₂	1,430	1,399	1,254	1,297	1,361	1,348
Al₂O₃	0,771	0,952	0,858	0,926	1,044	0,910
Cr₂O₃	0,598	0,576	0,671	0,573	0,611	0,606
PbO	0,444	0,473	0,478	0,539	0,373	0,461
CuO	0,196	0,214	0,19	0,191	0,208	0,200
Ir₂O₃	0,182	0,205				0,194
Cl	0,168	0,177	0,169	0,177	0,175	0,173
SO₃	0,089	0,096	0,02	0,094	0,093	0,078
Ac	0,064	0,051	0,062	0,045	0,104	0,065
Br	0,056	0,06	0,058	0,061	0,058	0,059
Ra	0,026	0,057	0,027			0,037
Rb₂O	0,016	0,01	0,019			0,015
V₂O₅	0,009					0,009
SnO₂				0,055	0,063	0,059
SrO				0,015	0,013	0,014

Nota. Resultados de los análisis realizados en el espectrómetro a las diferentes muestras de polvos de acería (NOVACERO, Laboratorio de Calidad, 2019)

Preparación de las muestras de Arcilla roja para análisis en espectrómetro

Procedimiento y resultados de los ensayos de la arcilla roja

- Recibir las muestras de polvos en fundas herméticas y secas
- Realizamos el procedimiento de cuarteo en la maquina cuarteadora
- Trituramos la muestra por 25 sg a 900 rpm
- Tamizar la muestra malla 270 y obtener polvo fino de $5\mu\text{m}$
- Colocar plástico delgado en la parte inferior de la porta muestras y hacer 4 pequeños agujeros.
- Colocar la muestra en la porta muestras.
- Tapar el porta-muestras con film de polipropileno de $5\mu\text{m}$ sin dejar partes rugosas.
- Para mandar analizar se escoge la ventana quantitave y el canal de acuerdo con la muestra registrar las muestras en simple registración y damos clic en analizar.

Figura 13

Preparación de muestra de arcilla roja reducción de partícula



Nota. Muestra de arcilla tamizada y reducida a polvo lista para su analisis.

Tabla 10*Resultados de los óxidos presentes en la muestra de arcilla roja*

Parámetro	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Promedio
	M1 %	M2 %	M3 %	M4 %	
SiO₂	39,087	39,727	39,365	39,204	39,346
Al₂O₃	31,771	31,821	32,671	32,527	32,198
Fe₂O₃	15,407	15,053	14,550	15,022	15,008
K₂O	9,532	9,607	9,937	9,788	9,716
MgO	1,499	1,401	1,367	1,350	1,404
TiO₂	1,159	1,143	1,170	1,163	1,159
CaO	0,832	0,803	0,594	0,607	0,709
ZnO	0,339	0,128	0,056	0,042	0,141
MnO	0,170	0,129	0,085	0,096	0,120
V₂O₅	0,068	0,055	0,076	0,075	0,069
ZrO₂	0,049	0,051	0,056	0,055	0,053
Cr₂O₃	0,040	0,039	0,030	0,026	0,034
SrO	0,018	0,020	0,020	0,020	0,020
SO₃	0,015	0,013	0,013	0,015	0,014
PbO	0,013				0,013
Y₂O₃	0,001	0,010	0,010	0,010	0,008

Nota. Resultados de los análisis realizados en el espectrómetro a las diferentes muestras de arcilla mineral roja (NOVACERO, Laboratorio de Calidad, 2019)

Descripción de los tratamientos del diseño experimental

El material para la fabricación de las tejas fue expuesto a 5 diferentes formulaciones. La primera relación no involucró adición de polvo de acería por lo que está actuará como testigo para los diferentes tipos de ensayos que demostraran la factibilidad del proyecto, la relación fue de 40% arcilla roja y 60% arcilla blanca para preparar 10 tejas de 1 kg/cu aproximadamente con las formulaciones definidas.

Tabla 11

Descripción del tratamiento del diseño experimental

°N	Descripción	Número de Repeticiones	# de tejas por tratamiento
1	En este tratamiento la mezcla para la fabricación del sujeto experimental tiene 0% polvo de acería, fue fabricado con el 100% de arcillas minerales.	5	10
2	En este tratamiento la mezcla para la fabricación del sujeto experimental tiene un 5% polvo de acería.	5	10
3	En este tratamiento la mezcla para la fabricación del sujeto experimental tiene un 10% polvo de acería.	5	10
4	En este tratamiento la mezcla para la fabricación del sujeto experimental tiene un 15% polvo de acería.	5	10
5	En este tratamiento la mezcla para la fabricación del sujeto experimental tiene un 20% polvo de acería.	5	10

Nota. Detalle del número de tratamientos y repeticiones a realizar de acuerdo con el diseño experimental para la fabricación de tejas cerámicas con polvos de acería.

Preparación de la pasta para la fabricación de las tejas

Se procedió a mezclar el 40% peso de arcilla roja y 60% en peso de arcilla blanca a fin de darle una mayor consistencia y aumentar el índice de plasticidad que es propia de las arcillas blancas.

Reducción de tamaño de partícula

Las arcillas vienen en diferentes tipos de granulometría, lo primero que hicimos fue reducir su tamaño de grano a un estado de grano más fino, mediante un proceso de molienda en un martillo de bolas, el martillo cumple la función de disgregar en partículas más finas todo el material arcilloso y de triturar las impurezas pétreas que vienen contenidas en las mismas a fracciones más pequeñas, permitiendo de esta manera obtener una masa homogénea para el siguiente proceso de mezclado y amasado.

Figura 14

Reducción de partículas arcilla roja-blanca



Nota. Reducción de partículas de las arcillas por molienda.

Mezclado y amasado de las arcillas

Este proceso de mezclado y amasado de las arcillas se lo realizó en un mezclador convencional de tipo paleta también conocido como cubeta, el mismo consta de dos ejes con paleta que oscilan en sentido contrario este tipo de mezcladores permiten colocar el material a mezclar en un extremo, saliendo en el otro extremo la masa húmeda homogénea. Aquí colocamos la masa de acuerdo con cada formulación diseñada para la fabricación de las tejas.

Figura 15

Mezcla y amasado de la muestra arcilla con polvos de acería



Nota. Mezclado de arcillas con polvos de acería en mezclador convencional según la formula diseñada.

Moldeo y Prensado

Existen diferentes formas de moldear una pasta cerámica, moldeo por extrusión y moldeo por compresión. Para nuestro caso escogimos el de compresión. Teniendo lista la pasta cerámica procedimos a colocarla en un molde metálico y le aplicamos presión

manualmente mediante un pedazo de madera y golpeando con un combo de 4 lb. Lo ideal sería aplicar presión controlada de al menos unos 60 Kpa de presión.

Figura 16

Moldeo y prensado de la pasta muestra arcilla polvos de acería



Nota. Moldeado y prensado de la pasta muestra para fabricar la teja cerámica.

Secado al ambiente

En este proceso las tejas son sometidas a un secado lento al ambiente con el propósito de que puedan eliminar el agua de una forma lenta y gradual, con esto evitamos problemas de roturas, fisuras de estas antes de pasar al siguiente proceso la cocción. Este tipo de secado se lo debe realizar en sitios despejados y cubiertos a fin de evitar contacto con el agua de lluvia en tiempo de invierno.

El tiempo de secado fue de 15 días, esto va a depender mucho del clima característico de cada ciudad. Antes de pasar a la cocción se debe verificar que la teja este totalmente seca esto con el fin de evitar que la masa húmeda explote en el horno durante la cocción.

Figura 17

Secado de tejas a temperatura ambiente



Nota. El secado se realizó por un lapso de 15 días, en lugar despejado y con cubierta.

Cocción en horno artesanal

Los minerales de las arcillas al ser sometidos a un proceso de cocción sufren transformaciones que van desde la deshidratación hasta la formación de una fase vítrea. Desde que se produce la pérdida de agua existente en la estructura hasta la aparición de la mencionada fase vítrea, se desarrollan unos cambios intermedios tales como: deshidroxilación, destrucción de la estructura cristalina y formación de nuevas fases cristalinas. Ambos procesos de descomposición primero y de formación el segundo, traen a formar un nuevo material cuya definición según (WATCHMAN) es de un sólido Policristalino con una matriz amorfa y vítrea. Las tejas fueron sometidas a cocción en un horno artesanal a gas, el mismo está diseñado para alcanzar temperaturas de hasta 1100°C. En este caso mediante un control de la temperatura a una tasa de calentamiento controlada de 4-5° min alcanzamos la temperatura de 850-900°C en 4,5 a 5,5 h de cocción.

Figura 18

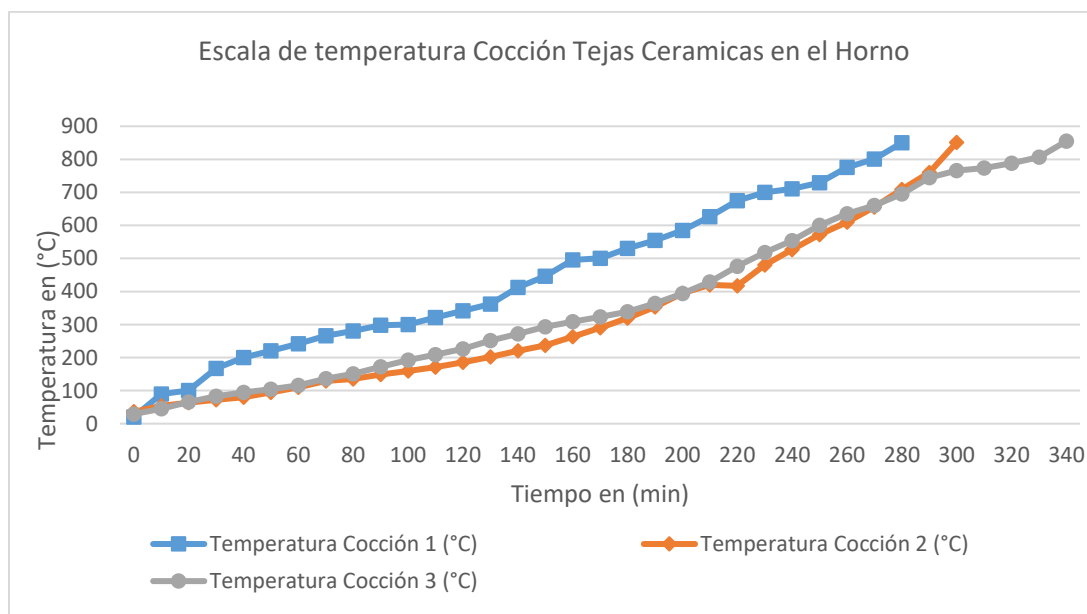
Proceso de cocción de la pasta



Nota. Las tejas ingresan a un proceso de cocción en un horno artesanal con temperaturas hasta de 900°C.

Figura 19

Escala de temperatura de cocción vs tiempo

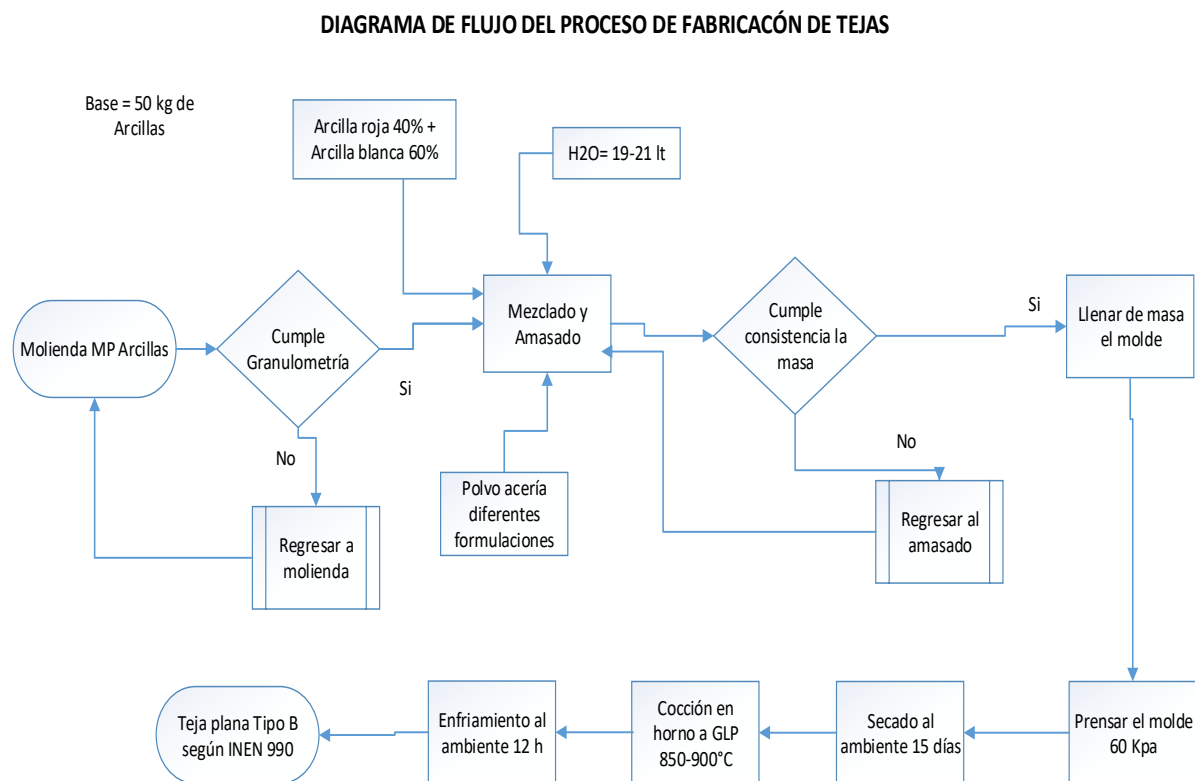


Nota. La figura indica la escala de temperatura de cocción vs el tiempo a las que fueron sometidas las tejas en el horno artesanal.

Diagrama de flujo del proceso fabricación de las tejas

Figura 20

Diagrama de flujo del proceso



Nota. La figura indica las etapas de cada uno de los procesos para la fabricación de tejas desde el ingreso de las materias primas hasta el producto final (tejas).

Materiales y métodos de ensayos para demostrar su factibilidad

La metodología propuesta para demostrar su factibilidad técnica esta descrita por las normas INEN 990 requisitos tejas cerámicas y la INEN 986 Tejas cerámicas condiciones generales.

Tabla 12

Método de ensayo según INEN 986

Caracterización	Equipos	Norma	Resultado
Elementos-Ensayos			
Fluorescencia de RX	EDX-720	Marca Método interno	[%]
	SHIMADZU Na+ U	MTL-CC.21	Directamente desde el equipo
Absorción	Estufa	Blinder- INEN	Cálculo
	Balanza de precisión marca SHIMADZU		
Flexión	Máquina Universal de Ensayos UH-600 KN- Calibrador digital.	INEN	Directamente desde el equipo

Nota: Materiales y métodos usados para la fabricación de tejas cerámicas según la norma ecuatoriana. Tomado de (NOVACERO, Laboratorio de Calidad, 2019)

Ensayo de resistencia a la Flexión de acuerdo con norma INEN

El ensayo de la resistencia a la flexión está basado en la Norma Ecuatoriana INEN 988. El procedimiento descrito en esta norma se basa en la aplicación de una carga vertical progresiva sobre una teja colocada horizontalmente sobre soportes separados hasta llegar a la rotura.

Método de ensayo de resistencia a la flexión

Se utiliza una maquina adecuada para los ensayos de flexión en este caso tendremos la máquina Universal de Ensayos de Tracción 600N. Se preparó dos soportes cilíndricos de igual dimensión y tamaño para poder asentar las tejas paralelas a la carga vertical de la máquina. La máquina posee varios programas de fuerza de carga, para nuestro caso tuvimos que crear un canal donde podamos controlar la velocidad de carga a 50 kgf/min.

Figura 21

Ensayo de resistencia a la flexión



Nota: Se mide la resistencia mecánica de las tejas en la máquina Universal de Ensayos de Tracción 600N.

Preparación de la Muestra para el ensayo de resistencia de flexión

La preparación de las muestras consistió en colocar 5 tejas en la mufla por el lapso de 2 horas a 110°C, con el propósito de desecar las tejas y obtener masa constante. Para

la aplicación de la carga se preparó una superficie plana de yeso calcinado de 6x6 cm donde se centró la carga conforme lo indica la norma.

Descripción del procedimiento para el ensayo de resistencia de flexión

Una vez listas las muestras se procedió a colocar las tejas sobre los soportes cilíndricos uno en cada extremo dejando 11 cm de la línea transversal del centro esto con el fin de aplicar la carga vertical lo más cerca del centro de la teja. Una vez centrada la teja aplicamos la carga 50 kgf/min la misma ya fue ajustada en el software de la máquina.

Figura 22

Ruptura de las tejas en la máquina de tracción



Nota. Se aplica una carga de 50 kg f/min para determinar la resistencia mecánica de las tejas cerámicas.

Cálculo e informe de los resultados.

La resistencia a la flexión está determinada por la carga de ruptura que indique la máquina. Se tomará como resultado del lote la media aritmética de los valores obtenidos

en las 5 muestras ensayadas consignándose también los valores extremos en el caso de existir.

Ensayo de absorción de agua de acuerdo con INEN

El ensayo a la absorción de agua fue determinado mediante la norma ecuatoriana INEN c989, la misma se basa en la determinación de las masas de unas muestras de tejas antes y después de sumergir en agua, estableciéndose la diferencia entre las dos masas como base para conocer el valor de la absorción de agua.

Método para el ensayo de absorción

Figura 23

Toma de peso de las tejas previo a ensayo de absorción



Nota. El ensayo de absorción de humedad está determinado según la norma ecuatoriana INEN 989.

La instrumentación necesaria para poder realizar el método según la norma INEN son; balanza capacidad de 5 kg con lecturas de hasta 0,2 g, y estufa de desecación graduada.

Preparación de las muestras

La muestra para el ensayo de absorción conto con 5 tejas, se tomó el peso inicial, luego se colocaron en la estufa a 110°C por 2 horas, cumplido el tiempo dejamos enfriar hasta la temperatura ambiente y volvemos anotar el valor de la masa, si existe un aumento de masa mayor al 1% se repite la acción hasta obtener masa constante.

Figura 24

Ensayo de absorción de humedad



Nota. Se debe tomar la variación de pesos de las tejas hasta obtener peso constante.

Procedimiento para el ensayo de absorción

Una vez listas las tejas y anotadas su masa constante procedemos a sumergir las tejas en un recipiente con agua, se lleva a ebullición por 1 hora. Terminado este tiempo se deja enfriar a la temperatura ambiente. Sacamos las tejas y dejamos escurrir por un

tiempo de 1 minuto, pasamos un trapo húmedo por las tejas y llevamos a pesar las piezas húmedas anotando el valor de su masa.

Cálculo e informe de resultados de absorción

La absorción de cada muestra, esta expresada en % y se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$\% \text{ Absorción} = \frac{M2 - M1}{M1} * 100$$

Ecuación 1

El promedio de los valores de las 5 muestras inspeccionadas indica el porcentaje de absorción de agua de nuestra muestra. Los resultados se detallan en la tabla (19).

Determinación de plasticidad y contracción

La metodología usada es el control de pesos contantes durante el proceso de secado al ambiente y el proceso de cocción el porcentaje de cada humedad se detalla en la tabla (13).

Tabla 13

Resultados de humedad, plasticidad-contracción de la teja al 15% PA

# Teja	Peso masa Húmeda (gr)	Peso masa secado ambiente (gr)	Peso después de cocción (gr)	Humedad de Plasticidad %	Humedad de Contracción %	Observación
1	1003	954	860,1	4,89	9,84	
2	996	942	850,0	5,42	9,77	
3	998	953	867,4	4,51	8,98	
4	1005	966	843,9	3,88	12,64	
5	1009	988	833,4	2,08	15,65	
6	987	936	847,1	5,17	9,50	
7	988	939	847,2	4,96	9,78	
8	990	945	851,5	4,55	9,89	

Nota. La tabla muestra los resultados de humedad de plasticidad-contracción en una muestra de 8 de tejas al 15% en peso de polvos de acería.

Tabla 14

Resultados pruebas de contracción de plasticidad-cocción de la teja al 15% polvo de acería

# Teja	Largo masa Húmeda (cm)	Largo después secado ambiente (cm)	Largo después de la cocción (cm)	Contracción de plasticidad %	Contracción por Cocción %	Observación
1	29,8	28,8	26,5	3,36	7,99	
2	29,8	28,7	26,8	3,69	6,62	
3	29,9	29,3	27,9	2,01	4,78	
4	29,9	29,4	28,1	1,67	4,42	
5	29,8	29,3	28,4	1,68	3,07	
6	29,9	29,4	28,1	1,67	4,42	
7	29,8	28,9	27,0	3,02	6,57	
8	29,9	28,9	26,9	3,34	6,92	

Nota. La tabla muestra los resultados de contracción de plasticidad-cocción en una muestra de 8 tejas al 15% en peso de polvos de acería.

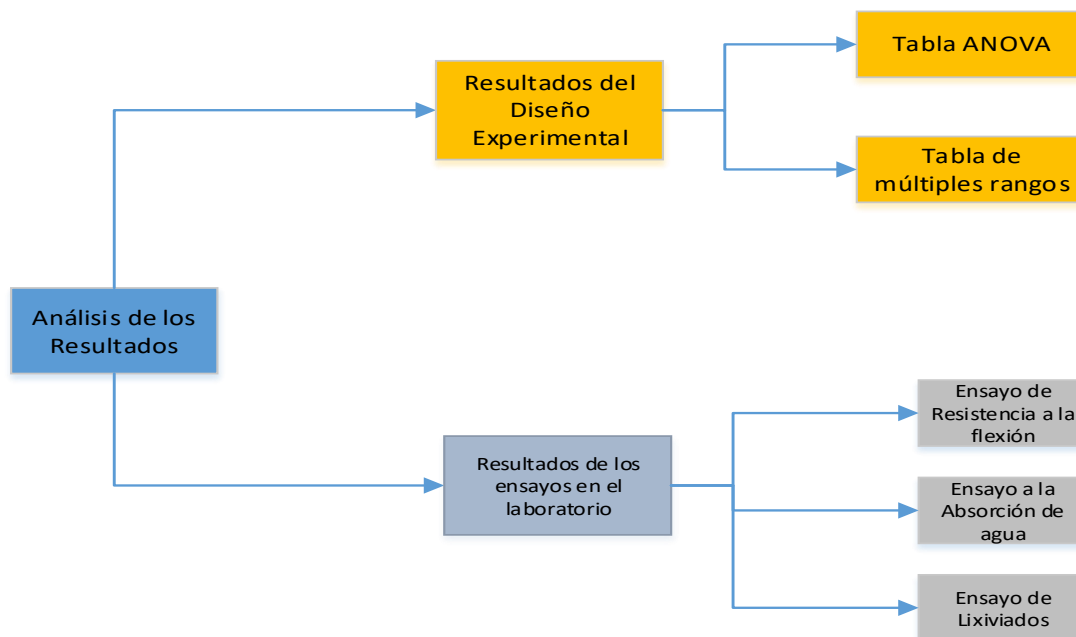
Capítulo IV

Interpretación de los resultados

Esquema de presentación de análisis y resultados

Figura 25

Esquema para el análisis de resultados



Nota. Esquema de los análisis realizados al producto de investigación.

Análisis comparativo con la caracterización inicial y final

Mediante la caracterización química en el espectrómetro de fluorescencia podemos observar que algunos metales presentes en el polvo de acería ya no están presentes o disminuyeron su concentración en el producto final teja, esto probablemente sucedió

durante el tiempo de cocción de la teja hasta los 850°C donde producto de la temperatura los minerales fundentes sufren cambios físicos y químicos en su estructura. En general las arcillas utilizadas en este trabajo tuvieron mayor composición en silicatos aluminosos Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , como son la caolinita, Illita, y la Hematita.

Tabla 15

Caracterización química de polvo de acería, arcilla vs teja

Elemento	Valor Promedio Polvo Acería (%)	Valor Promedio Arcilla Roja (%)	Valor Promedio Arcilla Blanca (%)	Valor Promedio Teja-0(%)	Valor Promedio Teja-5(%)	Valor Promedio Teja-10(%)	Valor Promedio Teja-15(%)	Valor Promedio Teja-20(%)
Al	0,7482	20,414	22,335	21,133	19,611	18,541	16,293	16,401
Fe	34,8364	17,946	8,185	13,168	16,792	17,944	20,174	21,032
S	0,6832	0,166	0,114	0,101	0,143	0,178	0,181	0,168
Si	1,739	51,185	60,283	56,157	47,101	43,02	38,883	36,127
Mg	2,0418	0,849	0,368	0,708	0,66	0,911	0,86	0,931
Cl	4,7146							
K	1,6936	4,909	6,09	4,97	4,079	3,711	3,434	3,218
Ca	4,561	1,593	0,727	1,935	1,959	2,204	2,599	2,262
Cr	0,51	0,045			0,116	0,141	0,211	0,201
Mn	3,9286	0,166	0,044	0,14	0,72	0,973	1,27	1,471
Cu	0,3308		0,048					
Zn	42,493	0,497	0,046	0,088	7,388	10,804	14,355	15,971
Cd	0,1086							
Ba	0,3448							
Pb	1,2662	0,05				0,36	0,545	0,593
Zr		0,116	0,016	0,091	0,055	0,056	0,055	0,025
V		0,09	0,056	0,065	0,058	0,038	0,051	0,054
Sr		0,046	0,025	0,033	0,035	0,033	0,033	0,031
Y		0,02	0,014	0,018				
Rb			0,045	0,001				
Ac					0,174	0,105	0,141	0,148

Nota. La tabla muestra los resultados químicos de las muestras de polvo de acería, arcilla vs las tejas los análisis fueron realizados en el laboratorio de calidad de la acería Tomado de (NOVACERO, Laboratorio de Calidad, 2019)

Resultados del diseño experimental con polvos de acería

Previo a la elaboración de las tejas con los porcentajes de polvos de acería se hizo un ensayo de prueba con porcentajes más altos de polvos de acería, para comprobar la adición del polvo en la mezcla de arcillas. Para ello se mandó a preparar un molde metálico de 30x15 x1 cm de espesor, en el cual hicimos 2 tejas con 30-40-50% en peso de polvo de acería. Sometimos las tejas a un proceso de secado simulando las condiciones de fabricación, las mismas son variables pues dependen del clima del lugar donde sean fabricadas, en este caso dejamos secar al ambiente durante 7 días, trascurrido este tiempo observamos que las muestras no tenían problema de adherencia, no se desarmaron lo que si hubo es un cambio brusco en la coloración, luego se sometió las tejas a cocción hasta los 850°C, observando problemas de roturas, deformación, por lo que decidimos bajar los niveles de concentración para 0%- 5-10-15-20% en peso de polvo de acería para la fabricación de las tejas y evaluar mediante un diseño experimental completamente al azar (DCA) cuál de los niveles es el más idóneo para la fabricación de las tejas, Los resultados fueron analizados mediante un análisis ANOVA en el software estadístico STATGRAPHICS.

Análisis de resultados de Ensayos a la flexión mediante STATGRAPHICS.

El programa Statgraphics es un software que está diseñado para facilitar el análisis estadístico de datos. Mediante su aplicación es posible realizar análisis descriptivos de una o más variables, utilizando gráficos que expliquen su distribución o calculando sus medidas características. Entre otras prestaciones también figura el cálculo de intervalos de confianza, contrastes de hipótesis análisis de hipótesis, análisis de regresión, análisis

multivariantes y otras técnicas aplicadas en control de calidad. (UNIVERSIDAD CARLOS III MADRID)

Se consideró el factor concentración en % de polvo de acería que podría afectar a las variables dependientes como la absorción de agua y la flexión o carga máxima de rotura. De acuerdo con los datos descritos en la tabla (18) se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 16

Análisis de varianzas ANOVA para carga máxima polvo de acería

Fuente	Suma Cuadrados	de GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	18357,9	4	4589,48	2,87	0,0495
Intra grupos	31932,8	20	1596,64		
Total (Corr.)	50290,7	24			

Nota. La tabla muestra los resultados del análisis ANOVA para carga máxima con un nivel de significancia del 95%.

La tabla ANOVA descompone la varianza de Carga Máxima en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 2,87446 es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Carga Máxima entre un nivel de Polvo de acería y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

Pruebas de múltiples rangos para carga máxima por polvo de acería

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 4 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Tabla 17

Resultados de pruebas múltiples para carga máxima de polvo de acería

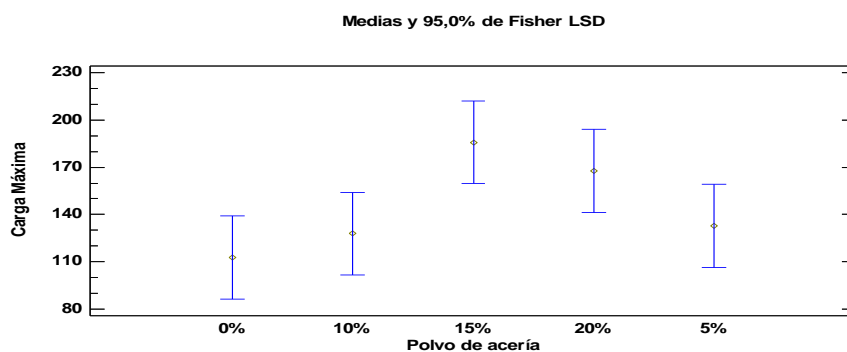
Polvo de acería	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0%	5	112,756	X
10%	5	127,754	XX
5%	5	132,656	XX
20%	5	167,576	XX
15%	5	185,902	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0% - 10%		-14,998	52,7158
0% - 15%	*	-73,146	52,7158
0% - 20%	*	-54,82	52,7158
0% - 5%		-19,9	52,7158
10% - 15%	*	-58,148	52,7158
10% - 20%		-39,822	52,7158
10% - 5%		-4,902	52,7158
15% - 20%		18,326	52,7158

Polvo de acería	Casos	Media	Grupos Homogéneos
15% - 5%	*	53,246	52,7158
20% - 5%		34,92	52,7158

Nota. El * indica una diferencia significativa entre cada tratamiento con un nivel de significancia del 95%.

Figura 26

Carga máxima aplicado a las tejas con polvo de acería



Nota. La figura indica las medias para carga máxima por cada formulación de polvos de acería para la fabricación de tejas cerámicas.

Se evaluó la carga máxima a resistir antes de la ruptura y la absorción de humedad para las tejas con las diferentes formulaciones. Para este experimento se planteó un diseño experimental completamente al azar (DCA), el factor a controlar es el porcentaje de polvo de acería presente en las tejas con 5 niveles: 0%, 5%, 10%, 15% y 20%. Las variables de respuesta fueron la carga máxima y la absorción de humedad. Los resultados de carga máxima se analizaron estadísticamente, y el análisis de varianza (ANOVA) que se presenta en la tabla (16), indica que la presencia de polvo de acería en la composición de la teja influyó significativamente sobre la carga máxima valor P ($p\text{-value} < 0,05$).

Los gráficos de medias y análisis de rangos múltiples para la carga máxima ratifican que existe diferencia significativa. De esta manera, se puede observar y evidenciar que existe diferencia de la teja sin polvo de acería con la teja cuyo contenido de polvo de acería fue del 15% y 20%. Para porcentajes de 5 y 10% no se evidencia diferencia significativa con la teja testigo. Además, entre las tejas de 15% y 20% tampoco presentan diferencia significativa para el ensayo de absorción, pero si para el ensayo de flexión.

Absorción de humedad Polvo de acería mediante STATGRAPHICS.

La tabla ANOVA descompone la varianza de Absorción de humedad en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 1,64097, es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05 no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Absorción de humedad entre un nivel de Polvo de acería y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

Tabla 18

Análisis de varianza anova para absorción de humedad por polvo de acería

Fuente	Suma Cuadrados	de GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	91,879	4	22,9698	1,64	0,2032
Intra grupos	279,953	20	13,9976		
Total (Corr.)	371,832	24			

Nota. La tabla muestra los resultados del análisis ANOVA para absorción de humedad con un nivel de significancia del 95%.

Pruebas de Múltiple Rangos para Absorción de humedad por polvo de acería.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. Se ha colocado un asterisco junto a 1 par, indicando que este par muestra diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Tabla 19

Resultados de múltiples rangos para absorción de humedad PA

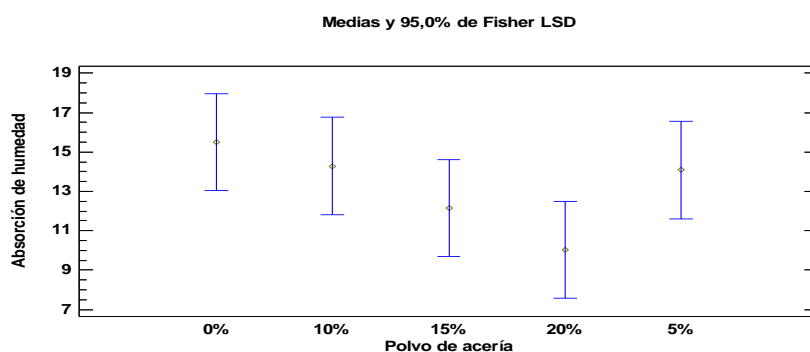
Polvo de acería	Casos	Media	Grupos Homogéneos
20%	5	10,03	X
15%	5	12,154	XX
5%	5	14,082	XX
10%	5	14,288	XX
0%	5	15,496	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0% - 10%		1,208	4,93589
0% - 15%		3,342	4,93589
0% - 20%	*	5,466	4,93589
0% - 5%		1,414	4,93589

Polvo de acería	Casos	Media	Grupos Homogéneos
10% - 15%		2,134	4,93589
10% - 20%		4,258	4,93589
10% - 5%		0,206	4,93589
15% - 20%		2,124	4,93589
15% - 5%		-1,928	4,93589
20% - 5%		-4,052	4,93589

Nota. El * indica una diferencia significativa entre cada tratamiento con un nivel de significancia del 95%.

Figura 27

Absorción de humedad tejas con polvos de acería



Nota. La figura indica las medias para absorción de humedad por cada formulación de polvos de acería para la fabricación de tejas cerámicas.

El análisis ANOVA de la variable de respuesta de absorción de humedad indica que no existe diferencia significativa entre los niveles de porcentaje de polvo de acería 0%, 5%, 10%, 15% pero si existe entre 0% y 20%. Observando el gráfico de medias se puede notar la tendencia que a mayor porcentaje de polvo de acería presente en la teja se tiene menor absorción de agua; sin embargo, estadísticamente no se tiene diferencia significativa, únicamente se tuvo diferencia significativa entre las tejas con 0 y 20% de contenido de polvo de acería.

Por lo tanto, la presencia de polvo de acería en un 20% en la composición de las tejas influyó sobre la propiedad de absorción de agua, probablemente al incremento en la cantidad de metales y a la propiedad granulométrica 1-10 micras e higroscópica del polvo haciendo que las partículas arcilla-polvo se aglomeren entre si disminuyendo la porosidad de las tejas.

Resultados de los ensayos mecánicos a la flexión de la teja en laboratorio

Los resultados del ensayo a la flexión fueron determinados de acuerdo con la Norma Técnica ecuatoriana INEN-988. Los resultados se obtuvieron al anotar la carga máxima de rotura de la teja. La longitud de apoyo donde se colocaron los apoyos de acero fue de 110 mm en cada extremo.

La tabla (20) evidencia los valores en kgf/cm² para cada teja en la cual se identifica que todas las muestras cumplen requisitos, sin embargo, la formulación con el 15% de polvo de acería obtuvo el mayor porcentaje de la media aritmética.

Tabla 20

Resultados ensayos de flexión tejas diferentes formulaciones de PA.

RESULTADOS ENSAYOS DE FLEXIÓN										
# de la Muestra	Código de la muestra	Tipo Teja	Requisitos resistencia a la Flexión Kgf	Dimensiones			AREA (cm ²)	Carga máxima (Kgf)	Promedio	Cumple requisitos Norma INEN-990
				Espesor (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)				
1	(Teja-01) 0%-PA	B	70,00	1,04	13,6 3	28,2 6	385,2 4	147,2 2	112,76	Si

RESULTADOS ENSAYOS DE FLEXIÓN										
# de la Muestra	Código de la muestra	Tipo Teja	Requisitos resistencia a la Flexión Kgf	Dimensiones			AREA (cm ²)	Carga máxima (Kgf)	Promedio	Cumple requisitos Norma INEN-990
				Espesor (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)				
2	(Teja-02) 0%-PA	B		1,03	13,39	27,81	372,36	108,78		Si
3	(Teja-03) 0%-PA	B		1,04	14,07	28,46	400,38	97,89		Si
4	(Teja-04) 0%-PA	B		1,07	13,57	28,44	385,88	101,88		Si
5	(Teja-05) 0%-PA	B		0,98	13,37	28,53	381,49	108,01		Si
1	(Teja-01) 5%-PA	B	70,00	1,03	13,23	27,56	364,70	138,19	132,656	Si
2	(Teja-02) 5%-PA	B		1,03	13,54	27,76	376,01	108,90		Si
3	(Teja-03) 5%-PA	B		1,09	14,08	28,68	403,81	156,93		Si
4	(Teja-04) 5%-PA	B		1,06	14,26	28,56	407,31	152,96		Si
5	(Teja-05) 5%-PA	B		1,04	14,07	28,46	400,38	106,30		Si
1	(Teja-04) 10%-PA	B	70,00	1,00	13,77	28,33	390,15	156,32	127,754	Si
2	(Teja-05) 10%-PA	B		1,03	13,69	27,56	377,35	126,19		Si
3	(Teja-06) 10%-PA	B		1,03	12,63	27,54	347,94	130,01		Si
4	(Teja-07) 10%-PA	B		1,07	13,47	27,96	376,55	163,67		Si
5	(Teja-08) 10%-PA	B		1,06	13,93	27,79	387,18	62,58		No
1	(Teja-03) 15%-PA	B	70,00	1,04	13,57	27,75	376,61	105,16	185,902	Si
2	(Teja-04) 15%-PA	B		1,00	13,11	27,48	360,17	156,30		Si
3	(Teja-05) 15%-PA	B		0,99	14,32	27,96	400,40	192,15		Si
4	(Teja-06) 15%-PA	B		1,01	13,70	27,78	380,64	230,21		Si
5	(Teja-07) 15%-PA	B		1,00	12,68	27,10	343,50	245,69		Si
1	(Teja-01) 20%-PA	B	70,00	0,98	13,46	27,18	365,78	154,87	167,576	Si
2	(Teja-02) 20%-PA	B		1,01	13,93	28,13	391,91	166,32		Si
3	(Teja-03) 20%-PA	B		1,00	13,34	28,24	376,86	201,22		Si
4	(Teja-06) 20%-PA	B		1,08	13,52	27,82	376,09	97,51		Si
5	(Teja-07) 20%-PA	B		0,99	12,71	27,38	347,90	217,96		Si

Nota. Resultados de los ensayos a la flexión en la máquina de tracción 600N a diferentes

concentraciones de polvo acería. Tomado de (NOVACERO, Laboratorio de Calidad, 2019).

Resultado de ensayo a la absorción de agua

Los resultados para la absorción de agua, se lo realizo mediante procedimiento de la Norma técnica Ecuatoriana INEN 989. Según los resultados obtenidos se puede evidenciar que, a mayor porcentaje de polvo de acería, hay una reducción a la absorción de humedad en la teja. Esto podría ser debido a que la granulometría del polvo de acería oscila en 1-10 μg y las arcillas utilizadas tenían un grano más grueso 0,5 a 1,4 mm aglomerándose el polvo en las juntas de la teja, serrando el tamaño del poro y reduciendo su porosidad. Todavía observamos que la formulación con el 20% obtuvo el mejor resultado, sin embargó se escogió la formulación del 15% como la mejor debido a no existir diferencia significativa apenas un 2% respecto a la media aritmética.

Tabla 21

Resultados ensayos de absorción teja diferentes formulaciones de PA

RESULTADOS ENSAYOS ABSORCIÓN DE HÚMEDAD										
Muestra	Código de la muestra		Peso Inicial (Gr)	Tipo Teja	Absorción de humedad %	Masa Peso seca gde (M1)	Masa húmeda g (M2)	Absorción de humedad %	Promedio	Cumple requisitos Norma INEN-990
1	(Teja-01) PA	0%-	845,9	B	20	845	999,7	18,31	15,5	Si
2	(Teja-02) PA	0%-	908,5	B		908,1	995,7	9,65		Si
3	(Teja-03) PA	0%-	880,9	B		880,4	1004,5	14,1		Si
4	(Teja-04) PA	0%-	880,8	B		880,5	996,31	13,15		Si
5	(Teja-05) PA	0%-	806,4	B		805,9	985,4	22,27		No
1	(Teja-01) PA	5%-	873,2	B	20	872,9	993,5	13,82	14,08	Si

RESULTADOS ENSAYOS ABSORCIÓN DE HUMEDAD										
Muestra	Código de la muestra		Peso Inicial (Gr)	Tipo Teja	Absorción de humedad %	Masa Peso seca gde masa s (g) (M1)	Masa húmeda g (M2)	Absorción de humedad %	Promedio	Cumple requisitos Norma INEN-990
2	(Teja-02) PA	5%-	856,6	B		856,2	999,2	16,7		Si
3	(Teja-03) PA	5%-	868,9	B		868,1	974,8	12,29		Si
4	(Teja-04) PA	5%-	856,6	B		855,8	992,1	15,93		Si
5	(Teja-05) PA	5%-	859,5	B		859,2	959,5	11,67		Si
1	(Teja-04) PA	10%-	863,5	B	20	863,2	925,6	7,23	14,29	Si
2	(Teja-05) PA	10%-	853,5	B		853,3	988,5	15,84		Si
3	(Teja-06) PA	10%-	824,5	B		824,4	980,2	18,9		Si
4	(Teja-07) PA	10%-	859,4	B		859,1	999,7	16,37		Si
5	(Teja-08) PA	10%-	885,5	B		885,3	1001,3	13,1		Si
1	(Teja-03) PA	15%-	867,4	B	20	867,1	986,8	13,8	12,16	Si
2	(Teja-04) PA	15%-	843,9	B		843,6	990,4	17,4		Si
3	(Teja-05) PA	15%-	850	B		849,9	922,4	8,53		Si
4	(Teja-06) PA	15%-	847,1	B		846,9	938,4	10,8		Si
5	(Teja-07) PA	15%-	847,2	B		847	933,7	10,24		Si
1	(Teja-01) PA	20%-	886,5	B	20	886,4	1008,5	13,77	10,03	Si
2	(Teja-02) PA	20%-	908,8	B		908,6	1003,2	10,41		Si
3	(Teja-03) PA	20%-	924,8	B		924,3	1001,4	8,34		Si
4	(Teja-06) PA	20%-	945,8	B		945,4	1001,1	5,89		Si
5	(Teja-07) PA	20%-	894,1	B		893,9	998,8	11,74		Si

Nota. Resultado de los ensayos a la absorción de humedad a diferentes concentraciones

de polvo acería. Tomado de (NOVACERO, Laboratorio de Calidad, 2019)

Resultados de la caracterización final de los elementos residuales.

Según los resultados emitidos por entidad acreditada para realizar ensayos de lixiviados Laboratorio de Servicios Ambientales “UNACH”, la muestra compuesta por el 15% de polvo de acería cumple con los requisitos de máximo permisible establecidos en la tabla (8) Límites de descarga al sistema de alcantarillado público para los elementos Pb, Cr, Fe, Cd y Zn en caso de lixiviar la disponibilidad de metales pesados contenidos dentro de su estructura, con estos resultados es factible implementar una metodología de reciclaje o reutilización del polvo de acería para la fabricación de tejas cerámicas aun cuando en sus elementos Pb y Cr los resultados están cerca al límite permisible de dicha norma. (ACUERDO MINISTERIAL 097 LIBRO VI, 2015)

Tabla 22

Resultados de las pruebas de lixiviación

Muestra	Determinación	Resultados (mg/l)	Límite de descarga al sistema de alcantarillado público Máximo Permisible (mg/l)	Cumplimiento
Teja #1 15%-PA	Fe	20,5	25	Si
	Pb	0.475	0,5	Si
	Cd	<0,01	0,02	Si
	Cr	0,45	0,5	Si
	Zn	5,09	10	Si

Nota. Resultado del análisis químico a los elementos residuales en laboratorio acreditado luego de obtener la teja con el 15% de polvos de acería, Tomado de (UNACH, 2019).

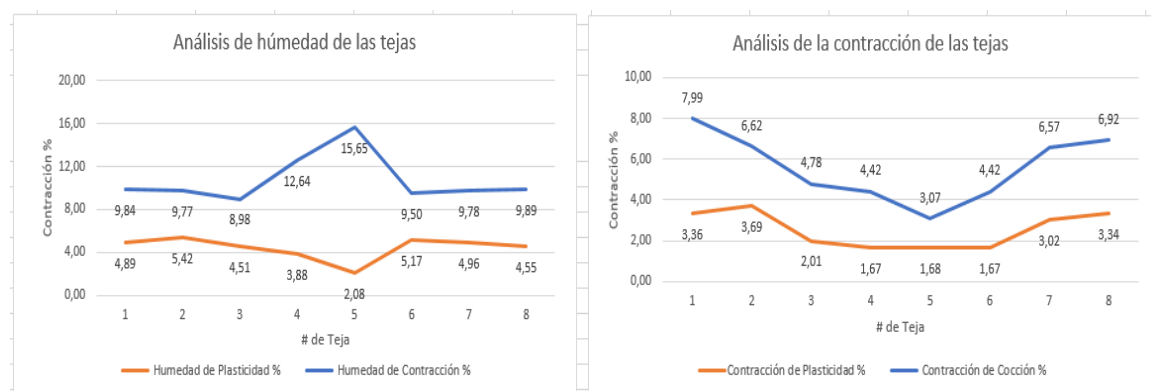
Análisis de contracción de las tejas

Todo producto elaborado con arcilla tiene la propiedad de ser refractario, es decir llegar a soportar altas temperaturas para ello se debe tener una granulometría mucho más fina para durante el proceso de cocción ésta no tenga variación y la merma de encogimiento por evaporación no sea un factor negativo para perder su plasticidad.

En la muestra 5 la humedad de contracción es mayor con el 15% y por tanto la contracción de cocción es 3.07% y de plasticidad 1.68%. Las muestras 4, 5, 6 presenta menor porcentaje de merma con 1,67%, 1.68% y 1,67% en cuanto a plasticidad, con dimensiones de 28.1 cm, 28.4 cm, 28.1cm

Figura 28

Resultados de las pruebas de plasticidad y contracción



Nota. Las muestras 4, 5, 6 presentan menor porcentaje de merma, en las tejas fabricadas con la formulación del 15% en peso de polvos de acería.

De acuerdo con el análisis granulométrico la arcilla denominada blanca tiene un coeficiente de uniformidad de 5,76 la misma según clasificación de la ASTM C136-01 sería una arena gruesa. Valores del índice de finura según ASTM C136-01. (Universidad Centroamericana, Marzo 1996).

Arena gruesa= 2,5 a 3,5

arena fina= 1,5 a 2,5

arena muy fina= 0,5 a 1,5

Las ecuaciones que definen la curva granulométrica son:

Coeficiente de uniformidad $C_u = D_{60}/D_{10}$

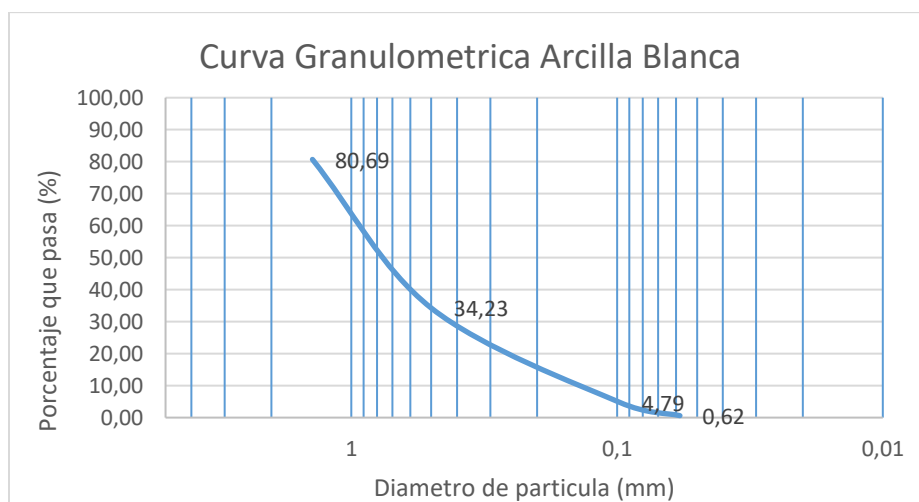
Ecuación 2

Coeficiente de curvatura $C_z = D_{30}^2 / (D_{10} * D_{60})$

Ecuación 3

Figura 29

Análisis de la curvatura granulométrica arcilla blanca



Nota. La figura indica el coeficiente de uniformidad de la arcilla blanca cuyo valor es de 5,76 mediante el ensayo del Tamiz.

Los resultados obtenidos para los valores D10, D30, D60 se obtienen de la gráfica de curva granulométrica de la arcilla blanca son:

D10 calculado grafica= 0,17

D30 calculado grafica= 0,45

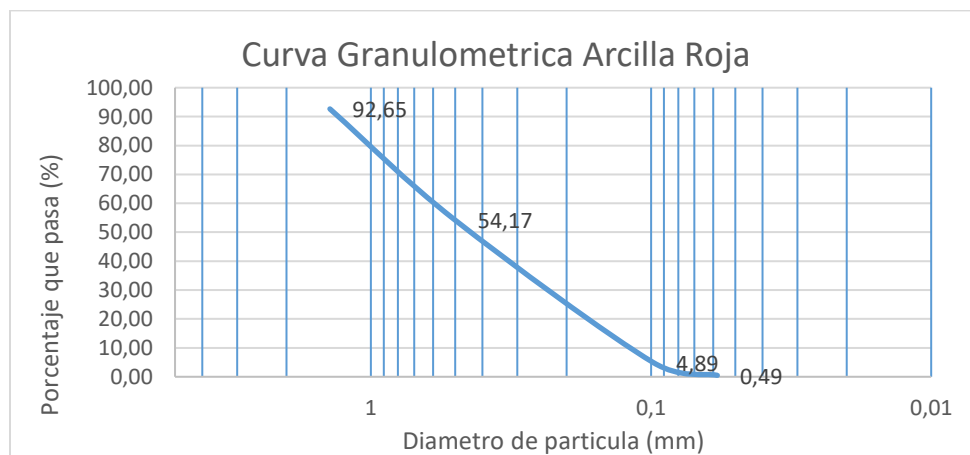
D60 calculado grafica= 0,99

Coefficiente de uniformidad = $(0,98/0,17)= 5,76$

Coefficiente de Curvatura= $0,45^2/(0,17*0,99)= 1,215$

Figura 30

Análisis de la curvatura granulométrica de la arcilla roja



Nota. La figura indica el coeficiente de uniformidad de la arcilla roja cuyo valor es de 4,28 mediante el ensayo del Tamiz.

Los resultados obtenidos para los valores D10, D30, D60 se obtienen de la gráfica de curva granulométrica de la arcilla roja y son:

D10 calculado grafica= 0,14

D30 calculado grafica= 0,25

D60 calculado grafica= 0,60

Coeficiente de uniformidad = $(0,6/0,14)= 4,28$

Coeficiente de Curvatura= $0,25^2/(0,14*0,60)= 0,744$

Los resultados obtenidos para el cálculo granulométrico de las arcillas utilizadas para la fabricación de las tejas evidenciaron que la distribución granulométrica de las arcilla blanca y roja en mayor porcentaje estuvo 0,5 y 0,098 mm y en menor porcentaje entre 1,4 y 0,058 mm.

Conclusiones

- El ecodiseño resultante en la presente investigación considera como principales aspectos ambientales la disminución de recursos (suelo-agua y energía), generando un beneficio económico y una considerable reducción al impacto sobre el medio ambiente. Los resultados arrojan que por cada teja de 1 kg fabricada con el 15% de polvo de acería se ahorra (150 gr de arcilla recurso suelo). Adicional a ello se determinó mediante diseño experimental que, a mayor contenido de polvo de acería, mayor contenido de fundentes presente en la teja. Como no se cambió la variable temperatura observamos que las tejas elaboradas con el 30-40-50% cocidas a 850°-900°C se deformaron completamente, este factor nos indicó que podríamos reducir la temperatura de sinterización para 600-650°C e ir probando con los ensayos requeridos.
- Se determinó las características físicas y químicas de la materia prima para la elaboración de teja cerámica los resultados fueron, Fe 34.83%, Zn 42.93% en mayor porcentaje, y en menores concentraciones Cr, Cd, Pb con el 0,51%, 0,10% y 1,266% en polvo de acería, y para la arcilla roja Fe 17.946%, Zn 0.497% en mayor porcentaje y en menores concentraciones 0,045% Cr, 0,05% Pb. La arcilla blanca y roja tienen coeficiente de uniformidad igual a 5, y 4,28 respectivamente catalogándolas según la norma ASTM C136-01 como una arena gruesa. El resultado del tamaño de partícula para la arcilla roja y blanca indica que en mayor porcentaje oscila entre 0,5 y 0,098 mm y en menor porcentaje entre 1,4 y 0,058 mm.
- De las 4 formulaciones realizadas la formulación al 15% en peso de polvo de acería dio los mejores resultados de Absorción, cuya media aritmética fue de 12,16%, las

tejas que fueron fabricadas 100% arcilla arrojaron un resultado promedio de 15,50% teniendo un margen del 3% de diferencia y de un 8% más para cumplimiento de la norma que expresa una humedad máxima de 20%. Los ensayos de resistencia de flexión de la teja tipo B (Teja plana) fue de 185.9 kgf/cm² la norma indica que debe tener 70 kgf/cm² promedio de 5 tejas, en ambos ensayos la teja fabricada con el 15% polvo de acería cumple la NORMA INEN 990. En cuanto al análisis de lixiviados los parámetros analizados en el laboratorio acreditado de Servicios Ambientales de la UNACH arrojaron los siguientes resultados Fe 20.52 mg/l, Cr con 0,45 mg/l, Cd 0.013 mg/l, Pb con el 0.475 mg/l, y Zn 5.1 mg/l, los mismos que cumplen con los límites máximo permisibles para descarga al sistema de alcantarillado público en la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes ACUERDO MINISTERIAL 097(A).

- Del total de 40 ton/mes reportadas en el manifiesto único de la empresa, se puede aprovechar 6 ton del residuo como materia prima reciclada en la fabricación de tejas cerámicas. Con esto se obtiene 12000 USD de beneficio económico al mes que la empresa dejaría de pagar por la gestión del polvo, costo que llegaría al valor de 144.000 dólares que corresponde a 72 ton de residuo aprovechado anualmente.
- Como valor agregado se hizo un vidriado de la teja a fin de mantener la calidad de está impidiendo que la porosidad de la teja aumente con el paso del tiempo, garantizando con ello una impermeabilidad, con esto esperamos lograr un tiempo de vida útil de 50-60 años.

Recomendaciones

- Si se implementará esta propuesta de reusó del polvo de acería para fabricar tejas, se recomienda con mucha importancia generar un inventario de ciclo de vida (ICV) a fin de cuantificar todos los consumos de materias primas, energía y las emisiones a la atmosfera vertidos al agua. A fin de evaluar la carga medioambiental derivado de todos los procesos de fabricación.
- Se recomienda realizar más estudios en la que se involucren el uso de mayor porcentaje de uso de polvo de acería por ejemplo en la fabricación de ladrillos cerámicos, puesto que los mismos no estarían expuestos a las condiciones ambientales de humedad como las tejas cerámicas.
- Se recomienda estudiar el uso de polvo de acería en la producción de otros materiales no cerámicos, como en la fabricación de cementos y morteros para la construcción, abriendo de esta forma un nuevo campo de aplicación para este residuo proveniente de la industria siderúrgica debido a que en nuestro país se cuenta con volúmenes altos de generación de este residuo.

1 Bibliografía

- ACUERDO MINISTERIAL 097 LIBRO VI, A. I. (6 de Noviembre de 2015). Norma de calidad ambiental y de descarga de efluente: Recurso Agua. *Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente*. Quito, Chimborazo, Ecuador.
- Acuerdo-142. (Septiembre-2012). *Listado Nacional de Desechos Peligrosos, Anexo B, Listado 1, Desechos Peligrosos por fuente específica*. Quito.
- Alvarez. (2010). *Hasta el humo se reutiliza*. Obtenido de <http://www.vistazo.com/ea/especiales/imprimir.php?>
- Asamblea, N. (2018). *Constitución del Ecuador*. Obtenido de <http://www.asambleanacional.gov.ec/documentos/Constitucion-2008>.
- C. Espinoza, E. d. (ENERO 2014). Recuperación de Zn de Polvos de Acería por Lixiviación con H₂SO₄ y HCL, electrodeposición electrolítica y bi-electrolítica. *Escuel Politécnica Nacional. Vol.33, 1-6*.
- Castells. (8 de Diciembre de 2018). *Resiclaje de Residuos Industriales. Aplicacion a la fabricacion de Materiales para la Construcción*. Obtenido de <https://www.significados.com/industria-metalurgica/> Consultado
- Construmatica. (5 de Septiembre de 2019). *Tipos de Tejas*. Obtenido de https://www.construmatica.com/construpedia/Teja_Cer%C3%A1mica._Tipos_y_Formatos
- FJ, O. (2000). Manual practico de Ecodiseno. *Departamento de Ordenacion del territorio, Vivienda y Medio Ambiente*.
- Gerdau. (20 de Noviembre de 2012). *Demanda mundial a acero tocará récord el 2012*. Obtenido de <http://www.gerdau.cl/demanda-mundial-de-acerotocara-record-el-2012/>

- Granja, S. N. (2018). Utilización de Escoria y Polvo de Acería en la Producción de Bloques. *Escuela Politécnica Nacional*.
- INEN. (2 de Julio de 2015). Tejas cerámicas. Definiciones. Clasificación y Condiciones generales . *INEN 986*. Quito, Chimborazo, Ecuador.
- INEN. (990 1982-12). Tejas Ceramicas. Requisitos. *INEN 990*. Quito, Ecuador.
- José, F. (1962). Platicidad de las arcillas. *Departamento de Silicatos del Patronato "Juan de la Cierva" La Investigacion Técnica*.
- L.A. DÍAZ RODRÍGUEZ, R. T. (2002). Arcillas cerámicas. *Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidrio*, 59.
- Mejía, N. (12 de Junio de 2013). *SlideShare*. Obtenido de https://es.slideshare.net/mauricio_05_10/trabajo-de-geo-22874355
- Moreno, A. R. (2001). *Reciclado de Polvo de Acería*. Obtenido de https://issuu.com/antonioros/docs/reciclado_de_polvos_de_acer__as____:
https://issuu.com/antonioros/docs/reciclado_de_polvos_de_acer__as____
- NOVACERO. (2018). *Método de operaciones y manejo del software de espectrómetro de Rayos X EDX-720*. Latacunga.
- NOVACERO. (2019). *Laboratorio de Calidad*. Latacunga.
- Ramon, Gustavo. (s.f.). Diseños experimentales. *Curso Seminario Investigativo*, (pág. 38). Antioquia Colombia.
- Rincon, J. M. (24 de Noviembre de 2011). *Residuos industriales como recursos para producción de materiales ceramicos i vitreos*. Obtenido de http://www.aecientificos.es/empresas/aecientificos/documentos/residuos_industriales_jmarincon.pdf
- Stillier, H. (Noviembre, 2000). *Manula Práctico de Ecodiseño*. Vasco: Sociedad Pública Gestión Ambietal .

Takano. (2009).

Tamayo, W. B. (2015). Obtencion de las pasta de Acople de Vidrio que no libere Plomo para elaborar tejas artesanalaes usando horno de Tiro Invertido. *Universidad de Cuenca*, 17-29.

UNACH. (2019). *Laboratorio de Servicios Ambientales*. Riobamba.

Universidad Carlos III de Madrid Curso formación de Estadística CHEMO Manual de STATGRAPHICS Introducción y manejo de Datos.

Universidad Centroamericana Jose Simeón Cañas, Departamento de Mecánica Estructural El Salvador. América Central.

Anexos