RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Bladys Alberto Caamaño Suarez Stawar Steiver Barbosa Cardozo
FACULTAD	**Ingenierías**
PLAN DE ESTUDIOS	**Ingeniería civil**
DIRECTOR	Haidee Yulady Jaramillo
TÍTULO DE LA TESIS	Desarrollo de baldosas elaboradas con arcilla y residuos de plástico de polietileno de alta densidad (PEAD) reciclado.
TITULO EN INGLES	Development of tiles made from clay and recycled high-density polyethylene (HDPE) plastic waste.

RESUMEN
(70 palabras)

La presente investigación tiene como objetivo el desarrollo de baldosas en arcilla con la incorporación de polietileno de alta densidad (PEAD) de origen reciclado, mediante un análisis físico-mecánico de sus características a través de ensayos de laboratorio. Que permitió obtener la información necesaria para realizar el respectivo análisis comparativo con normatividad vigente. Así mismo, con las baldosas actualmente establecidas en el mercado.

RESUMEN EN INGLES

The objective of this research is to study clay tiles with the incorporation of high-density polyethylene (HDPE) of recycled origin, through a physical-mechanical analysis of the characteristics through laboratory tests. This allowed obtaining the necessary information to carry out the respective comparative analysis with current regulations. Likewise, with the tiles currently established in the market.

PALABRAS CLAVES	Baldosas cerámicas, Arcilla, Polietileno de alta densidad, PEAD, Plástico, Incorporación, Materiales sostenibles.
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Ceramic tiles, Clay, High-density polyethylene, HDPE, Plastic, Incorporation, Sustainable materials.

CARACTERÍSTICAS

PÁGINAS: 96	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES: 40	CD-ROM: 0

Desarrollo de baldosas elaboradas con arcilla y residuos de plástico de polietileno de alta densidad (PEAD) reciclado.

Bladys Alberto Caamaño Suárez

Stawar Steiver Barbosa Cardozo

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña

Ingeniería Civil

Ing. Mcs. Haidee Yulady Jaramillo

Ing. Esp. Leandro Ovallos Manosalva

Junio de 2024

Índice

Capítulo 1. Desarrollo de baldosas elaboradas con arcilla y residuos de plástico de polietileno de alta densidad (PEAD) reciclado. 8

1.1. Planteamiento del Problema 8

1.2. Formulación del Problema 10

1.3. Objetivos de investigación 10

1.3.1. Objetivo General. 10

1.3.2. Objetivos Específicos. 11

1.4. Justificación 11

1.5. Delimitaciones 12

1.5.1. Delimitación Geográfica 12

1.5.2. Delimitación Temporal 13

1.5.3. Delimitación conceptual 13

1.5.4. Delimitación Operativa 13

Capítulo 2. Marco Referencial 15

2.1 Marco Histórico 15

2.1.1 Antecedentes 15

2.2 Marco conceptual 18

2.2.1 Baldosa Cerámica 18

2.2.2 Tipos de baldosas cerámicas 19

2.2.3 Arcillas 23

2.2.4 Clasificación de arcillas 23

2.2.5 Propiedades fisicoquímicas de las arcillas 24

2.2.6 Polietileno de alta densidad (PEAD) 26

2.2.7 Reciclaje de polietileno de alta densidad (PEAD) 27

2.3 Marco Contextual 29

2.4 Marco teórico 31

2.4.1 Proceso de fabricación de baldosas cerámicas 31

2.4.2 Fragilidad 32

2.4.3 Módulo de elasticidad 32

2.4.4 Fractura de materiales cerámicos 33

2.4.5 Evaluación de propiedades físico-mecánicas en baldosas 33

2.4 Marco legal 36

Capítulo 3. Diseño metodológico 40

3.1 Tipo de Investigación 40

3.2 Población y muestra. 40

3.2.1 Población 40

3.2.2 Muestra 41

3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de información 41

3.4 Análisis de información 42

Capítulo 4. Desarrollo experimental y análisis de resultados. 44

4.1 Elaborar muestras de baldosas en arcilla con diferentes porcentajes de incorporación de polietileno de alta densidad (PEAD) de origen reciclado. 44

4.1.1 Granulometría de la arcilla 44

4.1.2 Límites de Atterberg. 47

4.1.3 Gravedad especifica. 51

4.1.4 Elaboración de baldosas en arcilla 53

4.2 Determinar las propiedades físico-mecánicas de las baldosas elaboradas en arcilla y con incorporación de polietileno de alta densidad (PEAD) de origen reciclado, mediante ensayos de laboratorio para verificar su resistencia con respecto a la normatividad vigente. 59

4.2.1 Determinación de la absorción de agua en baldosas cerámicas. NTC 4321-3 (2021-06-16), ISO 10545-3:2018. 60

4.2.2 Determinación de la resistencia a la abrasión profunda en baldosas cerámicas no esmaltadas NTC 4321-6:2015, ISO 10545-6:2012. 64

4.2.3 Determinación del módulo de rotura y la resistencia a la flexión en baldosas cerámicas NTC 4321-4 (2020-01-29), ISO 10545-4:2019. 69

4.3 Comparar las características físico-mecánicas, de las baldosas elaboradas con arcilla y polietileno de alta densidad (PEAD) reciclado y las baldosas comercialmente disponibles en el mercado. 73

5 Conclusiones 78

6 Recomendaciones 80

Referencias 81

Apéndices 89

Lista de tablas

Tabla 1 Propiedades del polietileno de alta densidad virgen vs reciclado. 29

Tabla 2 Variables que intervienen en la investigación. 43

Tabla 3 Granulometría de la arcilla. 46

Tabla 4 Resultados de los Límites de Atterberg. 50

Tabla 5 Resultados de gravedad especifica y % Absorción. 53

Tabla 6 Cantidades de material para cada baldosa. 56

Lista de figuras

Figura 1 Esquema de baldosa en Azulejo. 20

Figura 2 Esquema baldosa de gres esmaltada. 20

Figura 3 Esquema baldosa de gres porcelánico. 21

Figura 4 Esquema de baldosín catalán. 21

Figura 5 Esquema baldosa de gres rustico. 22

Figura 6 Esquema de baldosa en barro cocido. 22

Figura 7 Clasificación de arcillas según su origen. 24

Figura 8 Fases de encogimiento en las arcillas. 26

Figura 9 Símbolo de identificación de Polietileno de alta densidad. 27

Figura 10 Ubicación Cerámicos y agroindustriales San Luis en Ocaña Norte de Santander. 30

Figura 11 Ubicación Universidad Francisco de Paula Santander 30

Figura 12 Diagrama de procesos de fabricación de baldosas. 32

Figura 13 Ensayo de absorción de agua. 34

Figura 14 Ensayo de resistencia al impacto. 35

Figura 15 Ensayo de resistencia a la flexión. 35

Figura 16 Ensayo de caracterización de la arcilla. 45

Figura 17 Curva granulométrica de la arcilla. 47

Figura 18 Ensayo de Limite Liquido. 48

Figura 19 Ensayo de Limite Plastico (LP). 49

Figura 20 Grafica limite líquido. 51

Figura 21 Ensayo de Gravedad especifica. 52

Figura 22 Prensa hidráulica y moldes para la elaboración de la baldosa. 55

Figura 23 Mezcla materiales: arcilla y PEAD. 56

Figura 24 Fabricación de baldosas. 57

Figura 25 Baldosas con diferentes porcentajes. 58

Figura 26 Horno y baldosas. 59

Figura 27 Determinar la cantidad de especímenes. Ensayo de absorción. 60

Figura 28 Determinación de la absorción de agua en baldosas cerámicas. 62

Figura 29 Absorción de agua en baldosas cerámicas. 63

Figura 30 Clasificación de las baldosas, según su porcentaje de absorción de agua. 64

Figura 31 Máquina de desgaste para abrasión de baldosas. 65

Figura 32 Diagrama esquemático del equipo de abrasión profunda. 66

Figura 33 Ensayo de abrasión. 67

Figura 34 Resultados del ensayo de abrasión en cerámicas no esmaltadas. 68

Figura 35 Tabla de valores equivalente en el ensayo de abrasión según la NTC 4321-6. 69

Figura 36 Número de especímenes de ensayo para baldosas con espesor mayor a 7,5 mm. 70

Figura 37 Traslape de baldosas sobre las barras de soporte. 71

Figura 38 Determinación del módulo de rotura y resistencia a la flexión en baldosas cerámicas. 71

Figura 39 Resultados del ensayo de módulo de rotura y resistencia a la flexión en baldosas cerámicas. . 72

Figura 40 Comparación entre la baldosa de Arcilla y PEAD, Tablón de gres y New tablón tradición rojo. 75

Capítulo 1. Desarrollo de baldosas elaboradas con arcilla y residuos de plástico de polietileno de alta densidad (PEAD) reciclado.

1.1. Planteamiento del Problema

El hombre, en la búsqueda del desarrollo de ciudades y la industria, ha acrecentado la cantidad de residuos sólidos que genera, que sumado a la poca conciencia sobre dicha situación fortalece el problema ambiental que se vive hoy en día, debido a que los desechos son mucho más de lo que se pueden manejar a través del reciclado y compostaje. Esto trae consigo la contaminación de las fuentes hídricas y ecosistemas; también se presenta la obstrucción de drenajes, inundaciones y la afectación de la salud humana.

Un 85 % de los residuos que llegan a los océanos equivalen a plásticos, expuso el programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente en su informe presentado en el 2021 (PNUMA, 2021). Por lo tanto, la contaminación por plásticos constituye un gran problema para la humanidad, dado que principalmente a la linealidad de su consumo y a problemas en los sistemas de gestión generan que este producto al final de su uso llegue hacia los ecosistemas.

Puesto que, a diferencia de lo orgánico que su descomposición termina en integración y sirviendo de nutrientes, el plástico se degrada en pequeñas partes que pueden durar cientos de años contaminando (Greenpace, 2018).

El modelo lineal de tomar, hacer y tirar, se contrarresta con una economía circular, que constituye un concepto que ha tomado relevancia en los últimos años en algunos países, ante la necesidad de estrategias que buscan proteger el medio ambiente, prevenir la contaminación del mismo que no se afecte la cadena de producción de bienes y servicios; todo enmarcado en un desarrollo sostenible (Prieto Sandoval et al., 2017). En Colombia, el usar y tirar está dentro de su cultura, por lo que se ha estado impulsando con políticas ambientales el uso racionado de los plásticos; sin embargo, en muchas ciudades del país se puede evidenciar botellas, bolsas, tapas, embalajes, tirados en las calles, lotes baldíos, y en fuentes hídricas. Siendo una situación que no es ajena en Ocaña, Norte de Santander.

Por otra parte, es de gran importancia resaltar que la cerámica en el ámbito de la construcción se ha convertido en un material indispensable, ya que, este genera un impacto visual favorable en la obra ejecutada, y conlleva a diversas ventajas como lo son la baja densidad, el buen comportamiento a la corrosión, excelentes características mecánicas, bajo nivel de mantenimiento entre otras. (Polímeros y Cerámicos, s.f.).

Sin embargo, las significativas emisiones atmosféricas derivadas del transporte y manipulación de materias primas son muy dañinas para el medio ambiente y para los trabajadores que intervienen en el proceso productivo. Igualmente, ocurre durante el secado y la cocción, en los que intervienen muchos compuestos gaseosos que pueden volatilizarse. De igual manera, el proceso del esmaltado de piezas cerámicas y el gas del horno son el posible génesis de la manifestación de metales pesados y sustancias tóxicas. Adicionalmente, esta fabricación también se desprende flúor y óxidos. (Comunicación, 2016).

Teniendo en cuenta lo anterior, la implementación de un enfoque sostenible es fundamental en el ejercicio de la ingeniería civil, ya que, la producción de desechos y la modificación de los ecosistemas por la misma es elevado. Es por ello que, con la reutilización del plástico, empleándolo para la elaboración de elementos constructivos o arquitectónicos, buscacon ello que la ingeniería tenga ese enfoque de investigación que ayuda a mitigar el impacto ambiental.

Finalmente se propone la reutilización del polietileno de alta densidad empleándolo para la elaboración de elementos arquitectónicos como pisos, aportando a la construcción sostenible a partir de la reutilización del plástico.

1.2. Formulación del Problema

¿Cuál es la dosificación apropiada para la elaboración de baldosas de arcilla con residuos de polietileno de alta densidad (PEAD) reciclado?

1.3. Objetivos de investigación

1.3.1. Objetivo General.

Desarrollar baldosas de arcilla con la incorporación de polietileno de alta densidad

(PEAD) de origen reciclado para caracterizar sus propiedades físico-mecánicas.

1.3.2. Objetivos Específicos.

Elaborar muestras de baldosas en arcilla con diferentes porcentajes de incorporación de polietileno de alta densidad (PEAD) de origen reciclado.

Determinar las propiedades físico-mecánicas de las baldosas elaboradas en arcilla y con incorporación de polietileno de alta densidad (PEAD) de origen reciclado, mediante ensayos de laboratorio para verificar su resistencia con respecto a la normatividad vigente.

Comparar las características físico-mecánicas, de las baldosas elaboradas con arcilla y polietileno de alta densidad (PEAD) reciclado y las baldosas comercialmente disponibles en el mercado.

1.4. Justificación

El plástico es un material fundamental en varios escenarios de la vida. Constituye un elemento que debido a sus propiedades y versatilidad se empezó usar masivamente en el mundo; situación que ha traído consigo la “inundación” del planeta y que se ha vuelto incontrolable y difícil de cambiar, debido a su duración en degradarse y a lo imprescindible para el diario vivir.

Aunque es un material que ha beneficiado a las sociedades contemporáneas, debido a sus

características, su uso sin conciencia ha provoca ser uno de los mayores problemas ambientales de hoy en día y para un futuro (Osorio, 2020). El reciclaje se ha convertido en la forma en que la humanidad ha tomado conciencia de la situación ambiental producto de sus desechos. Este se ha vuelto relevante en los últimos años y los países buscan a través de ese proceso disminuir el impacto que generan los residuos, y en especial los plásticos, a través de la reutilización de forma industrial como materiales en sus procesos o en los hogares para elementos decorativos o artesanales.

Dentro de los plásticos, el polietileno de alta densidad o PEAD debido a su gran resistencia, durabilidad y soportar altas temperaturas, es empleado en la elaboración de tuberías, envases, sillas, tapas, entre otros elementos. Por lo tanto, se quiere establecer como objetivo, el estudio de este material (PEAD) mediante su reutilización y empleo como materia prima en la elaboración de baldosas plásticas. En la que se busca realizar ensayos y de esta forma determinar sus características y propiedades, que permitan hacer un análisis comparativo de las condiciones físico-mecánicas del prototipo con las baldosas existente en el mercado. De igual forma, se busca conseguir una solución al uso de este plástico desechado y así establecer un modo de disminuir la contaminación que generan al no tener una disposición final adecuada.

1.5. Delimitaciones

1.5.1. Delimitación Geográfica

El proyecto se ejecutará en las instalaciones de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, ubicada en el municipio de Ocaña, Norte de Santander.

1.5.2. Delimitación Temporal

El proyecto comprende un periodo de 4 meses, contados a partir de la fecha de aprobación del anteproyecto.

1.5.3. Delimitación conceptual

Los términos que se desarrollaran en este proyecto son los siguientes: polietileno de alta densidad (PEAD), cerámica, normas técnicas colombianas, normas ISO, elementos no estructurales, ensayos experimentales, baldosas, entre otros.

1.5.4. Delimitación Operativa

Para el desarrollo de la investigación, inicialmente se elaboraron baldosas en Arcilla con residuos de polietileno de alta densidad reciclado, en donde la arcilla se obtiene de Cerámicos y agroindustriales San Luis S.A.S, ubicado en la ciudad de Ocaña, Norte de Santander, y el polietileno de alta densidad totalmente reciclado en forma de triturado. Para la elaboración de las baldosas con plástico reciclado para ensayar en laboratorio, se realizan tres (3) baldosa sin incorporación de plástico, y doce (12) baldosas con incorporación de plástico en los porcentajes de 3 %, 5 %, 10 % y 15 %, tres (3), respectivamente.

Posteriormente, se realizan ensayos de laboratorios, para conocer las propiedades físico-mecánicas de las diferentes muestras con incorporación de plástico realizadas, así como a las muestras sin plástico reciclado, en donde por último se realiza un análisis comparativo de las características de productividad e impacto ambiental de las baldosas desarrolladas, con relación a las baldosas comercialmente disponibles en el mercado.

Capítulo 2. Marco Referencial

2.1 Marco Histórico

2.1.1 Antecedentes

Según los antecedentes relacionados en la fabricación de baldosas con materiales sostenibles, a nivel mundial, es importante mencionar la investigación realizada por Qibin et al. (2022), la cual se titula “Aprovechamiento de cenizas volantes convertidas en energía en baldosas cerámicas” y consiste en el uso de las cenizas volantes que son un residuo generado por la quema de carbón y su disposición final es un problema ambiental, por lo cual en esta investigación, debido a la cantidad de óxidos metálicos que contienen las cenizas, se aprovecha como materia prima para la fabricación de baldosas, en donde se obtiene como resultado al evaluación de las propiedades fisco mecánicas y térmicas de las baldosas ensayadas.

Con relación a la fabricación de baldosas cerámicas, a nivel industrial se generan muchos residuos y desperdicios en los procesos de fabricación, razón por la cual en la investigación realizada por Zanelli et al. (2021), se evalúan diferentes tipos de residuos, como cenizas volantes, lodos de depuradora, residuos de vidrio, plásticos y otros materiales, para determinar su idoneidad en la producción de baldosas cerámicas, en donde el principal objetivo de la investigación es reducir el impacto ambiental de la industria cerámica y promover la sostenibilidad.

Con respecto al aprovechamiento de los residuos de la minería en la fabricación de baldosas, se menciona la investigación realizada por Almeida et al. (2021), la cual evalúa los residuos de la minería industrial como materia prima para la fabricación de baldosas cerámicas, estudiando las propiedades físicas, mecánicas y estéticas de las baldosas cerámicas producidas, obteniendo como resultado que las baldosas fabricadas con residuos de la minería, tienen propiedades similares a las baldosas cerámicas convencionales.

Como parte de los antecedentes a nivel internacional, es importante mencionar el trabajo de grado realizado por Delgado et al. (2020), titulado “Fabricación de baldosas a base de plástico reciclado”, el cual se desarrolla en la Ciudad de Lima Perú, y consiste en la fabricación de baldosas de plástico reciclado constituidas de 80% plástico reciclado y 20% sílice, las cual, mediante un proceso industrial, se fabrica la baldosa reciclada, que mantiene las propiedades físico mecánicas de las baldosas convencionales, contribuyendo con el medio ambiente.

Con relación a la implementación de PEAD reciclado para la fabricación de baldosas en arcillas, vale la pena mencionar el trabajo realizado por Días y Sánchez (2019), en donde realizan el estudio y los ensayos necesarios, para la implementación de plástico reciclado en la fabricación de ladrillos artesanales en arcilla, el cual muestra un proceso de fabricación similar al contemplado en la presente investigación, evaluando las condiciones del plástico reciclado mezclado con arcilla sometido a altas temperaturas, obteniendo así distintos valores de resistencia de acuerdo a los ensayos realizados aplicados a ladrillos, obteniendo como resultado una pequeña variación en los valores de resistencia a la compresión.

Por otra parte, en lo que concierne a los antecedentes a nivel nacional, es importante resaltar la investigación realizada por Arciniegas y Muñoz (2017), la cual se Titula “Propuesta para la elaboración de baldosas artesanales tipo cerámica adicionando calamina, en la empresa Alambre y Mallas S.A.-ALMASA”. Esta investigación consiste en el uso de calamina suministrado por la empresa Alambre y Mallas S.A, para la fabricación de baldosas artesanalesde arcilla, en donde se obtiene como resultado, que el porcentaje de inclusión de la calamina óptimo para la fabricación de baldosas es del 3%, mejorando la calidad de las baldosas, aumentando su resistencia y reduciendo su porosidad.

Otra investigación a nivel nacional que se relaciona con el tema de estudio es la realizada por Sanclemente M. (2020), en donde efectúa un estudio para la creación de una empresa que fabrique baldosas a partir de residuos sólidos urbanos, con el fin de contribuir al cuidado del medio ambiente y generar un negocio rentable. Como parte de la investigación, se identifican los residuos sólidos urbanos que pueden ser aprovechables en la fabricación de baldosas, como lo es el plástico reciclado, aserrín, entre otros. Esta investigación no contempla el ensayo de muestras.

Según la investigación realizada por Araque et al. (2015), estudia el comportamiento mecánico de baldosas cerámicas de arcilla roja recubiertas con una capa de alúmina mediante proyección térmica, en donde evalúa mediante ensayos de laboratorio, la resistencia a la flexión, dureza y la resistencia al desgaste de las baldosas recubiertas con alúmina en comparación con las baldosas sin recubrimiento, obteniendo como resultado que el recubrimiento de alúmina mejora significativamente la resistencia a la flexión, la dureza y la resistencia al desgaste de las baldosas cerámicas de arcilla roja.

Con relación a los antecedentes de nivel local, se menciona el trabajo de pregrado realizado por Madariaga y Robles (2018), el cual se titula “Caracterización de las propiedades físico-mecánica del concreto reforzado con adición de fibra de polipropileno en viga”, el cual consiste en la adición de fibra de plástico reciclado con diferentes porcentajes de inclusión en la elaboración de especímenes de vigas en concreto, en donde se obtiene como resultado que la viga con mejor comportamiento a flexión es la que contiene el porcentaje de 6 Kg/m3 de fibra de plástico reciclado.

Por lo anterior, a pesar de que existen investigaciones similares, al objeto de estudio del presente proyecto, no existe un estudio especifico, que evalué los porcentajes de inclusión de plástico en la fabricación de baldosas convencionales de arcilla. Por consiguiente, por medio dela presente investigación se contribuye al uso de plástico reciclado en la fabricación de baldosas cerámicas.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Baldosa Cerámica

Las baldosas cerámicas, son elementos arquitectónicos que sirven de recubrimiento para pisos, según las normas ISO, las baldosas cerámicas son placas de poco grosor, las cuales por lo general se utilizan para el revestimiento de suelos y paredes. Las baldosas cerámicas se componen de arcillas y otras materias primas inorgánicas, las cuales son sometidas a molienda,

amasado, secado y cocción, para adquirir las propiedades requeridas de modo estable. (Restrepo O., 2011)

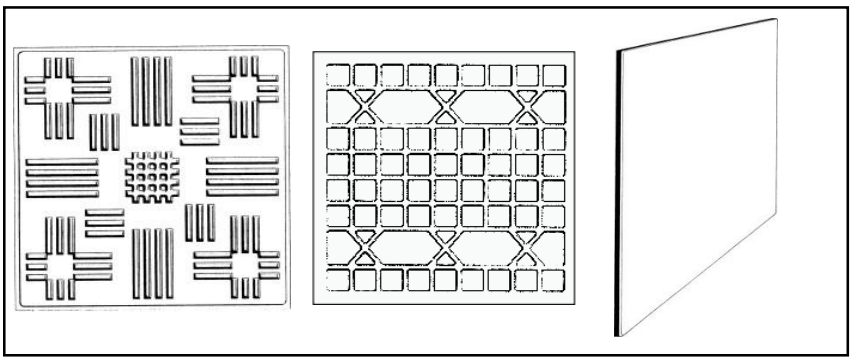
2.2.2 Tipos de baldosas cerámicas

Los tipos de baldosas cerámicas se pueden clasificar, de acuerdo con la materia prima (baldosas de pasta roja o pasta blanca), modelado (baldosas extruidas o prensadas), cocción (baldosas de monococción o bicocción), aplicación de esmalte (baldosas esmaltadas o no esmaltadas), tratamientos mecánicos (baldosas pulidas, rectificadas y/o obtenidas por corte hidráulico) y según su uso (revestimiento cerámico, pavimento cerámico, fachadas cerámicas y/o baldosas especiales). A continuación, se relacionan los principales tipos de baldosas cerámicas más conocidos comercialmente:

2.2.2.1 Baldosa de Azulejo. Son baldosas cerámicas con absorción de agua alta, prensadas en seco, esmaltadas y fabricadas por bicocción o monococción, la cual tiene una cara cubierta por un esmalte vitrificado. Sus formas son generalmente cuadradas y rectangulares y su rango de medidas va de 10 x 10 cm hasta 60 x 60 cm. (Restrepo O., 2011). Ver figura 1.

Figura 1

Esquema de baldosa en Azulejo.

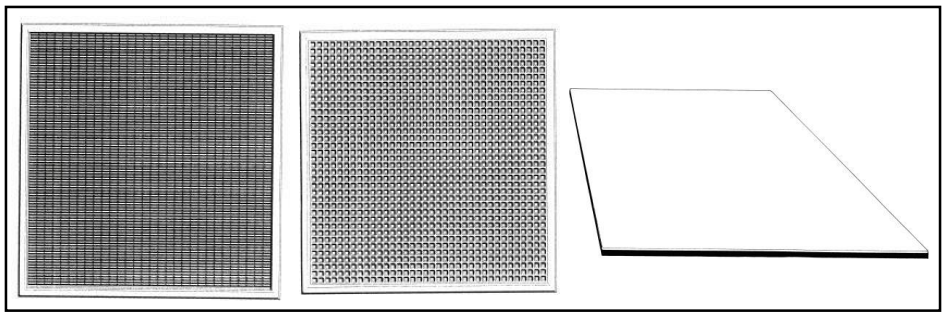


Nota. Recuperado de Instituto Valenciano de la Edificación (s.f.)

2.2.2.2 Baldosa de gres esmaltado. Son baldosas cerámicas con absorción de agua baja,prensadas en seco, esmaltadas y fabricadas por monococción, presentan alta resistencia a la abrasión, y pueden usarse como revestimiento de fachadas y suelos exteriores. (Abellán et al. 2016). Ver figura 2.

Figura 2

Esquema baldosa de gres esmaltada.

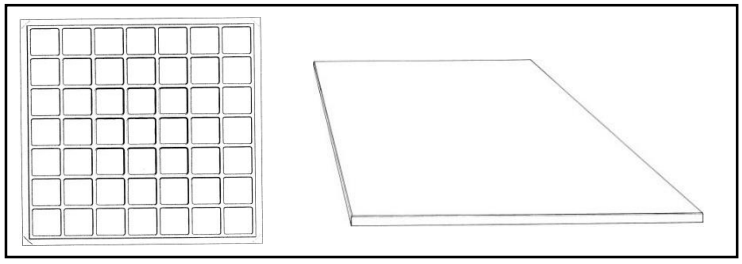


Nota. Tomado de Instituto Valenciano de la Edificación (s.f.)

2.2.2.3 Baldosa de gres porcelánico. Son baldosas cerámicas con un bajo nivel de absorción de agua, prensadas en seco, no esmaltadas y sometidas a una única cocción y es usada para pisos exteriores y fachadas. Ver figura 3.

Figura 3

Esquema baldosa de gres porcelánico.

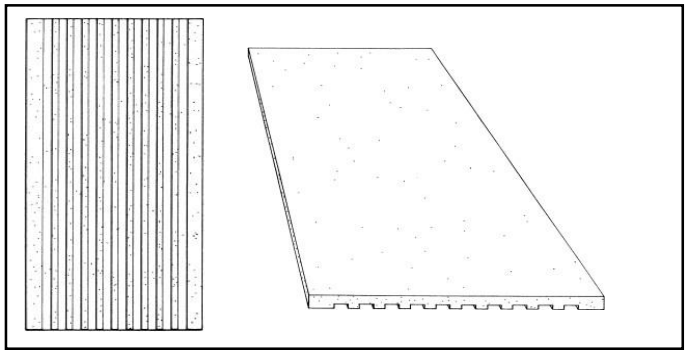


Nota. Tomado de Instituto Valenciano de la Edificación (s.f.)

2.2.2.4 Baldosín catalán. Son baldosas sometidas a una única cocción, y su absorción de agua varia desde media-alta a alta, su modelado es extruido y generalmente no son esmaltadas,se utilizan para acabados de pisos en viviendas rurales, balcones y terrazas. Ver figura 4.

Figura 4

Esquema de baldosín catalán.

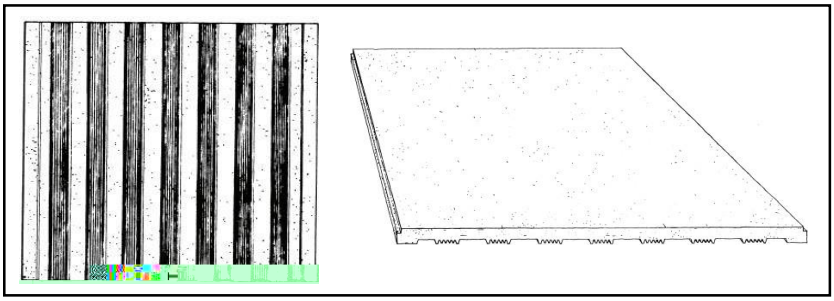


Nota. Tomado de Instituto Valenciano de la Edificación (s.f.)

2.2.2.5 Baldosa de gres rustico. Son baldosas cerámicas con absorción de agua baja o media baja, y de modelado extruido, generalmente no esmaltadas. Se utilizan generalmente para revestimiento de fachadas, o para pisos exteriores, andenes o espacio público. Ver figura 5.

Figura 5

Esquema baldosa de gres rustico.

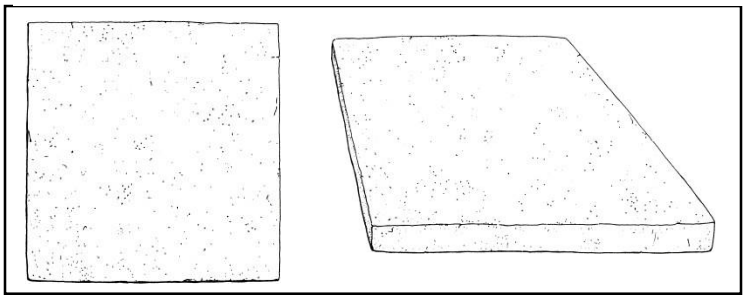


Nota. Recuperado de Instituto Valenciano de la Edificación (s.f.)

2.2.2.6 Baldosas en barro cocido. Son baldosas cerámicas con apariencia rustica y con una alta absorción de agua y en su mayoría no son esmaltas, ya que el proceso de fabricación porlo general es artesanal, razón por la cual la textura de estas baldosas es irregular y rusticas. Ver figura 6.

Figura 6

Esquema de baldosa en barro cocido.



Nota. Tomado de Instituto Valenciano de la Edificación (s.f.)

2.2.3 Arcillas

La elaboración de baldosas cerámicas, se componen principalmente de arcilla, la cual según Abad y Trokhimtchouk (2013), constituye cerca del 95% de la corteza terrestre, es un material que proviene de la descomposición de un tipo de roca denominadas feldespáticas (abundantes en la corteza terrestre en más de 50%) por la acción de agua durante millones de años. La arcilla está formada principalmente por silicatos alumínicos con materia coloidal y trozos de fragmentos de rocas, que generalmente se hacen plásticas cuando están húmedas y pétreas por la acción del fuego.

2.2.4 Clasificación de arcillas

Las arcillas se clasifican en arcillas primarias o residuales y secundarias o sedimentarias.

Las arcillas primarias o residuales son aquellas derivadas directamente de las rocas madres o afloramientos afectados por condiciones atmosféricas. Las arcillas secundarias implican una reacción química entre varios componentes a partir de la arcilla original, requiriendo de ciertas condiciones hidrotérmicas, en otras palabras, las arcillas secundarias son las que han sido desplazadas por el agua, viento o glaciares del lugar de las rocas madres. (Zea Osorio N., 2005). A continuación, mediante la siguiente figura 7, se puede apreciar la clasificación de arcillas según su origen.

Figura 7

Clasificación de arcillas según su origen.

CLASIFICACIÓN DE ARCILLAS SEGÚN SU ORIGEN					
Arcillas	Materia Residual	Sin movimiento durante la formación	Productos de meteorización ordinaria	De Rocas Cristalinas	Arcilla residual impura Caolín primario
				De Rocas Sedimentarias	Arcilla residual impura Arcilla caolinítica
			Productos de meteorización ordinaria más acción química	De Rocas Cristalinas	Bauxita
				Rocas Sedimentarias	Bauxita Diásporo
	Materia Transportada	Depositado en aguas sin o poca acción de corrientes, en mares, lagos, pantanos, etc.		Productos de meteorización ordinaria	Lutita argilacea Limo argilaceo
				Productos de meteorización ordinaria más intensa acción química adicional	Caolín sedimentario Arcilla bola Algunas bauxitas Arcillas bituminosas Diásporo
		Depositado por aguas de suave movimiento, arroyos, estuarios, etc.		Productos de trituración algo meteorizados	Lutita silicea Limo siliceo
		Depositado por acción glacial		Productos de abrasión más ligera meteorizados	Arcilla glacial o till
		Depositado por vientos		Productos de abrasión más ligera meteorizados	Loess

Nota. Tomado de Zea Osorio N. (2005).

2.2.5 Propiedades fisicoquímicas de las arcillas

Las propiedades físicas y químicas de las arcillas cambian al estar expuesto al calor convirtiéndose en material cerámico, así como también cambia, al estar expuesto al agua (pasta moldeable). Cuando la arcilla está expuesta a altas temperaturas, superiores a 200°C, cambia su composición física quedando totalmente rígida, transformada en un material estable e insoluble. Las principales propiedades de las arcillas son:

Plasticidad. Es la capacidad que tienen las arcillas para ser maleables ante la inclusión de

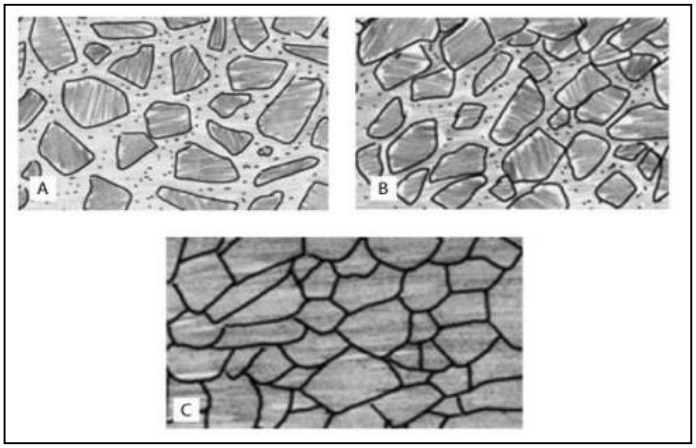
agua, debido a su estructura laminar de las partículas de arcilla en el agua. Entre más plástica es una arcilla, podrá el material que la conforma estar en suspensión coloidal de forma muy uniforme con mayor cantidad de agua, aumentando su volumen. (Abad y Trokhimtchouk, 2013).

Encogimiento. La arcilla húmeda se endurece al estar en contacto con el aire, al desecarsepierde volumen. La arcilla se encoje en dos etapas: durante el secado donde se genera el encogimiento más importante y notorio; y en una segunda etapa cuando es sometido a altas temperaturas. Se considera que las piezas están totalmente secas hasta que estas estén dentro del horno a una temperatura de 100°C, sin embargo, no es sino hasta los 550°C cuando podría decirse que el agua desaparece de su constitución química, es cuando la arcilla se vuelve dura y compacta. (Abad y Trokhimtchouk, 2013).

A continuación, en la figura 8, se pueden apreciar las fases de encogimiento en las arcillas en donde la imagen A, corresponde a la arcilla sometida a baja temperatura, la B, a mediana temperatura y la C, a alta temperatura, en donde se evidencia que a mayor temperatura, mayor encogimiento y mayor compactación entre partículas.

Figura 8

Fases de encogimiento en las arcillas.



Nota. Tomado de Abad y Trokhimtchouk (2013).

2.2.6 Polietileno de alta densidad (PEAD)

El polietileno de alta densidad (PEAD), es un polímero sintético, obtenido a partir de una reacción conocida como polimerización del polietileno elaborado a partir de etano, el cual es un componente del gas natural. Este material es semicristalino, incoloro y se utiliza para la fabricación de envases, empaques. Para poder identificar envases de material PEAD, se debe verificar el símbolo de identificación que está conformado por tres flechas que forman un triángulo con el número 2 en el centro y con letras en la base que puede ser PEAD o HDPE. Ver figura 9.

Figura 9

Símbolo de identificación de Polietileno de alta densidad.



Nota. Recuperado de Reciclario (s.f.)

2.2.7 Reciclaje de polietileno de alta densidad (PEAD)

Teniendo en cuenta que el desarrollo de la presente investigación contempla el uso de PEAD reciclado, es importante mencionar los métodos de reciclado, en donde luego de conocerla simbología de identificación, según Roca Girón I. (2005), los métodos para la separación de plásticos corresponden a:

Método de diferenciación. Consiste en la separación manual de residuos plásticos.

Método de fluorescencia de rayos X. se utiliza por ejemplo para separar PVC de PET y consiste en irradiar el plástico con dichos rayos para detectar la radiación secundaria emitida por los átomos de cloro del PVC.

Método de separación triboeléctrica. está basada en la diferente carga electrostática de

pequeñas partículas de los polímeros, provocada por la fricción en la pared de un remolino deaire y donde se proyectan a un campo electroestático generado entre dos placas, a las que se aplica un potencial eléctrico. (Roca Girón I., 2005)

Método de diferencia de densidades. El procedimiento consiste en introducir la mezcla deplásticos (troceados) en agua, la cual tiene una pequeña cantidad de surfactante, con el objeto de que el agua moje al plástico. Las poliolefinas quedan flotando en la superficie mientras que el PSy PVC se hunden en el fondo.

Según Roca Girón I. (2005), los plásticos reciclados de PEAD, pierden aproximadamente el 20% de sus propiedades con respecto a los plásticos virgen. Mediante la siguiente tabla 1, se pueden apreciar las diferencias del PEAD virgen y reciclado, en donde los valores de las propiedades evaluadas se mantienen similares.

Tabla 1

Propiedades del polietileno de alta densidad virgen vs reciclado.

Propiedad	PEAD virgen	PEAD Reciclado una vez
Índice de Fluidez g/10 min.	0.77	0.79
Densidad g/cm3	0.963	0.961
Módulo de Flexión Kg/cm2	15.396	15.396
Resistencia al Impacto Izod Kg. cm/cm	13.00	9.00
Resistencia a la Tensión a la ruptura Kg/cm2	155.00	175.00
Elongación %	555.00	613.00

Nota. Recuperado de Roca Girón I. (2005).

2.3 Marco Contextual

De acuerdo con el desarrollo de la presente investigación, al tratarse de la realización de ensayos de laboratorio, para el desarrollo de las baldosas fabricadas con arcilla e incorporación de plástico reciclado de alta densidad; se aclara que el proyecto se llevó a cabo en el municipio de Ocaña, Norte de Santander y en la ciudad de Cúcuta. En donde para la elaboración de las muestras o probetas, se tiene contemplado obtener la arcilla de la empresa Cerámicos y agroindustriales San Luis S.A.S., y el plástico obtenido de las de una empresa recicladora ubicada en Valledupar, Cesar. Ver figuras 10 y 11.

Figura 10

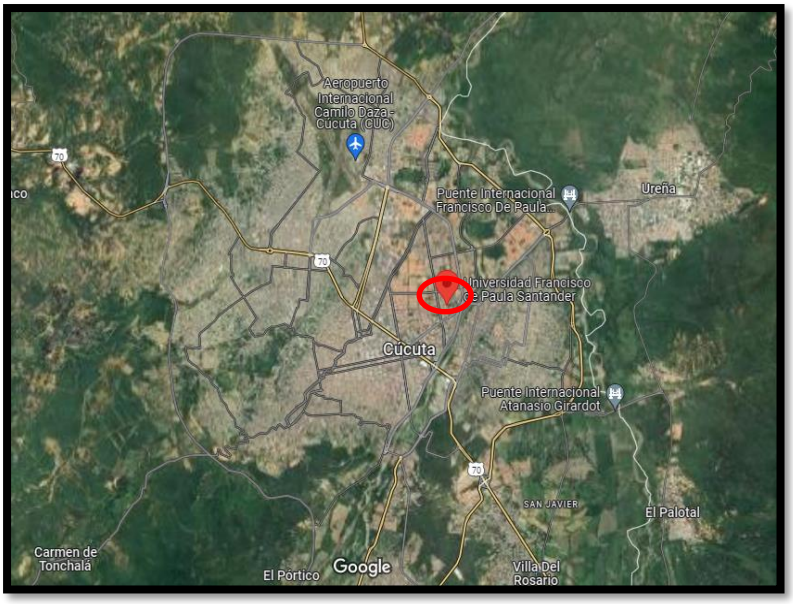
Ubicación Cerámicos y agroindustriales San Luis en Ocaña Norte



Nota. Tomado de Google Earth, 2024.

Figura 11

Ubicación Universidad Francisco de Paula Santander



Nota. Tomado de Google Earth. 2024.

Teniendo en cuenta la figura 10, se aprecia la ubicación de Cerámicos y agroindustriales SanLuis S.A.S. y, en la figura 11, la ubicación del “Laboratorios de Ensayos de Materiales cerámicos”, en la universidad Francisco de Paula Santander, donde se llevarán a cabo los ensayos de absorción de agua en baldosas cerámicas, resistencia a la abrasión profunda en baldosas cerámicas no esmaltadas, módulo de rotura y resistencia a la flexión en baldosas cerámicas.

2.4 Marco teórico

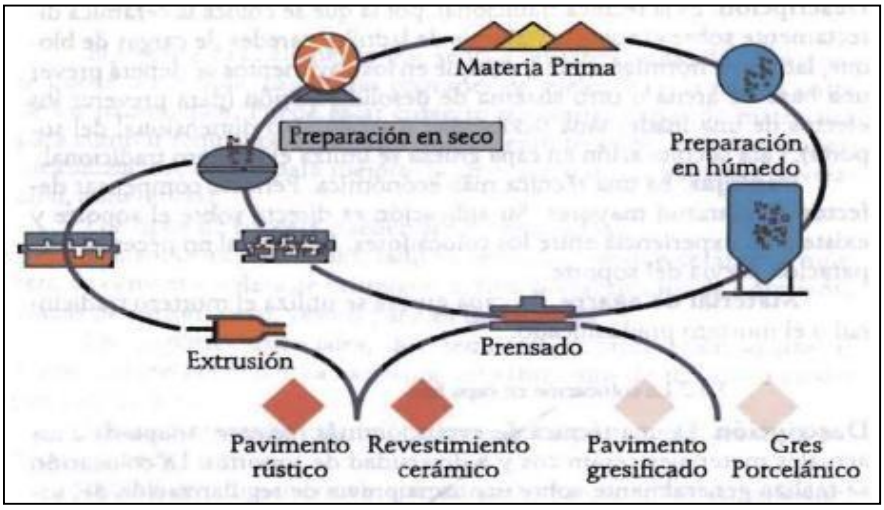
De acuerdo con el desarrollo de la investigación, el marco teórico, se fundamenta en el proceso de fabricación para la creación de las muestras de baldosas, así como también en la explicación de los ensayos a realizar para evaluar sus propiedades físico-mecánicas de las baldosas cerámicas de arcilla con incorporación PEAD reciclado.

2.4.1 Proceso de fabricación de baldosas cerámicas

Para la elaboración de las baldosas se consideran los siguientes procesos: Preparación de las materias primas, conformación y secado en crudo de las piezas, cocción, clasificación y embalaje. En la siguiente figura 12, se puede apreciar el esquema de producción de baldosas.

Figura 12

Diagrama de procesos de fabricación de baldosas.



Nota. Recuperado de Restrepo O. (2011).

2.4.2 Fragilidad

Para los materiales cerámicos, el término "fragilidad" hace referencia a la ausencia de plasticidad y poca resistencia al impacto, se produce una fractura frágil sin deformación plástica previa durante la carga elástica, tan pronto como la tensión alcanza localmente el umbral crítico de la coherencia interatómica. (Téllez M., 2019)

2.4.3 Módulo de elasticidad

Según Soliz y Yunga (2021), esta propiedad mecánica depende principalmente de la temperatura, reduciéndose de forma no lineal al elevarse la temperatura a la que está sometida. Los materiales cerámicos manifiestan deformaciones de formas plásticas. No obstante, al estar presente la rigidez en la estructura de los componentes cristalinos, la deformación se produce de

forma lenta. Dentro de los materiales cerámicos vidriosos (no cristalinos) la fluidez viscosa es la que ocasiona la deformación plástica, al igual que los materiales cristalinos la deformación plástica también es lenta (Vélez, 2008).

2.4.4 Fractura de materiales cerámicos

Los materiales cerámicos, se caracterizan por tener un comportamiento aparentemente frágil, debido a la poca deformación plástica antes de la rotura en tracción. Por lo tanto, los materiales cerámicos como baldosas presentan un parámetro análogo a la tensión de cedencia, similar a como ocurre en metales, y tienen una tolerancia relativamente baja a la presencia de defectos, ya que cuando se aplican esfuerzo a tracción, el material cerámico, no va a deformarsea diferencia de otros materiales como el plástico y el acero. (Pastor J., 1993)

2.4.5 Evaluación de propiedades físico-mecánicas en baldosas

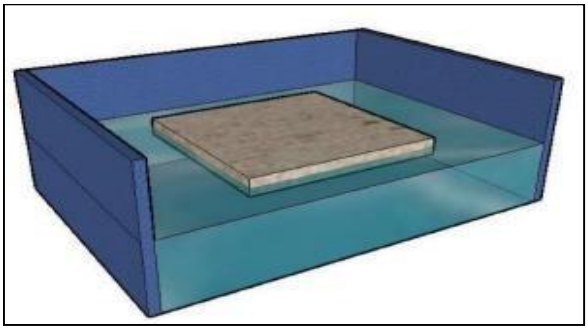
De acuerdo con la índole de la investigación, solo se evaluarán las propiedades físico-mecánicas de las muestras a realizar (baldosas cerámicas con incorporación de PEAD reciclado), teniendo en cuenta los siguientes ensayos de laboratorio.

2.4.5.1 Determinación de absorción de agua en baldosas. En este ensayo se basa en la norma NTC 4321-3, y consiste en agregar a un recipiente agua, partiendo del peso inicial de la baldosa, se introduce al agua la baldosa, por la cara que va a quedar expuesta a la vista, esta no puede quedar en contacto contra el recipiente, pasado 24 horas, se pesara nuevamente y se

calcula el porcentaje de absorción de agua que presenta la baldosa. Ver figura 13. (Sánchez y Castellanos 2020).

Figura 13

Ensayo de absorción de agua.

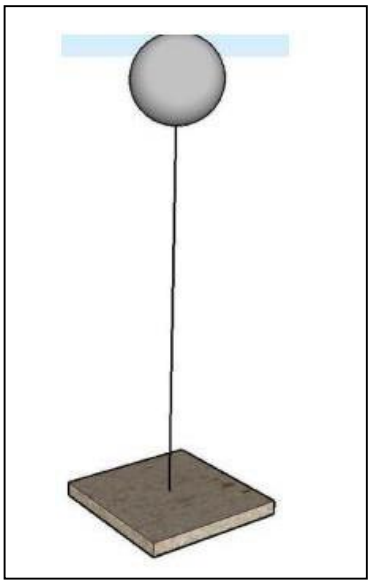


Nota. Tomado de Sánchez y Castellanos (2020).

2.4.5.2 Determinación de resistencia al impacto. Basado en la norma NTC 4321-5. Consiste en ubicar a una distancia de altura de 1m con una esfera de acero de un peso de kilo gramo, en donde la norma específica que se debe calcular el rebote generado en el momento del contacto con la esfera y la baldosa para sacar el coeficiente de restitución, esta prueba permite comparar el impacto de recepción de cualquier baldosa. Ver figura 14. (Sánchez y Castellanos 2020).

Figura 14

Ensayo de resistencia al impacto.

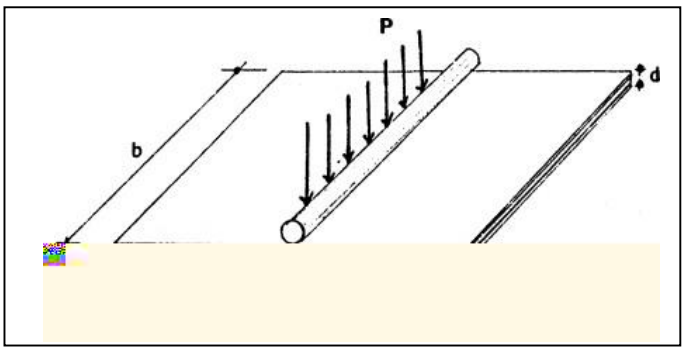


Nota. Tomado de Sánchez y Castellanos (2020).

2.4.5.3 Determinación de resistencia a la flexión. Este método consiste en aplicarle a la baldosa, una carga puntual en el centro de la luz, utilizando apoyos para asegurar que las fuerzas aplicadas en la baldosa se presenten sin excentricidades. Para este ensayo es necesario usar una maquina universal para ensayos a compresión. Ver figura 15.

Figura 15

Ensayo de resistencia a la flexión.



Nota. Tomado de: Huitz Puac M. (2003)

2.4.5.4 Determinación de la resistencia a compresión. Es uno de los ensayos más generales a realizar, en los cuales se emplea una maquina unidireccional de prensa hidráulica que comprime la probeta hasta hacerla fallar. En este caso se realizarán ensayos a compresión de las muestras de baldosas elaboradas con arcilla y plástico de alta densidad. El cálculo que se empleará para determinar la fuerza de compresión en cada una de las muestras está dado por la siguiente Ecuación:

$$C = \frac{w}{A}$$

En donde:

C: Fuerza de compresión

w: Carga aplicada maquina uniaxial

A: Área de aplicación de las cargas

2.4 Marco legal

En lo que respecta al marco normativo para la elaboración del trabajo de grado, es importante mencionar la Norma Técnica Colombiana NTC 6024, la cual se refiere a criterios ambientales para baldosas cerámicas. Actualmente las baldosas cerámicas se encuentran reguladas mediante la Resolución 180 del veintiuno 21 de enero de 2013, expedida por el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo.

Norma Internacional ISO 10545 – 3, Determinación de Absorción de Agua,

Porosidad Visible, Densidad Relativa y Masa Volumétrica. Esta parte de la Norma ISO 10545 especifica laabsorción de agua, la porosidad aparente, la densidad relativa aparente y los pesos aparentes de las baldosas cerámicas.

Norma Técnica Colombiana NTC 4321-5, Baldosas cerámicas. Parte 5. Método de ensayo para determinar la resistencia al impacto por medio del coeficiente de restitución. (ISO 10545-5).

Norma Técnica Colombiana NTC 4321-6, Baldosas cerámicas. Parte 6. Método de ensayo para determinar la resistencia a la abrasión profunda en baldosas no esmaltadas. (ISO 10545-6).

Norma Técnica Colombiana NTC 4321-7, Baldosas cerámicas. Parte 7. Método de ensayo para determinar la resistencia a la abrasión superficial para baldosas vidriadas. (ISO 10545-7).

Norma Técnica Colombiana NTC 4321-8, Baldosas cerámicas. Parte 8. Método de ensayo para determinar la expansión térmica lineal. (ISO 10545-8).

Norma Técnica Colombiana NTC 4321-9, Baldosas cerámicas. Parte 9. Método de ensayo para determinar la resistencia al choque térmico. (ISO 10545-9).

Norma Técnica Colombiana NTC 4321-10, Baldosas cerámicas. Parte 10. Método de ensayo para determinar la expansión por humedad. (ISO 10545-10).

Norma Técnica Colombiana NTC 919. Establece los elementos más relevantes en la clasificación, definición, caracterización y rotulado de las baldosas cerámicas.

Norma Técnica Colombiana NTC 4321-4. Establece el método para determinar el módulo de rotura y la resistencia a la flexión, se lleva a cabo con un equipo llamado marco de ensayo a flexión, mediante el cual se determina la resistencia mecánica de la baldosa.

Norma Técnica Colombiana NTC 3419-1 (2008) "Baldosas cerámicas y gres porcelánico. Parte 1: Definiciones, clasificación y especificaciones". Esta norma establece las características técnicas que deben cumplir las baldosas cerámicas, tales como su absorción de agua, resistencia al desgaste y al impacto, dimensiones y tolerancias, entre otras. Además, también establece los métodos de ensayo que se deben utilizar para evaluar estas características.

Teniendo en cuenta que la fabricación de baldosas, representan un punto fijo de contaminación ambiental, por sus procesos de elaboración, vale la pena mencionar la normatividad ambiental que comprende la fabricación de baldosas cerámicas, en donde se destacan:

Resolución 909 de 2008. Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas.

Decreto 1076 de 2015. Por el cual se expide el Decreto Único Reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible.

Resolución 1541 de 2013. Por la cual se establece el reglamento técnico para productos de cerámica y porcelana destinados a estar en contacto con alimentos y bebidas.

Resolución 1842 de 2017. Por la cual se establecen los requisitos y procedimientos para el control y seguimiento de las emisiones de fuentes fijas.

Resolución 0631 de 2015. Por la cual se adopta la guía técnica para el manejo de residuos peligrosos generados en establecimientos de fabricación de productos cerámicos.

Resolución 180363 de 2018. Por la cual se establecen las condiciones y requisitos para la implementación del sistema de gestión ambiental en establecimientos de fabricación de productos cerámicos.

Capítulo 3. Diseño metodológico

3.1 Tipo de Investigación

El desarrollo del proyecto corresponde una investigación de tipo cualitativa y experimental, dado que se basa en la elaboración de muestras de baldosas cerámicas de arcilla con incorporación de polietileno de alta densidad (PEAD) de origen reciclado obtenido en forma de partículas (triturado) mediante un proceso de trituración industrial, para posteriormente ensayar en laboratorio y evaluar sus propiedades físico-mecánicas.

3.2 Población y muestra.

3.2.1 Población

De acuerdo con la índole de la investigación, la población objeto de estudio correspondió a los diferentes chircales artesanales y ladrilleras ubicadas en el municipio de Ocaña, Norte de Santander, en donde se puede obtener la arcilla para la fabricación de las baldosas con incorporación de PEAD. Para la obtención del PEAD reciclado, se recolecta de una recicladora ubicada en el área urbana de la ciudad de Valledupar.

3.2.2 Muestra

Según (Cantoni, 2009), La muestra en una investigación, representa un elemento fundamental ya que permite extraer un grupo representativo del universo de datos para aplicar el proceso de análisis de forma específica y rigurosa, cuyos resultados son aplicables al 100 % de una determinada población.

Para la elaboración de las muestras se utiliza como materia prima la arcilla extraída de la Ladrillera San Luis S.A.S., a la cual, se le realiza muestra representativa de quince (15) probetas o baldosas con dimensiones 20 x 20 x 2,5 cm, donde doce (12) de las quince (15) muestras llevan incorporado polietileno de alta densidad (PEAD) de origen reciclado de forma triturado, en porcentajes del 3 %, 5 %, 10 % y 15 %. Teniendo en cuenta que la temperatura de degradación del PEAD es mucho menor a la temperatura de cocción de la arcilla, se espera con la presente investigación evaluar si existió un aumento de resistencia en las baldosas producidas con la incorporación de plástico reciclado triturado sometida a temperaturas entre 800°C a 900°C.

3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de información

Las técnicas e instrumentos de recolección de información que se llevara a cabo para la realización de este proyecto corresponden a:

Fuentes primarias: Hace referencia al análisis de materiales, obtención de la arcilla, procesamiento del polietileno de alta densidad (PEAD) de origen reciclado, elaboración de

muestras, formulas, ensayos de laboratorio. Para la obtención del PEAD reciclado, se adquirió de una fábrica de reciclaje ubicada en la ciudad de Valledupar, Cesar que realiza el proceso de trituración del plástico; igualmente, la arcilla se obtuvo de una ladrillera en Ocaña, Norte de Santander. El proceso de fabricación se realizará de forma manual.

Fuentes secundarias: Hace referencia a la documentación, obtenida de bases de datos avaladas por la UFPSO, como Science Direct, Redalyc, eLibro, entre otros; e investigaciones sobre el tema de estudio.

3.4 Análisis de información

Con relación a la elaboración de baldosas con incorporación de PEAD reciclado, el análisis de información se basa en la obtención de los parámetros evaluados mediante ensayos de laboratorios para posteriormente realizar la comparación de las propiedades físico-mecánicas de las baldosas elaboradas con respecto a la normatividad vigente. Posteriormente como parte del análisis de información, se realiza una comparación de las características físico-mecánicas de las baldosas elaboras con plástico PEAD reciclado, en comparación con las baldosas comercialmente disponibles en el mercado.

3.4.1 Diseño Experimental

Según Gonzalez I. (s.f.), el diseño experimental se usa para estudiar el desempeño de procesos y sistemas, en donde se combinan procesos y se definen variables que pueden ser

dependientes, independientes y variables que intervienen.

A continuación, en la siguiente tabla 2, se pueden observar las variables que intervienen en el desarrollo de la investigación:

Tabla 2

Variables que intervienen en la investigación.

Tipo de variable	***Variable***	***Definición***	***Medición***
Dependientes	*Flexión o módulo de rotura*	*Es la resistencia mecánica ante agresiones como cargas dinámicas y estáticas, rodaduras e impactos.*	*N/mm^2*
	Resistencia al Impacto	*Permite comparar el impacto de recepción de cualquier baldosa.*	*Kn*
	Desgaste	*Consiste en determinar la resistencia al desgaste abrasivo de baldosas y perdida µm de sus propiedades cristalinas o brillo en su superficie.*	*Um*
Independientes	*% de inclusión del PEAD*	*Cantidad proporcional de triturado de PEAD reciclado para fabricar cada baldosa, el cual varia de 0,3 a 1,2 kg/m3 según recomendaciones de la Guía SIKA 2009.*	*Kg/m^3*
Valores que intervienen	*Tiempo*	*Magnitud física que permite medir la duración de los objetos sujetas a cambiosteniendo en cuenta la norma NTC 4017 (Método de ensayo para productos de arcilla).*	*Min*
	Temperatura	*Contenido de la energía interna de las moléculas.*	*°C*

Capítulo 4. Desarrollo experimental y análisis de resultados.

4.1 Elaborar muestras de baldosas en arcilla con diferentes porcentajes de incorporación de polietileno de alta densidad (PEAD) de origen reciclado.

Con la arcilla de alta plasticidad (CH) extraída del talud situado en Cerámicos y agroindustriales San Luis S.A.S, ubicado en la vía Cúcuta Km 8, Ocaña Norte de Santander y el polietileno de alta densidad (PEAD) de origen reciclado. Se procedió a realizar ensayos de granulometría, límites de Atterberg, gravedad especifica, y de absorción, de los materiales según corresponda con el fin de determinar sus propiedades. Basándose en la normatividad de INVIAS (INV) E-123 (Determina los tamaños de las partículas de los suelos de manera cuantitativa.) (Instituto Nacional de Vías, 2013a), (INV) E-128 (Determina la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y de la llenante mineral empleando un picnómetro con agua.) (Instituto Nacional de Vías, 2013d), (INV) E-126 (a Determina el límite plástico y el índice de plasticidad de los suelos)(Instituto Nacional de Vías, 2013c) y (INV) E-125 (Determina el límite líquido de los suelos)(Instituto Nacional de Vías, 2013b).

4.1.1 Granulometría de la arcilla

Tomando como referencia lo establecido en la (INV) E-123 (Instituto Nacional de Vías, 2013a) , se realiza el respectivo ensayo, como se puede apreciar en la figura 16. El primer paso consiste en la limpieza y lavado de la muestra, asegurando así que en esta no quede ningún tipo

de material externo que pueda afectar el resultado del ensayo. Posteriormente se seca la muestra. En este caso el secado se realiza de manera convencional por medio de una estufa. Así mismo, una vez la muestra se encuentre libre de humedad se dispone en los respectivos tamices para realizar el proceso de tamizado. Es de gran importancia resaltar que se debe pesar cada fragmento de material retenido en cada tamiz, esto con el fin de determinar su granulometría. Con el proceso de tamizado se determina que el material extraído para el ensayo se puede clasificar según la S.U.C.S. como una arcilla de alta plasticidad (CH).

Figura 16

Ensayo de caracterización de la arcilla.



Nota. Granulometría de la arcilla. a) Limpieza y lavado de la muestra, b) Secado de la muestra, c) Vertimiento de la muestra en los tamices, d) Tamizado, e) Material retenido en cada tamiz y f) Peso del material retenido en cada tamiz.

Seguidamente, se analizan los datos obtenidos en el tamizado del material. Este procedimiento ayuda a establecer el tamaño nominal de las partículas y sedimentos que conforman la muestra, de igual manera, el peso y porcentaje de material retenido en cada tamiz. Información que permite determinar que el material se encuentre entre los parámetros establecidos en las especificaciones técnicas. Dicho ensayo se realiza a la muestra de arcilla de la cual se obtuvo los siguientes resultados, que se pueden observar en la tabla 6. En la que se puede evidenciar el porcentaje de humedad (10.32%).

Tabla 3

Granulometría de la arcilla.

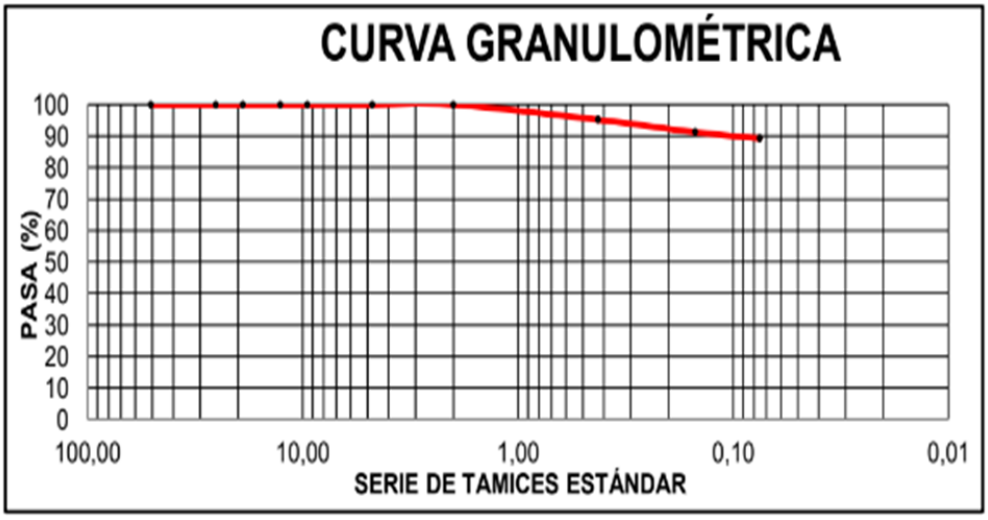
Peso Inicial	***1592,96***	***gr***		***Humedad***	***10,32%***
TAMIZ		***Peso Retenido***	***% Retenido***	***% Retenido Acumulado***	***% Pasa***
Pulg.	***Mm***	***gr***			
2	*50,80*	*0,00*	*0,00*	*0,0*	*100,0*
1	*25,40*	*0,00*	*0,00*	*0,0*	*100,0*
3/4"	*19,00*	*0,00*	*0,00*	*0,0*	*100,0*
1/2"	*12,70*	*0,00*	*0,00*	*0,0*	*100,0*
3/8"	*9,53*	*0,00*	*0,00*	*0,0*	*100,0*
No 4	*4,75*	*0,00*	*0,00*	*0,0*	*100,0*
No 10	*2,00*	*0,00*	*0,00*	*0,0*	*100,0*
No 40	*0,425*	*76,63*	*4,81*	*4,8*	*95,2*
No 100	*0,150*	*63,37*	*3,98*	*8,8*	*91,2*
No 200	*0,075*	*31,51*	*1,98*	*10,8*	*89,2*
P200	*<0,075*	*1421,45*	*89,23*	*100,0*	*0,0*
Total		*1592,96*	*100*		

Así mismo, en la figura 17, se puede evidenciar que para realizar la curva granulométrica se debe tener en cuenta el porcentaje de muestra que pasa vs cada uno de los tamices utilizados (la tabla 5). En esta, se puede apreciar la tendencia que presentan los tamaños de las partículas y sedimentos de la arcilla, siendo importante recalcar que en este caso entre mayor sea el número

de tamiz, es mayor el porcentaje de muestra retenido. Y, considerando los resultados obtenidos, permite determinar el tipo de material que se emplea a lo largo del proyecto (arcilla de alta plasticidad), en vista de que más del 50% de la muestra pasa por el tamiz número 200.

Figura 17

Curva granulométrica de la arcilla.



4.1.2 Límites de Atterberg

Se realizan los ensayos según lo establecido en la (INV) E-125 (Instituto Nacional de Vías, 2013b) para determinar el límite líquido de los suelos. Es necesario, puesto que proporciona detalles sobre la plasticidad del material; característica que puede afectar notoriamente su capacidad para ser moldeada y su resistencia a cambios inducidos por la humedad, como se puede observar en la figura 18.

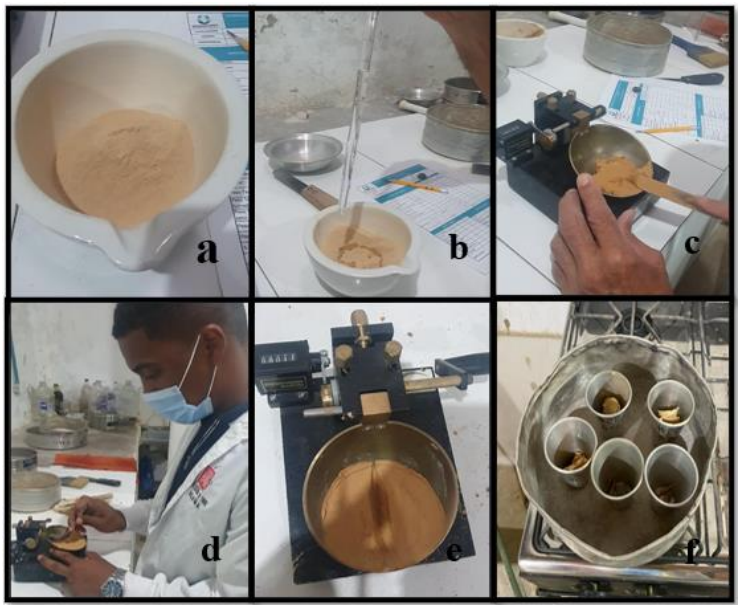
Lo primero que se realiza, es seleccionar una porción de la muestra la cual se vierte sobre

el respectivo recipiente, posteriormente, con la ayuda de un gotero se adiciona agua poco a poco con el fin que la muestra alcance la humedad deseada.

Luego, se vierte la mezcla homogénea en la cuchara de Casagrande, donde es compactada. Posteriormente, se realiza una apertura con ayuda de un acanalador, para así determinar su número de golpes (10 < Numero de golpes < 45). En el procedimientos se debe alcanzar un cierre de aproximadamente 13mm; cuando esto suceda se puede afirmar que la mezcla contiene un adecuado porcentaje de humedad. Por último, este material se debe pesar tanto en su estado húmedo, como en su estado seco. Cabe resalta que a la hora de secar la muestra del material, se empleó la manera convencional: por medio de una estufa.

Figura 18

Ensayo de Limite Liquido.

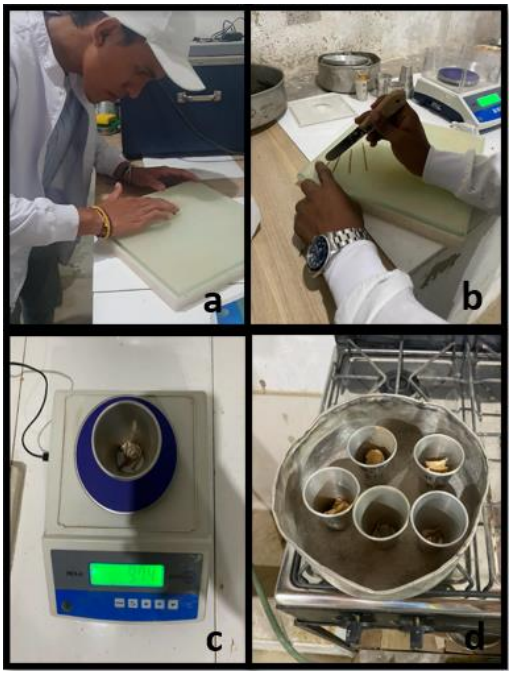


Nota. Ensayo de Limite liquido a) Muestra de arcilla seca, b) Adición de agua a la muestra, c) Vertimiento de la muestra en la cuchara de Casagrande, d) Segregación de la muestra con el surco e) Cierre del material aproximado 13 mm y f) Muestra secado en estufa.

Por otro parte, la (INV) E-126 (Instituto Nacional de Vías, 2013c), determina el límite plástico y el índice de plasticidad de los suelos. Este ensayo se realizo, ante la necesidad de establecer el límite plástico y así mismo la humedad crítica en la que el que el suelo cambia de comportamiento semisólido a plástico. Y a su vez se determina el índice plástico, para indicar la amplitud del cambio que se pueda generar. Para ello se realiza el siguiente procedimiento, que se puede apreciar en la figura 19. Disponiendo en primer lugar de una parte del material seleccionado en el ensayo de limite líquido y, con ayuda de las manos se crean una especie de hilos con un diámetro aproximado de 3.2 mm; evitando que este se desprenda. Posteriormente, se realizan varios cortes los cuales son ingresados a una tara con el fin calcular su peso en su estado húmedo. Para finalizar, se insertan los hilos previamente cortados en un recipiente pequeño para ser secados y posteriormente pesados.

Figura 19

Ensayo de Limite Plastico (LP).



Nota. Ensayo de Limite plástico. a) Hilos de material, b) Corte de los hilos del material, c) peso del material y d) Secado del material en estufa.

Del anterior procedimiento, se pudo concluir que la muestra de arcilla presenta un límite liquido igual a 66.23%, un límite plástico equivalente a 30.59% y un índice de plasticidad del 35,65% como podemos observar en la tabla 7.

Tabla 4

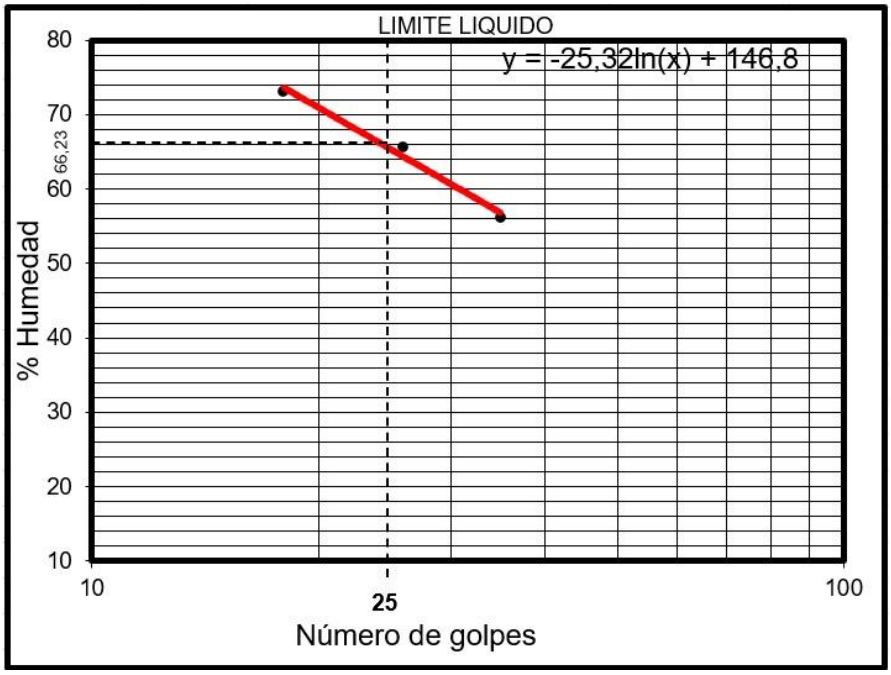
Resultados de los Límites de Atterberg.

Limite Liquido				***Limite Plástico***		
N° de golpes	*35*	*26*	*18*	*Tara*	*18*	*19*
Tara	*22*	*21*	*20*	*Peso Tara*	*8,71*	*8,85*
Peso Tara	*8,88*	*8,83*	*8,88*	*Peso Tara + suelo húmedo*	*9,64*	*9,54*
Peso Tara + suelo húmedo	*32,2*	*37,95*	*41,26*	*Peso Tara + suelo seco*	*9,42*	*9,38*
Peso Tara + suelo seco	*23,82*	*26,42*	*27,59*	*Peso del agua*	*0,22*	*0,16*
Peso del agua	*8,38*	*11,53*	*13,67*	*Peso del suelo seco*	*0,71*	*0,53*
Peso del suelo seco	*14,94*	*17,59*	*18,71*	*% Humedad*	*30,99*	*30,19*
% Humedad	*56,09*	*65,55*	*73,06*	*Promedio Limite plástico*	*30,59*	
Limite liquido (%)		***66,23***		***Limite Plástico %***	***30,59***	
Índice de plasticidad (%)				***35,65***		

Se puede apreciar los resultados de forma más clara en la figura 20, en la que se evidencia la humedad promedio igual 66,23%, con un equivalente de 25 golpes siendo estos óptimos para la fabricación de las baldosas, ya que aporta una plasticidad equilibrada que permite una buena manipulación y conformación durante su producción. Sin embargo, sigue conservando una buena cohesión.

Figura 20

Grafica limite líquido.



4.1.3 *Gravedad especifica.*

Para la ejecución de este ensayo se hace necesario considerar lo estimado en la INV E-128 (Instituto Nacional de Vías, 2013d) (Determina la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y de la llenante mineral empleando un picnómetro con agua).

Como se puede observar en la figura 21, se selecciona una cantidad de muestra seca que debe ser pasada por el tamiz número 4. Esta se vierte en un picnómetro y una vez ingresado todo el material se introducen 500 ml de agua destilada, que se debe mezclar de manera constante con el fin de eliminar las partículas de aire presentes en el recipiente. Una vez finalizado este proceso, se dispone a pesar la mezcla en el picnómetro para finalmente ser vaciado en una tara

agregando la cantidad de agua destilada necesaria hasta que el picnómetro se encuentre totalmente limpio, luego se seca la muestra hasta obtener una masa constante en un horno de 105 a 115 ° C y se enfría posteriormente. Este proceso permite predecir como se va a comportar el material a la hora de ser compactado puesto que ayuda a determinar sus propiedades y composición.

Figura 21

Ensayo de Gravedad especifica.



Nota. Ensayo de gravedad especifica. a) Vertimiento de la muestra seca, b) Vertimiento de 500 ml de agua destilada, c) Mezcla de arcilla y agua destilada d) eliminación de partículas de aire, e) Peso de la muestra en el picnometro y f) Vaciado de la mezcla en la tara.

El resultado del laboratorio, se obtiene un valor de gravedad especifica de 2.816 con una temperatura del material de 20°C, que a su vez dicha muestra presenta un porcentaje de absorción de 10,52%. Estos resultados a la hora de realizar la baldosa nos permiten determinar la

cantidad de agua necesaria para obtener la consistencia adecuada en la mezcla que se va a fabricar, proporcionando una adecuada plasticidad y facilidad en su manipulación. Siendo este un factor fundamental para determinar las propiedades físico – mecánicas del elemento. (Ver tabla 8).

Tabla 5

Resultados de gravedad especifica y % Absorción.

Ensayo	***Un***	***Valor***
Temperatura de ensayo	*°C*	*24,50*
Peso de suelo superficialmente seco	*g*	*100,00*
Peso matraz + Agua + suelos	*g*	*733,60*
Peso matraz + Agua (curva calibración)	*g*	*675,20*
Peso del recipiente	*g*	*178,90*
Peso recipiente + Suelo seco	*g*	*269,40*
Peso del suelo seco	*g*	*90,48*
Gravedad especifica	*g*	*2,819*
Coeficiente de corrección por temperatura	*g*	*0,99987*
Absorción	*%*	*10,52%*
Gravedad especifica del suelo a 20°C		*2,819*

4.1.4 Elaboración de baldosas en arcilla

A raíz de los estudios previamente realizados, se pudo determinar que el material a utilizar para la elaboración del elemento cuenta con propiedades físico-mecánicas y comportamientos óptimos para la ejecución de este. A continuación, se presentan los pasos para

la realización de la baldosa con la incorporación de polietileno de alta densidad (PEAD):

Paso 1. El primer paso consiste en la extracción de la materia prima, en este caso la arcilla proviene del talud situado en Cerámicos y agroindustriales San Luis S.A.S, ubicado en la vía Cúcuta Km 8, Ocaña Norte de Santander y el polietileno de alta densidad (PEAD) de origen reciclado.

Paso 2. Una vez extraída la materia prima se procede a realizarle ensayos a la misma esto con el fin de determinar si cuenta con las condiciones necesarias para ser empleada en la elaboración del elemento. Como se pudo verificar en los puntos anteriores mediante los ensayos de granulometría, límites de Atterberg y gravedad especifica que se realzaron, los cuales permitieron caracterizar al material como una arcilla de alta plasticidad (CH) garantizando que cumplen con los requisitos para la elaboración de la baldosa.

Paso 3. Preparación de los materiales, elementos y sitio en el cual se va a elaborar el prototipo de baldosa. Primeramente, se realizó un tamizaje a la arcilla para evitar agentes externos en la preparación de la mezcla. Seguidamente, se debe limpiar correctamente los moldes y los recipientes para asegurar la veracidad de los resultados. Así mismo, se verifica que el estado actual de la prensa hidráulica se encontrara en óptimas condiciones para la ejecución de la baldosa, como se puede apreciar en la figura 22.

Figura 22

Prensa hidráulica y moldes para la elaboración de la baldosa.



Paso 4. En este punto se determina las cantidades de materiales para cada par de baldosas. En este caso para la baldosa en arcilla de (20*20*7.5) cm se requieren 7 Kg de arcilla de alta plasticidad (CH), para determinar la cantidad polietileno de alta densidad (PEAD) se tomó como referencia el peso de la arcilla a utilizar para cada molde, variando este porcentaje en valores comprendidos entre el 3% y el 15% como se puede observar en la tabla 9. Y en el caso del agua este valor permanece constante (0.73 L) para todas las mezclas, ya que, con esta cantidad consideramos que empíricamente la mezcla se encuentra en un punto adecuado de maleabilidad.

Tabla 6

Cantidades de material para cada baldosa.

Cantidad de material para cada baldosa			
Arcilla (Kg)	***PEAD***		*Agua (l)*
	PEAD (%)	***PEAD (kg)***	
3,5	*1*	*0,035*	*0,36*
3,5	*2*	*0,07*	*0,36*
3,5	*4*	*0,14*	*0,36*
3,5	*5*	*0,2*	*0,36*

Paso 5. Luego, se vertieron los materiales en un recipiente para realizar la mezcla. Teniendo en cuenta, que la prensa hidráulica está diseñada para elaborar dos baldosas simultáneamente, se utilizaron el doble de los valores establecidos en la tabla 8 para llevar a cabo el proyecto. Además, dichos materiales se combinan hasta tener una mezcla homogénea y perfectamente maleable. (Ver figura 23).

Figura 23

Mezcla materiales: arcilla y PEAD.



Nota. Proceso mezclado de arcilla con PEAD. a) Vertimiento de los materiales y b) Mezcla de los materiales.

Paso 6. Teniendo la mezcla homogénea se dispone a verterla en los moldes correspondientes, cada una con su respectivo porcentaje. Una vez teniendo el material en su sitio, ya está listo para llevarlo a la prensa hidráulica. En la cual se compacta y se desencofra para su posterior secado al aire por un intervalo de 10 a 14 días. (Ver figura 24).

Figura 24

Fabricación de baldosas.



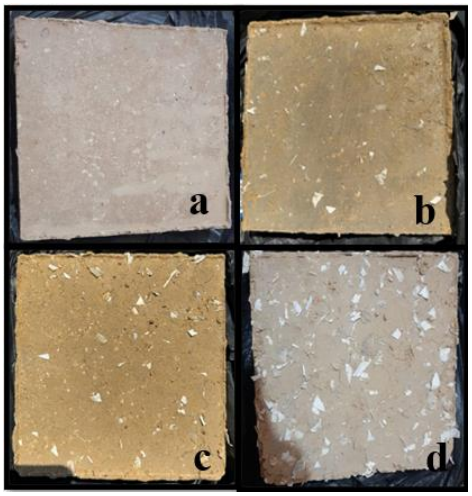
Nota. a) Mezcla vertida en el molde, b) Compactación de mezcla, c) Desencofrado de la baldosa y d) Baldosa secadas al aire.

Paso 7. Una vez transcurrido el tiempo de secado estipulado en el paso anterior, se percibió que las muestras que poseen mayor porcentaje de polietileno de alta densidad (PEAD), en este caso, las del 10 % y 15 %, se aprecia que estas no se encontraban con una buena consistencia, ya que, se desboronaban en los bordes con gran facilidad y se pudo observar pequeñas fisuras en las baldosas debido a que la arcilla no se compacto de manera adecuada con

esos porcentajes de PEAD. Por otro lado, la muestra que en su diseño lleva un 3% de PEAD, presenta características visuales similares a la de una baldosa convencional y a la hora de realizar una comparación sus cambios no serán significativos. Por ende, se llegó a la conclusión de que estos especímenes no se encontraban aptos para realizar los diversos ensayos y se determinó llevar a cabo el proyecto con y el diseño que adiciona un 5 % de PEAD debido a que este es el que más se ajusta a las necesidades y requerimientos de los ensayos que serán realizados posteriormente. Ver figura 25.

Figura 25

Baldosas con diferentes porcentajes.



Nota. Baldosas con los diferentes tipos de porcentajes. a) Baldosa 3 % adición PEAD, b) Baldosa 5 % adición PEAD, Baldosa 10 % adición PEAD, e) Baldosa 15 % adición PEAD.

Paso 8. Posteriormente, se lleva la muestra seleccionada al horno tipo volcán que comienza con una temperatura de 0°C y alcanza una temperatura máxima de 1200°C. Estas duraron un periodo de 48 horas horneándose, después de ello, se dejan en reposo en un promedio de 2 a 3 días esto con el fin de que el elemento se encuentre a una temperatura ambiente. (Ver

figura 26).

Figura 26

Horno y baldosas.



Nota. a) Horno tipo volcán, b) Baldosas terminadas 5% PEAD

4.2 Determinar las propiedades físico-mecánicas de las baldosas elaboradas en arcilla y con incorporación de polietileno de alta densidad (PEAD) de origen reciclado, mediante ensayos de laboratorio para verificar su resistencia con respecto a la normatividad vigente.

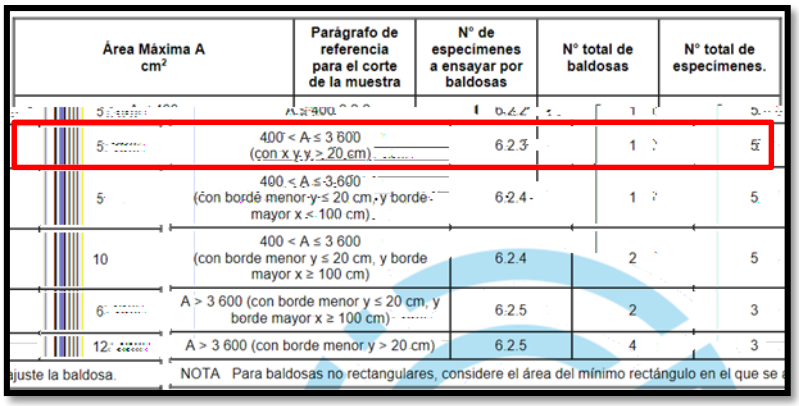
Una vez elaborado el elemento procedemos a determinar algunas de las propiedades físico-mecánicas que estos presentan. Para ellos se realizan una serie de ensayos como lo son: el de absorción de agua, resistencia a la abrasión profunda, módulo de rotura y resistencia a la flexión. Estos ensayos se consideraron pertinentes para determinar sus características y su comportamiento.

4.2.1 Determinación de la absorción de agua en baldosas cerámicas. NTC 4321-3 (2021-06-16), ISO 10545-3:2018.

Para realizar el ensayo sobre la absorción de la baldosa de acuerdo con lo establecido en la NTC 4321-3 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 2021). Lo primero que se debe determinar es la cantidad de especímenes con la que se va a trabajar. Para ello se tiene presente lo plasmado en la figura 27, de la que se toma como referencia las dimensiones de las baldosas.

Figura 27

Determinar la cantidad de especímenes. Ensayo de absorción.



Área Máxima A cm²	Parágrafo de referencia para el corte de la muestra	N° de especímenes a ensayar por baldosas	N° total de baldosas	N° total de especímenes.
5	400 < A ≤ 3 600 (con x y y > 20 cm)	6.2.3	1	5
5	400 < A ≤ 3 600 (con borde menor y ≤ 20 cm, y borde mayor x < 100 cm)	6.2.4	1	5
10	400 < A ≤ 3 600 (con borde menor y ≤ 20 cm, y borde mayor x ≥ 100 cm)	6.2.4	2	5
6	A > 3 600 (con borde menor y ≤ 20 cm, y borde mayor x ≥ 100 cm)	6.2.5	2	3
12	A > 3 600 (con borde menor y > 20 cm)	6.2.5	4	3
ajuste la baldosa.	NOTA Para baldosas no rectangulares, considere el área del mínimo rectángulo en el que se			

Nota. Tomado de NTC 4321-3 Tabla 1 Muestreo.

En este caso para las baldosas que cuentan con un tamaño nominal en cm de 20 x 20 se establece según la norma que se debe trabajar con 5 especímenes, dado que, el área de esta corresponde a la máxima establecida en este parámetro. Como se puede apreciar en la tabla 9. Es de gran importancia resaltar que, a la hora de realizar el ensayo, las muestras seleccionadas deben encontrarse libres de cualquier material suelto o contaminado. Así mismo, estas no deben tener grietas o daños visibles previos al ensayo.

Para la ejecución del ensayo lo primero que se realiza es preparar las muestra, la cual se secó por un periodo mínimo de 24 horas a una temperatura que se encontraba entre los (110 – 160) °C. Una vez finalizado este tiempo se procede a pesar los especímenes con fin de obtener el peso en seco de cada una de las muestras. Posterior a ello, se realiza la impregnación con agua, colocando las baldosas verticalmente en la cámara de vacíos, supervisando que estas se encuentren separadas de la base por lo menos 5 cm. De igual manera se debe garantizar que el nivel del agua se encuentre 5 cm por encima del nivel de la baldosa.

Luego de verificar que la baldosa se encuentre sumergida según los estándares mencionados anteriormente, se procede a esperar que el agua alcance su punto de ebullición y se mantiene por un intervalo de 2 horas. Posteriormente, se retira la fuente de calor y se deja enfriar las baldosas a temperatura ambiente estando sumergida completamente por un periodo de 4 horas y 20 minutos. Una vez concluido este tiempo se retiran las baldosas de la cámara de vacíos y se secan superficialmente con un paño de microfibra apoyándose en una superficie plana. Garantizando el proceso anterior, se pesan cada uno de los especímenes en una balanza cuya precisión es de 0.01 gramos. Este proceso se hace con el fin de determinar la masa de la baldosa impregnada por inmersión bajo vacío, como se puede apreciar en la figura 28.

$$E_{V3} = 100\ x\ \frac{(3734{,}4g - 3170{,}4g)}{3170{,}4g} = 17{,}8\%$$

$$E_{V4} = 100\ x\ \frac{(3775{,}4g - 3139g)}{3139g} = 20{,}3\%$$

$$E_{V5} = 100\ x\ \frac{(3403{,}5g - 2819{,}4g)}{2819{,}4g} = 20{,}7\%$$

$$E_{Vpromedio} = 100\ x\ \frac{(3633{,}2g - 3062{,}7g)}{3062{,}7g} = 18{,}7\%$$

Figura 29

Absorción de agua en baldosas cerámicas.

MUESTRA DE ENSAYO

Identificación	Tableta de arcilla con PEAD
Descripción	Baldosa cerámica no esmaltada, de formato 20x20 cm

EJECUCIÓN DEL ENSAYO

Método de ensayo	Determinación de la absorción de agua en baldosas cerámicas NTC 4321-3 (2021-06-16), ISO 10545-3:2018		
Fecha de inicio	2024/03/01	**Fecha de finalización**	2024/03/05
Condiciones ambientales	NA	**Código interno**	AAB-24-007

Descripción de las baldosas

Formato (Antes)	20x20 cm	**Formato (Después de la preparación)**	20x20 cm

RESULTADOS

Espécimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (%)
1	3057,1	3577,4	17,0
2	3127,7	3675,1	17,5
3	3170,4	3734,4	17,8
4	3139,0	3775,4	20,3
5	2819,4	3403,5	20,7
Promedio de la muestra	**3062,7**	**3633,2**	**18,7**

Resultado del ensayo	**Absorción de agua**	**18,7 %**
	Incertidumbre (μ)	**± 1,50 %**

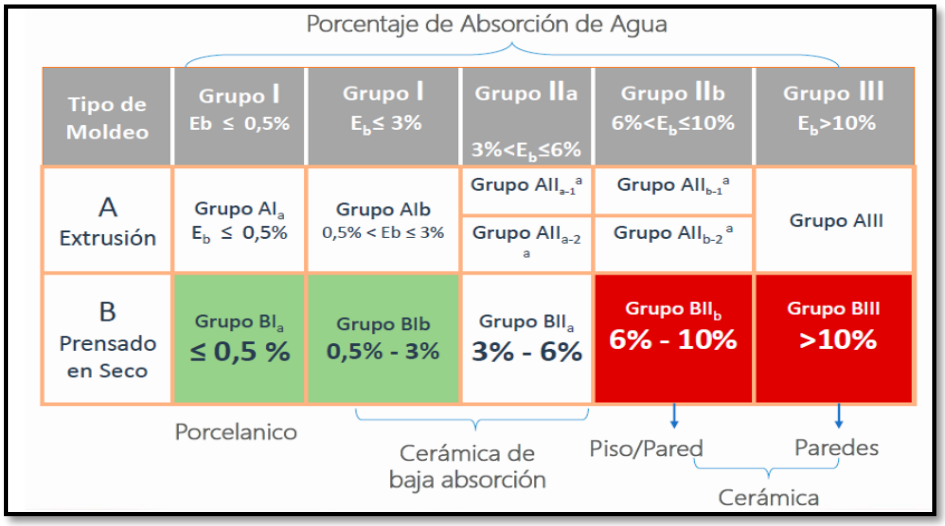
Nota. La imagen muestra el resultado obtenido en los ensayos de absorción realizado a las baldosas. Centro de Investigaciones de Materiales Cerámicos CIMAC (UFPS).

Con los resultados arrojados del ensayo se puede determinar que el porcentaje promedio de absorción de agua de las baldosas es de 18,7 %, con una incertidumbre de ±1,5 %. Por medio

de este porcentaje se puede clasificar según la NTC 919– 2022 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 2022) que las baldosas se encuentran dentro del grupo BIII, dado a que el porcentaje de absorción es mayor al 10 %, como se puede apreciar en la figura 27, siendo este grupo el que posee mayor porcentaje de absorción de agua. Clasificando estas baldosas como UGL (Baldosas rusticas de alta porosidad), las cuales son utilizadas generalmente para pisos de exteriores. (Ver figura 30).

Figura 30

Clasificación de las baldosas, según su porcentaje de absorción de agua.



Nota. Tomado de NTC 919

4.2.2 Determinación de la resistencia a la abrasión profunda en baldosas cerámicas no esmaltadas NTC 4321-6:2015, ISO 10545-6:2012.

Para ejecutar este ensayo se debe tener en cuenta la NTC 4321-6 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 2015), que indica que se debe trabajar con un mínimo de 5 especímenes,

libres de cualquier impureza y secos. En este caso trabajo con muestras de 10 x 10 (cm), debido a que estas dimensiones garantizan la exactitud de los resultados al calzar perfectamente en la máquina de desgaste para abrasión de baldosas. Está siendo capaz de medir con una exactitud de 0,1 mm. (Ver figura 31).

Figura 31

Máquina de desgaste para abrasión de baldosas.

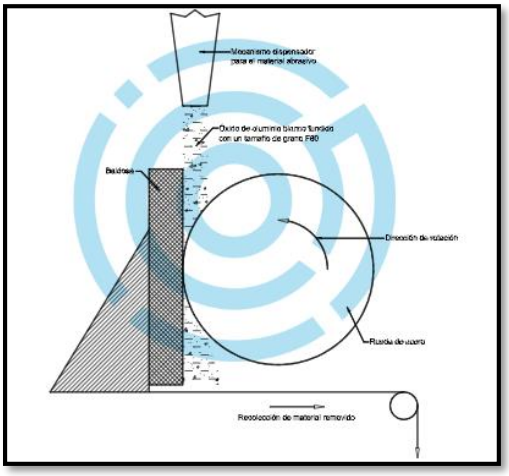


Nota. Tomado de Centro de Investigaciones de Materiales Cerámicos CIMAC (UFPS) (2024)

Para la ejecución del ensayo, el primer paso que se realiza fue insertar la muestra en el soporte, apoyado a un contrapeso en el cual el espécimen se fijó con un adhesivo sobre una base de mayor tamaño, garantizando así la estabilidad de este. Cabe resaltar, que esta máquina a su vez cuenta con una tolva de almacenamiento, que posee un dispensador, en este caso de óxido de aluminio blanco fundido con un tamaño de grano de F80 y un disco fabricado de acuerdo con la norma ISO 630, cuyo diámetro es de (198-202) mm, posee un espesor de (9-11) mm y una velocidad de giro de 75 r/min. (Ver figura 32).

Figura 32

Diagrama esquemático del equipo de abrasión profunda.



Nota. Recuperado de la NTC 4321-6.

Es importante tener presente que la muestra se debe instalar en la máquina de manera que sea tangente al disco rotatorio. Así mismo, asegurando que el material abrasivo alimente de manera uniforme toda la zona de contacto entre el disco y la muestra a ensayar. Una vez garantizados los criterios mencionados anteriormente, se rota el disco a 150 r. Y, ya culminadas esta cantidad de revoluciones se retira el espécimen de la maquina y se mide la longitud de la huella que se debe expresar en mm. Cada una de las muestras es verificada mínimo dos veces en observando que las huellas forman un ángulo recto como se puede apreciar en la figura 33.

Figura 33

Ensayo de abrasión.



Es de gran importancia resaltar, que el diámetro del disco giratorio con el que se trabaja es de 199,94 mm y cuenta con un espesor de 9,97 mm. Se puede apreciar, además, que la longitud de las huellas de todos los ensayos se encuentra en un rango de (26 – 56) mm.

Una vez terminado el ensayo, se procede a realizar un promedio del volumen obtenido de las dos huellas en cada espécimen, teniendo como resultado que la abrasión profunda de la baldosa es equivalente a 618,65 mm^3, con una incertidumbre de ± 7,98 mm^3 como se puede apreciar en la figura 34.

Figura 34

Resultados del ensayo de abrasión en cerámicas no esmaltadas.

EJECUCIÓN DEL ENSAYO

Método de ensayo	Determinación de la resistencia a la abrasión profunda en baldosas cerámicas no esmaltadas NTC 4321-6:2015, ISO 10545-6:2012.		
Fecha de inicio	2024/03/06	**Fecha de finalización**	2024/03/08
Condiciones ambientales	NA	**Código interno**	APB-24-006

RESULTADOS

Espécimen N°	Huella N°	Longitud de la huella (mm)	Volumen de cada huella (mm³)	Volumen promedio de las huellas (mm³)
1	1	27,0	164,49	155,65
	2	26,0	146,82	
2	1	30,0	225,93	382,18
	2	40,0	538,42	
3	1	49,5	1.027,17	606,35
	2	28,0	183,53	
4	1	40,0	538,42	570,15
	2	41,5	601,87	
5	1	53,0	1.264,41	1379,90
	2	56,0	1.495,39	
Volumen promedio total de la muestra (mm³)				**618,65**

Resultado del ensayo	**Abrasión profunda mm³**	**618,65 mm³**
	Incertidumbre (μ)	**± 7,98 mm³**

Diámetro del disco giratorio (d)	199,94 mm	**Espesor del disco giratorio (h)**	9,97 mm

Nota. La figura muestra los resultados de resistencia a la abrasión. Centro de Investigaciones de Materiales Cerámicos CIMAC (UFPS) (2024).

Posteriormente, se realiza un comparativo del volumen promedio obtenido de cada huella con los establecidos en la NTC 4321-6 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 2015). Del cual, se llega a la conclusión que no se encuentran alejados de los valores equivalente ya determinados según la norma como se evidencia en la figura 35. Esto garantiza que la baldosa a nivel de desgaste cumple con los estándares establecidos.

Figura 35

Tabla de valores equivalente en el ensayo de abrasión según la NTC 4321-6.

L mm	V mm³	L mm	V mm³	L mm	V mm³	L mm	V mm³	L mm	V mm³
20	67	30	227	40	540	50	1 062	60	1 851
20,5	72	30,5	238	40,5	561	50,5	1 094	60,5	1 899
21	77	31	250	41	582	51	1 128	61	1 947
21,5	83	31,5	262	41,5	603	51,5	1 162	61,5	1 996
22	89	32	275	42	626	52	1 196	62	2 046
22,5	96	32,5	288	42,5	649	52,5	1 232	62,5	2 097
23	102	33	302	43	672	53	1 268	63	2 149
23,5	109	33,5	316	43,5	696	53,5	1 305	63,5	2 202
24	116	34	330	44	720	54	1 342	64	2 256
24,5	123	34,5	345	44,5	746	54,5	1 380	64,5	2 310
25	131	35	361	45	771	55	1 419	65	2 365
25,5	139	35,5	376	45,5	798	55,5	1 459	65,5	2 422
26	147	36	393	46	824	56	1 499	66	2 479
26,5	156	36,5	409	46,5	852	56,5	1 541	66,5	2 537
27	165	37	427	47	880	57	1 583	67	2 596
27,5	174	37,5	444	47,5	909	57,5	1 625	67,5	2 656
28	184	38	462	48	938	58	1 689	68	2 717
28,5	194	38,5	481	48,5	968	58,5	1 713	68,5	2 779
29	205	39	500	49	999	59	1 758	69	2 842
29,5	215	39,5	520	49,5	1 030	59,5	1 804	69,5	2 906

Nota. Tomado de NTC 4321-6.

4.2.3 Determinación del módulo de rotura y la resistencia a la flexión en baldosas cerámicas NTC 4321-4 (2020-01-29), ISO 10545-4:2019.

El primer paso para realizar la determinación del ensayo de módulo de rotura y resistencia a la flexión consiste en verificar el estado actual de los especímenes que se van a ensayar, se debe comprobar que estos no tengan ningún tipo de fisura que provoque alteraciones en los resultados. Así mismo, se debe identificar el número de muestras que se van a experimentar tomando como referencia lo estipulado en la NTC 4321-4, (Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 2020). Teniendo en cuenta en los establecido en la figura 36. Con esto se determina que la baldosa tiene un espesor superior a los 7,5 mm y un área de 40 000 mm^2. Se procede a realizar el ensayo con un total de 7 especímenes como lo indica la norma.

Figura 36

Número de especímenes de ensayo para baldosas con espesor mayor a 7,5 mm.

Área máxima *A* mm²	Número de especímenes a ensayar	Número total de baldosas	Número total de especímenes	Mínimo número de resultados aceptables
2 500 < *A* ≤ 40 000	1	7	7	5
40 000 < *A* ≤ 360 000	1	7	7	5
A > 360 000	1	3	3	3

Nota. Recuperado de NTC 4321-4.

Teniendo la cantidad de muestras con las que se va a trabaja, se procede a retirar cualquier tipo de partículas sueltas que estas tengan con ayuda de un cepillo rígido. Posteriormente, se ingresan al horno por un periodo mínimo de 24 horas a una temperatura entre 100 y 110 °C.

Una vez transcurrido este tiempo se retiran del horno y se dejan enfriar a temperatura ambiente. Es de gran importancia resaltar que las muestras se deben ensayar una vez alcanzada la temperatura ambiente y este tiempo de espera no debe superar las 3 horas según lo establecido en la NTC 4321-4, (Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 2020).

Seguidamente, se debe colocar la muestra sobre las barras de soporte asegurando que este sobresalga de cada barra en una longitud de 5 a 15 mm según la norma, y, como se puede observar en la figura 37.

Figura 37

Traslape de baldosas sobre las barras de soporte.

Lado largo de la baldosa (L) (mm)	Diámetro de la barra (d) (mm)	Espesor del caucho (t) (mm)	traslape de la baldosa que sobresale sobre los soportes (l_1) (mm)
18 ≤ L < 48	5 ± 1	1 ± 0,2	2 ± 1
48 ≤ L < 95	10 ± 1	2,5 ± 0,5	5 ± 3
L ≥ 95	20 ± 1	5 ± 1	10 ± 5

Nota. Tomado de NTC 4321-4.

Cabe resaltar, que este ensayo es realizado con 3 apoyos. De los que dos de ellos corresponden a las barras de soporte y el restante es la barra que aplica la carga. Dicha barra debe colocarse central equidistante entre las barras de soporte. (Ver figura 38).

Figura 38

Determinación del módulo de rotura y resistencia a la flexión en baldosas cerámicas.



Obteniendo los siguientes resultados, como se puede apreciar en la figura 39. Con la información obtenida se puede llegar a la conclusión que la baldosa posee una resistencia a la flexión promedio equivalente a 1050,30 N con una incertidumbre de ± 31,98 N. De igual

manera, alcanza un módulo de rotura de 0,82 N/mm2 con una incertidumbre de ± 1,09 N/mm2

Figura 39

Resultados del ensayo de módulo de rotura y resistencia a la flexión en baldosas cerámicas.

EJECUCIÓN DEL ENSAYO

Método de ensayo	Determinación del módulo de rotura y la resistencia a la flexión en baldosas cerámicas NTC 4321-4 (2020-01-29), ISO 10545-4:2019.		
Fecha de inicio	2024/03/06	**Fecha de finalización**	2024/03/13
Condiciones ambientales	NA	**Código interno**	RFB-24-007

RESULTADOS

Espécimen Nº	a (mm)	L (cm)	l (mm)	h (mm)	b (mm)	F (N)	S (N)	R (N/mm²)
1	203,35	183,35	10,00	42,34	199,24	1.533,8	1411,43	1,18
2	201,00	181,00	10,00	43,23	203,07	1.105,2	985,07	0,79
3	203,66	183,66	10,00	44,12	199,51	1.492,6	1374,03	1,06
4	202,33	182,33	10,00	41,81	202,29	1.367,0	1232,16	1,06
5	202,59	182,59	10,00	45,47	198,72	631,5	580,28	0,42
6	203,83	183,83	10,00	46,74	198,97	1.003,2	926,86	0,64
7	204,41	184,41	10,00	44,95	199,46	911,0	842,27	0,63
Promedio	**203,02**	**183,02**	**10,00**	**44,09**	**200,18**	**1.149,20**	**1.050,30**	**0,82**

Resultado del ensayo	**Resistencia a la flexión (N)**	**1050,30 N**
	Incertidumbre (μ)	**± 31,98 N**
	Módulo de rotura (N/mm²)	**0,82 N/mm²**
	Incertidumbre (μ)	**± 1,09 N/mm²**

Espesor del caucho (t)	5,0 mm	**Diámetro de la barra (d)**	20,0 mm

Convenciones			
a	Largo promedio	L	Espacio entre las barras de soporte
l	Distancia entre los puntos de apoyo y el extremo de la baldosa	h	Espesor mínimo a lo largo del borde de fractura
b	Ancho promedio	F	Carga de rotura de flexión
S	Resistencia a la flexión	R	Módulo de rotura

Nota. La imagen muestra los resultados obtenidos en los ensayos de rotura y resistencia a la flexión. Centro de Investigaciones de Materiales Cerámicos CIMAC (UFPS) (2024)

4.3 Comparar las características físico-mecánicas, de las baldosas elaboradas con arcilla y polietileno de alta densidad (PEAD) reciclado y las baldosas comercialmente disponibles en el mercado.

Por otro lado, ya determinadas ciertas propiedades físico-mecánicas de la baldosa fabricada a base de arcilla y polietileno de alta densidad (PEAD), se procede a realizar una comparación entre esta y dos establecidas en el mercado, con el fin de verificar si dichas propiedades se encuentran dentro de los estándares que son tenidos en cuenta a la hora de ser comercializadas.

En primera instancia, se describe a detalle las características físico-mecánicas del espécimen elaborado con arcilla y polietileno de alta densidad (PEAD), que presenta un tamaño nominal de 20x20x7.5 cm, y, que por medio de los ensayos previamente realizados se determina que presentan una resistencia a la flexión equivalente a 1050,30 N ± 31,98 N, un módulo de rotura igual a 0,82 N/mm2 ± 1,09 N/mm2, con una resistencia a la abrasión profunda es de 618,65 mm^3 ± 7,98 mm^3 y con una capacidad de absorción de agua que se encuentra entre 17,2 % y 20,2 %.

Así mismo, en este caso puntual, se decide realizar la comparación con dos baldosas de la entidad Alfa (Cerámicos). Correspondiendo la primera baldosa seleccionada a una prensada en seco, y que cuenta con un tamaño nominal 20x20x1.5 cm; es de uso residencial en especial pisos exteriores y paredes. Posee una resistencia a la flexión de 1500, un módulo de rotura mayor a > 23 N/mm2, su resistencia a la abrasión profunda es menor a 175 mm^3 y una absorción al agua <

3 %.

Por otra parte, el segundo espécimen seleccionado para la comparación cuenta con un tamaño nominal de 30,5x30,5x1,05 cm respectivamente. Dicha baldosa presenta una resistencia a la flexión mayor a los 1500 N, un módulo de rotura mayor a los 20 N/mm^2, su resistencia a la abrasión profunda es menor a 275 mm^3 y aporta una absorción de agua menor al 6 %. (Ver figura 40).

Figura 40

Comparación entre la baldosa de Arcilla y PEAD, Tablón de gres y New tablón tradición rojo.

<table>
<tr><th colspan="4">Comparación de las características físico-mecánicas, de la baldosa elaborada con arcilla y polietileno de alta densidad (PEAD) reciclado y baldosas comercialmente disponibles en el mercado</th></tr>
<tr><td colspan="4">Baldosa de arcilla y polietileno de alta densidad (PEAD)</td></tr>
<tr><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td colspan="2">DIMENSIONES</td><td colspan="2">CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</td></tr>
<tr><td>Longitud</td><td>200 mm</td><td>Resistencia a la flexión</td><td>1050,30 N ± 31,98 N</td></tr>
<tr><td>Ancho</td><td>200 mm</td><td>Módulo de rotura</td><td>0,82 N/mm2 ± 1,09 N/mm2</td></tr>
<tr><td>Espesor</td><td>75 mm</td><td>Resistencia a la abrasión profunda</td><td>618,65 mm³ ± 7,98 mm³</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>Absorción de agua</td><td>18,7% ± 1,5%</td></tr>
<tr><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td colspan="2">TABLON DE GRES</td><td colspan="2">NEW TABLON TRADICION ROJO 30.5X30.5 -1</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="4">DIMENSIONES</td></tr>
<tr><td>Longitud</td><td>205 mm</td><td>Longitud</td><td>305 mm</td></tr>
<tr><td>Ancho</td><td>205 mm</td><td>Ancho</td><td>305 mm</td></tr>
<tr><td>Espesor</td><td>10.5 mm</td><td>Espesor</td><td>10,5 mm</td></tr>
<tr><td colspan="4">CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</td></tr>
<tr><td>DESCRIPCIÓN</td><td>RESULTADOS</td><td>DESCRIPCIÓN</td><td>RESULTADOS</td></tr>
<tr><td>Resistencia a la flexión</td><td>1500 N</td><td>Resistencia a la flexión</td><td>> 1500 N</td></tr>
<tr><td>Módulo de rotura</td><td>> 23 N/mm2</td><td>Módulo de rotura</td><td>> 20 N/mm2</td></tr>
<tr><td>Resistencia a la abrasión profunda</td><td>< 175 mm³</td><td>Resistencia a la abrasión profunda</td><td>< 275 mm³</td></tr>
<tr><td>Absorción de agua</td><td>< 3%</td><td>Absorción de agua</td><td>< 6%</td></tr>
</table>

A raíz de la comparación realizada, se puede evidenciar que los valores obtenidos en la baldosa elaborada con arcilla y un 5 % de polietileno de alta densidad (PEAD), en cuanto a la flexión y módulo de rotura no fueron los esperados, ya que, a pesar de las dimensiones de la baldosa, no cumple el mínimo establecido por la NTC 919, (Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 2022). Además, el módulo de rotura está muy por debajo de sus comparativos, dejándolo descartado en ese punto, siendo un elemento muy frágil y fácil de quebrar.

Por otro lado, en el ensayo de abrasión profunda se logró determinar que su degaste es bastante significativo a comparación con sus similares. Lo que nos indica que su deterioro será más notorio con el paso del tiempo. Sin embargo, según lo determinado a partir del ensayo, la muestra diseñada con arcilla y un agregado del 5% de polietileno de alta densidad (PEAD), está cerca de lo establecido por la NTC 4321-6, (Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 2015) en cuanto a su longitud de huella y su volumen promedio clasificándose, así como una baldosa de tráfico liviano, apta para el uso de paredes de cocina, o baños sociales.

De igual manera, en el ensayo de absorción de agua podemos denotar que el modelo elaborado a base de arcilla y un agregado del 5 % de polietileno de alta densidad (PEAD), es el que tiene mayor porcentaje de absorción (18,7 %) siendo clasificado dentro del grupo BIII; mientras los otros dos ejemplares se encuentran en el grupo BII (3 % - 6 %)(Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 2021). Por lo cual, el prototipo realizado está clasificado como una baldosa de aspecto natural, sostenible y rústico de alta porosidad la cual es apta para pavimentar pisos exteriores (UGL). Por consiguiente, obtuvimos ventajas como una mayor adherencia en exteriores, óptimas características antideslizantes, gran transpirabilidad que le

permite absorber y liberar humedad ofreciendo un plus en climas fríos. Por último, debemos enmarcar que siendo un elemento cerámico y gracias a su gran capacidad de absorción de agua se comportará inherentemente resistente al fuego, lo que puede contribuir a la seguridad general. Sin embargo, debemos tener en cuenta que una alta absorción, presenta una mayor susceptibilidad a las machas, y una posible mayor vulnerabilidad al daño por congelación.

5 Conclusiones

Se pudo evidenciar que, al momento de elaborar el diseño de mezcla para la baldosa, es de gran importancia que el porcentaje de polietileno de alta densidad (PEAD) que se adiciona sea en un porcentaje inferior al 5 % del peso de la arcilla. Puesto que, este material puede afectar el comportamiento del elemento como sucedió en este estudio en el cual las baldosa que tienen porcentajes superior presentaron fisuras incluso antes de este ser sometido al horno, debido a la dificultad de compactación por el tamaño nominal del polietileno de alta densidad (PEAD).

La incorporación del polietileno de alta densidad (PEAD), en el ámbito de la construcción, desde un punto de vista sostenible resulta de gran utilidad para contribuir a la preservación del medio ambiente. Ya que, este material es uno de los mayores agentes contaminantes en la actualidad. Sin embargo, en cuanto a los parámetros físico-mecánicos del elemento, estos no fueron del todo satisfactorios debido a que según los estudios realizados al espécimen en cuestión se pudo apreciar que estos no cumplen a cabalidad con los estándares de calidad establecidos en la normatividad vigente.

Podemos concluir que al momento de incorporar polietileno de alta densidad (PEAD) al diseño de la baldosa, y compararlas, se pudo determinar que los resultados de las características físico-mecánicas de nuestro espécimen, se encuentran por debajo de los ejemplares que actualmente están presentes en el mercado de esta industria. Sin embargo, los diversos resultados obtenidos de resistencia a la flexión, módulo de rotura, resistencia a la abrasión profunda y absorción de agua; no se encuentran alejados de dichos parámetros en comparación con las

baldosas de la empresa Alfa, en donde, según las propiedades de uso nos indica que el elemento de estudio encaja con los requerimientos necesarios para comprobar que esta puede ser utilizada en pisos exteriores.

6 Recomendaciones

Es importante tener presente que, a la hora de trabajar con diversos materiales, debemos determinar los tamaños nominales de las partículas, ya que, estas pueden garantizar o afectar las diversas propiedades de un elemento.

Es de gran utilidad a la hora de realizar un proyecto y aún más en la invención de un elemento, tener claras todas las normatividades que en él aplican, así mismo, realizar estudios e investigaciones previas sobre temas relacionados. Esto con el fin, de tener un mejor estado del arte para el desarrollo de futuros proyectos.

Dentro de un proyecto tan ambicioso como lo fue éste, siempre se desea que haya una mejora continua del mismo. Por lo tanto, se recomienda a futuros estudiantes de ingeniería civil que tengan interés en el proyecto, el desarrollo del diseño de baldosas a base con arcilla y agregado de polietileno de alta densidad (PEAD), y con más urgencia la implementación de neumáticos desgastados previamente triturados, para hacer comparaciones entre los resultados arrojados por estas.

Como futuros profesionales, debemos apostar más a la implementación de materiales reciclables. Principalmente, en el área de la construcción, la cual es una de las que mayores residuos genera, afectando así el desarrollo ambiental. Por ende, es importante generar conciencia de que a muchos residuos es posible brindarles una segunda vida útil la cual contribuya tanto a la sostenibilidad como al desarrollo de la humanidad.

Referencias

Abad y Trokhimtchouk (2013). Guía del proceso industrial para la fabricación de baldosas cerámicas. [Tesis de pregrado, Universidad Internacional del Ecuador]. Repositorio UIDE. https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/583/1/T-UIDE-0534.pdf

Abellán et al. (2016). Estudio de los factores de transmisión de la variabilidad dimensional en la fabricación de baldosas cerámicas. Congreso Nacional de Ingenieria Mecánica. https://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/165626/bruscas_estudio_2016.pdf?isAllowed=y&sequence=1

Almeida et al. (2021). Una nueva formulación en masa ecológica a base de residuos de la minería industrial para la fabricación de baldosas cerámicas. Cerámica Internacional. 47 (8). Pp. 11340-11348. https://www-sciencedirect-com.sibdigital.ufpso.edu.co/science/article/abs/pii/S0272884220338761

Araque et al. (2015). Desempeño mecánico y tribológico de baldosas cerámicas de arcilla roja recubiertas por proyección térmica a partir de alúmina. Revista Tecno Lógicas. 18(35). Pp. 125 – 135. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=344243102012

Arciniegas y Muñoz (2017). Propuesta para la elaboración de baldosas artesanales tipo cerámica adicionando calamina, en la empresa alambre y mallas S.A.-ALMASA. [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José De Caldas]. Repositorio Udistrital

https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/8317/Mu;jsessionid=C58784EA7FBDF9E24619EC1931CCABFF?sequence=7

Cantoni, N. (2009). Técnicas de muestreo y determinación del tamaño de la muestra en investigación cuantitativa. Cantoni Rabolini, 9. https://www.sai.com.ar/metodologia/rahycs/rahycs_v7_n2_06.htm

Comunicación, C. (2016). Impacto ambiental del sector cerámico. https://www.cerembs.co/blog/impacto-ambiental-del-sector-ceramico

Delgado et al. (2020). Fabricación de baldosas a base de plástico reciclado. [Trabajo de pregrado, Universidad San Ignacio De Loyola]. Repositorio Institucional. https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/c91ad6a6-eafe-4a22-b0fd-60fdaa437ec3/content

Días y Sánchez (2019). Incorporación del plástico PET en la fabricación de ladrillos artesanales en JAEN. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén, Perú]. core.ac.uk. https://core.ac.uk/download/pdf/287369509.pdf

Gonzalez I. (s.f.). Diseño de experimentos y su aplicación en la industria. https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/sahagun/n1/e1.html

Greenpace. (2018). Colombia mejor sin plásticos: La contaminación plástica de Colombia y el

mundo. http://greenpeace.co/pdf/reporte_plasticos.pdf

Huitz Puac M. (2003). Métodos de ensayo para el control de calidad de baldosas y ladrillos cerámicos según normas nacionales e internacionales. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio institucional. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2317_C.pdf

Instituto Colombiano de Normas Técnicas. (2015). Baldosas cerámicas. Parte 6. Método de ensayo para determinar la resistencia a la abrasión profunda en baldosa no esmaltadas. (Segunda).

Instituto Colombiano de Normas Técnicas. (2020). Baldosas cerámicas. Parte 4: Método de ensayo para determinar el módulo de rotura y la resistencia a la flexión. (Tercera).

Instituto Colombiano de Normas Técnicas. (2021). Baldosas cerámicas. Parte 3: Método de ensayo para determinar la absorción de agua, porosidad aparente, densidad relativa aparente y densidad aparente (Segunda).

Instituto Colombiano de Normas Técnicas. (2022). Baldosas cerámicas. Definiciones, clasificación, características y rotulado. NTC-919 (Séptima).

Instituto Nacional de Vías. (2013a). (INV) E-123 (Determina los tamaños de las partículas de los suelos de manera cuantitativa.). https://inteinsapavimentos.com.co/wp-

content/uploads/2020/07/SECCIO%CC%81N-100.pdf

Instituto Nacional de Vías. (2013b). (INV) E-125 (Determina el límite líquido de los suelos.). https://inteinsapavimentos.com.co/wp-content/uploads/2020/07/SECCIO%CC%81N-100.pdf

Instituto Nacional de Vías. (2013c). (INV) E-126 (a Determina el límite plástico y el índice de plasticidad de los suelos.). https://inteinsapavimentos.com.co/wp-content/uploads/2020/07/SECCIO%CC%81N-100.pdf

Instituto Nacional de Vías. (2013d). (INV) E-128 (Determina la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y de la llenante mineral empleando un picnómetro con agua.). https://inteinsapavimentos.com.co/wp-content/uploads/2020/07/SECCIO%CC%81N-100.pdf

Instituto Valenciano de la Edificación (s.f.). Guía de la baldosa cerámica. https://static1.squarespace.com/static/528b85cfe4b030a48afd1efc/t/5499d44ae4b04cede1dfb66d/1419367498929/Guia_baldosa_ceramica+5%C2%BA+edici%C3%B3n.pdfencurtador.com.br/biot

Madariaga y Robles (2018). Caracterización de las propiedades fisicomecánicas del concreto reforzado con adición de fibra de polipropileno en viga. [Tesis de pregrado, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña]. Repositorio Institucional.

http://repositorio.ufpso.edu.co/xmlui/bitstream/handle/123456789/1005/31195.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mejía Osorio, D.C. (2020). Estudio del manejo de residuos plásticos en Colombia. [Trabajo de grado, Tecnológico de Antioquia, Institución Universitaria]. Repositorio institucional. https://dspace.tdea.edu.co/bitstream/handle/tdea/952/Residuos%20plasticos.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pastor J. (1993). Fractura de materiales cerámicos estructurales avanzados. [Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid]. https://oa.upm.es/93/1/X1008701.pdf

Polímeros y Cerámicos. (s.f.). Ventajas y desventajas de los polímeros. https://cienciadelosmateriales.weebly.com/ventajas-y-desventajas1.html

Prieto et al. (2017). Economía circular: Relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación, 86 – 87. https://www.researchgate.net/publication/321197773_Economia_circular_Relacion_con_la_evolucion_del_concepto_de_sostenibilidad_y_estrategias_para_su_implementacion_-_Circular_economy_Relationship_with_the_evolution_of_the_concept_of_sustainability_and_

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – PNUMA. (2021). De la contaminación a la solución: una evaluación global de la basura marina y la

contaminación por plásticos. Síntesis.

Qibin et al. (2022). Aprovechamiento de cenizas volantes convertidas en energía en baldosas cerámicas. Revista Construcción y Materiales de Construcción. Vol. 347. https://www-sciencedirect-com.sibdigital.ufpso.edu.co/science/article/abs/pii/S0950061822021353

Reciclario (s.f.). Polietileno de alta densidad o PEAD (2). https://reciclario.com.ar/indice/plastico-2/polietileno-de-alta-densidad-o-pead-2/

Restrepo O. (2011). Baldosas cerámicas y gres porcelánico: un mundo en permanente en evolución. (1ª ed.). Centro Editorial Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/47252

Roca Girón I. (2005). Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (PEAD). [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio institucional. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0639_Q.pdf

Ros Dosdá (2010). Impactos ambientales del ciclo de vida de las baldosas cerámicas. Análisis sectorial, identificación de estrategias de mejora y comunicación. Congreso Nacional del Medio Ambiente. España. http://www.conama10.vsf.es/conama10/download/files/CT%202010/845215685.pdf

Sánchez y Castellanos (2020). Tabletas arquitectónicas para pared a base de botellas plásticas

recicladas. [Tesis de pregrado, Universidad La Gran Colombia]. Repositorio institucional. https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5648/TABLETAS%20ARQUITECT%C3%93NICAS%20PARA%20PARED%20A%20BASE%20DE%20BOTELLAS%20PL%C3%81STICAS%20RECICLADAS-SANCHEZ%20AVILA%20JORGE%20DAVID%20-%20CASTELLANOS%20TORRES%20LIZETH%20MARCELA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sanclemente M. (2020). Formulación de un plan de negocio para la fabricación de baldosas ecológicas (ECOBAL) mediante el aprovechamiento de residuos sólidos urbanos. [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomas Villavicencio]. Repositorio Institucional. https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/29732/2020mariasanclemente.pdf?sequence=1

Soliz y Yunga (2021). Comparación de la calidad post quema de diferentes materiales feldespáticos en un horno a implementarse en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería en Minas. [Tesis de pregrado, Universidad Del Azuay Facultad De Ciencia Y Tecnología, Ecuador]. Repositorio Institucional. https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/11246/1/16783.pdf

Téllez M. (2019). Síntesis y caracterización de compuestos cermets base mullita reforzados con nanopartículas de plata. [Tesis Doctoral, Universidad Autónoma del Estado De México].

Repositorio Institucional. http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/105807/TESIS-DOCTORADO-%20Mercedes%20Gabriela%2019FEBRERO2019.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Vélez, L. (2008). Materiales industriales teoría y aplicaciones. Medellín, Colombia: Instituto Tecnológico Metropolitano Medellín.

Zanelli et al. (2021). Reciclaje de residuos en baldosas cerámicas: una perspectiva tecnológica. Recursos Conservación y Reciclaje. Vol. 168. https://www-sciencedirect-com.sibdigital.ufpso.edu.co/science/article/abs/pii/S0921344920306042

Zea Osorio N. (2005). Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio institucional. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2549_C.pdf

Apéndices

Apéndice A

Ficha técnica de la baldosa en arcilla y plástico de alta densidad PEAD

<table>
<tr><td colspan="4">FICHA TÉCNICA DE BALDOSAS ELABORADAS CON ARCILLA Y LA INCORPORACIÓN DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PEAD) DE ORIGEN RECICLADO.</td></tr>
<tr><td colspan="2">NOMBRE DEL PRODUCTO</td><td colspan="2">BALDOSA DE ARCILLA Y PEAD</td></tr>
<tr><td colspan="4">DEFINICIÓN</td></tr>
<tr><td colspan="4">Las baldosas con arcilla y PEAD, son elementos prefabricados de arcilla y polietileno de alta densidad triturado (PEAD), generalmente rústicas, aptos para la pavimentación de ambientes externos de la vivienda debido a su alta capacidad de absorción de agua, clasificando este elemento como una baldosa no esmaltada (UGL).</td></tr>
<tr><td colspan="4">DIMENSIONES</td></tr>
<tr><td>Longitud</td><td colspan="2">200 mm</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>Ancho</td><td colspan="2">200 mm</td></tr>
<tr><td>Espesor</td><td colspan="2">75mm</td></tr>
<tr><td>Uso</td><td colspan="3">Exterior</td></tr>
<tr><td>Aspecto</td><td colspan="3">Brillante</td></tr>
<tr><td>Color</td><td colspan="3">A convenir</td></tr>
<tr><td>Acabado</td><td colspan="3">Estándar</td></tr>
<tr><td colspan="4">CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</td></tr>
<tr><td>DESCRIPCIÓN</td><td colspan="2">NORMA</td><td>RESULTADOS</td></tr>
<tr><td>Resistencia a la flexión</td><td colspan="2">NTC 4321 - 4</td><td>1050,30 N ± 31,98 N</td></tr>
<tr><td>Módulo de rotura</td><td colspan="2">NTC 4321 - 4</td><td>0,82 N/mm2 ± 1,09 N/mm2</td></tr>
<tr><td>Resistencia a la abrasión profunda</td><td colspan="2">NTC 4321 - 6</td><td>618,65 mm³ ± 7,98 mm³</td></tr>
<tr><td>Absorción de agua</td><td colspan="2">NTC 4321 - 3</td><td>18,7% ± 1,5%</td></tr>
<tr><td colspan="4">CARACTERISTICAS DE LA MATERIA PRIMA</td></tr>
<tr><td>MATERIAL</td><td>CANTIDAD</td><td colspan="2">OBJETIVO</td></tr>
<tr><td>Arcilla de alta plasticidad</td><td>3,5 Kg</td><td colspan="2">Obtener consistencia y añadirle plasticidad al elemento</td></tr>
<tr><td>PEAD</td><td>19,3 gr (5,5% de arcilla)</td><td colspan="2">Brindar un aporte ecólogico y resistencia al elemento.</td></tr>
<tr><td colspan="4">RECOMENDACIONES DE ALMACENAJE</td></tr>
<tr><td colspan="4">Almacenar en lugar limpio, seco y de forma orizontal correctamente apiladas</td></tr>
<tr><td colspan="4">Debe acopiarse sobre una estiba para evitar el deterioro de la cara vista</td></tr>
</table>

Nota. Fuente: Autor 2024

Apéndice B

Ficha técnica de ALFACERÁMICOS

ALFACERÁMICOS

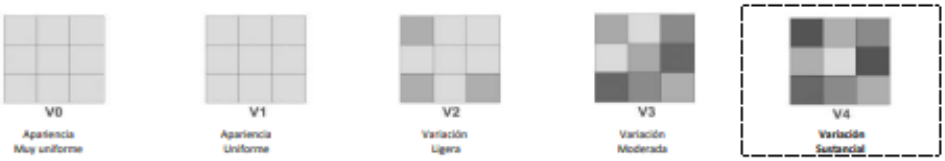
FICHA TÉCNICA

CÓDIGO SAP	225026400
NOMBRE DE LA REFERENCIA	NEW TABLON TRADICION ROJO 30.5X30.5 -1
TAMAÑO NOMINAL(cm) NO MODULAR	30.5X30.5
GRUPO DE ABSORCIÓN	Alta Parte I/Anexo B
USO	PISO
TRAFICO	COMERCIAL ALTO
ESPESOR FABRICACIÓN (mm)	10.5
m^2 POR CAJA	1
UNIDADES	11
VARIACIÓN DE TONO SEGÚN NORMA ANSI A137-1	V4



El color presentado en la fotografía es una aproximación al color real.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		ENSAYO	ESPECIFICACIÓN	ALFAGRES
ANCHO Y LARGO		NTC 4321 - 2 ISO 10545 - 2	± 2%Tamaño de fabricación /± 1,5%Tamaño promedio	< 1%
ESPESOR		NTC 4321 - 2 ISO 10545 - 2	± 10 %	< 10 %
RECTITUD DE LOS LADOS		NTC 4321 - 2 ISO 10545 - 2	± 0,6%	< 0,6%
ORTOGONALIDAD		NTC 4321 - 2 ISO 10545 - 2	± 1%	< 1%
PLANARIDAD DE LA SUPERFICIE	Curvatura Central	NTC 4321 - 2 ISO 10545 - 2	±1,5%	< 1%
	Curvatura del lado	NTC 4321 - 2 ISO 10545 - 2	±1,5%	< 1%
	Alabeo	NTC 4321 - 2 ISO 10545 - 2	±1,5%	< 1%
DEFECTOS SUPERFICIALES		NTC 4321 - 2 ISO 10545 - 2	Mínimo 95% libre de defectos	Mínimo 95% libre de defectos
ABSORCIÓN DE AGUA		NTC 4321 - 3 ISO 10545 - 3	3% < E ≤ 6%, valor individual máximo 6,5%	< 6 %
RESISTENCIA A LA ROTURA POR FLEXIÓN		NTC 4321 - 4 ISO 10545 - 4	a) Espesor ≥ 7,5 mm, Mínimo 950 N	> 1500 N
MÓDULO DE ROTURA		NTC 4321 - 4 ISO 10545 - 4	Mínimo 20 N/mm2, mínimo individual 18 N/mm2	> 20 N/mm2
RESISTENCIA A LA ABRASIÓN PROFUNDA DE BALDOSAS NO ESMALTADAS: VOLUMEN REMOVIDO mm 3		NTC 4321 - 6 ISO 10545 - 6	Máximo 393 mm 3	< 275 mm3
RESISTENCIA AL CUARTEO		NTC 4321 - 11 ISO 10545 - 11	Método de ensayo disponible	No Aplica
RESISTENCIA AL CONGELAMIENTO		NTC 4321 - 12 ISO 10545 - 12	Método de ensayo disponible	Resistente
RESISTENCIA AL MANCHADO		NTC 4321 - 14 ISO 10545 - 14	No Aplica	No Aplica
RESISTENCIA A AGENTES QUÍMICOS		NTC 4321 - 13 ISO 10545 - 13	Resistencia a productos químicos domésticos y sales de piscina. Mínimo B	Clase A (No hay efecto visible)
			Resistencia a bajas concentraciones de ácidos y álcalis. El fabricante establece la clasificación	Clase BA (No hay efecto visible)
Coeficiente Dinámico de Fricción (DCOF)		ANSI A 137.1		Clase 2



Nota. Fuente: Alfacerámicos

Apéndice C

Ficha técnica de ALFACERÁMICOS

Línea
TABLÓN de Gres

▶ Formato Tablón - ESPECIFICACIONES PARA CALIDAD PRIMERA FICHA TECNICA AG-SA-CC-FT-009

FABRICANTE Alfagres S.A
Autopista Sur Km 13
Teléfono: 01-8000-914900
E-mail: telemercadeo@alfa.com.co
Pagina Web: www.alfa.com.co

Definición

El tablón Alfa es un producto de gres extruído, elaborado con arcillas de gran calidad que cocidas a altas temperaturas se vitrifican totalmente logrando baja absorción, alta resistencia a la abrasión, al ataque de agentes químicos y a la rotura, transfiriendole al producto final las características de un material natural con acabados rústicos.
Para brindarle al cliente las cualidades que busca, el material presenta algunas variaciones de tonos y tamaños, manchas sutiles, pecas, huellas y otras características propias de un producto natural.

Descripción

Formato: Tablón de Gres.
Los formatos, colores y texturas que se ofrecen en los tablones de gres permiten una gran variedad de diseños en la instalación.

Especificaciones (aprox)

REF.	FORMATO	ESPESOR	COLORES	TEXTURAS	PESO	CAJAS
Tradición	30.5x30.5	12		Lisa/rústica*	38* 27*	11
Latino	20.5x20.5	10,5		Lisa/rústica*	34* 25*	24
Portal	30.5x15	10,5		Lisa/rústica*	32* 23*	22
Túnez	15x15	10,5		Lisa/abrasiva	32* 22*	44
Andino	20.5x10	10,5		Lisa/rústica	32* 24*	48

*cerrado, *empacado, *fabricación bajo pedido

Usos

Producto diseñado para pisos exteriores e interiores sometidos a tráfico peatonal y vehicular en instalaciones de tipo residencial, institucional, comercial e industrial.

El tablón de Gres no es un elemento estructural.
Su comportamiento depende del elemento estructural que lo soporta.
En caso de ser utilizado en ambientes químicamente agresivos se requerira de juntas epóxicas.

(Para mayor información consulte con nuestro dpto. técnico)
(Consultar nuestra solución de pisos industriales)

Instalación

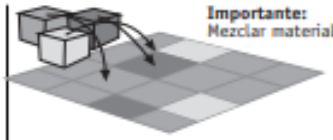
1. Verifique que la superficie se encuentre bien afinada y nivelada. (Libre de polvo o contaminantes que puedan afectar el pegue).
2. Humedezca la superficie a instalar.
3. El tablón de Gres no necesita remojarse en agua antes de su instalación. Como este producto presenta variaciones naturales tanto en **tono** como en **tamaño**, es necesario mezclar material de varias cajas antes de proceder con su instalación.
4. Se recomienda el uso de Alfalisto o Fijamix para hacer el pegue del material siga las instrucciones de preparación que se encuentran al reverso de cada bolsa.
5. Instale el tablón de gres sobre la mezcla dejando una junta de dilatación mínima de **6mm.**
6. Una vez instalado el tablón de gres, golpee suavemente cada pieza con un mazo de caucho hasta que la mezcla aparezca por los lados sin que rebose la superficie del tablón.
7. Después de instalado el tablón de gres limpie la superficie con una esponja húmeda para retirar los sobrantes de la mezcla.
8. Después de 24 horas emboquille con Alfacolor siguiendo las instrucciones que se encuentran al reverso de cada bolsa.
9. Es importante limpiar inmediatamente los residuos de Boquilla o Mortero que queden en la superficie del producto pues al secarse es muy difícil retirarlos. Si tiene alguna duda al respecto por favor comuníquese con nuestro departamento técnico.

Para una correcta instalación en grandes superficies, se recomienda el uso de juntas de dilatación perimetrales máximo cada 4 metros; igualmente, se deben respetar las juntas de dilatación entre elementos estructurales.

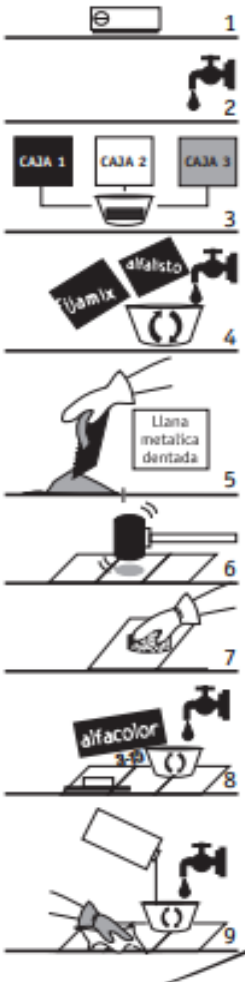
Tráfico

Comercial Alto

***Para referencias esmaltadas (GL) está definido un P.E.I 4**



Importante:
Mezclar material de varias cajas



ALFA
Primero en pisos

TABLON de Gres

▶ Formato Tablón - ESPECIFICACIONES PARA CALIDAD PRIMERA

FICHA TECNICA AG-SA-CC-FT-009

Especificaciones según Norma ISO 13006: Baldosas cerámicas extruidas, Grupo AI, Anexo A, Natural, Absorción inferior al 3%

CARACTERISTICA	ENSAYO	REQUERIDO	ALFAGRES
Absorción de Agua	ISO 10545-3	Promedio ≤ 3% Individual max 3.3%	< 3%
Calidad Superficial	ISO 10545-2	95% libre de defectos	> 95%
Resistencia a la Abrasión*	ISO 10545-7	P.E.I 4	P.E.I 4
Resistencia a la Abrasion Profunda	ISO 10545-6	< 275 mm3	< 175 mm3
Resistencia a la Rotura por Flexión	ISO 10545-4	1100 N para espesores ≥ 7,5mm / 600 N para espesores < 7,5mm	> 1500 N
Modulo de Rotura	ISO 10545-4	Promedio 23 N/mm2 Individual18 N/mm2	> 23 N/mm2
Coeficiente Estatico de Fricción	ISO 10545-17	CLASE 2 **	CLASE 2 **
Variación de Largo y Ancho	ISO 10545-2	± 2% del Tamaño de fabricación / ± 1,5% del Tamaño promedio	< 1%
Variación del Espesor	ISO 10545-2	±10%	< 5%
Ortogonalidad	ISO 10545-2	± 1%	< 1%
Rectilidad de los lados	ISO 10545-2	± 0,6%	< 0,6%
Curvatura central, curvarura de lado,alabeo	ISO 10545-2	1,5% - 1,5% - 1,5%	< 1%
Resistencia Quimica	ISO 10545 -13	Minimo UB	ULA,UHA,UA

*Aplica únicamente para unidades esmaltadas (GL)

** Para unidades esmaltadas (GL) está establecido como CLASE 1

NOTA: El tablón de gres pertenece al grupo A-I según NTC 919 / ISO 13006

Mantenimiento

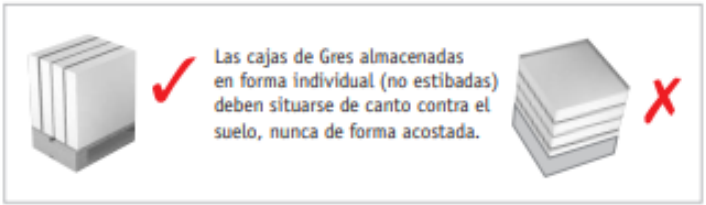
El tablón de gres no requieren de un mantenimiento especial, su limpieza diaria se debe realizar solamente con agua y cualquier tipo de detergente neutro o limpiador multiusos Alfa
Para un correcto mantenimiento favor revisar las instrucciones descritas en las guias de mantenimiento para los productos de gres.

GARANTIA: Alfa garantiza este producto por defectos de calidad por el termino de 2 años.

- En caso de inconformidad con el producto, suspenda la instalación y comuniquese con su proveedor.
- El no seguir las instrucciones de instalación y mantenimiento son causas para perder la garantía sobre el producto.
- Las especificaciones y diseños están sujetos a posibles modificaciones sin previo aviso.
- Aplica restricciones.

El contenido de la ficha o mejoras puede variar por cambios en las especificaciones técnicas de los productos o procedimientos

Almacenamiento recomendado a los clientes



ALFA
Primero en DISOS

Nota. Fuente: Alfacerámicos

Apéndice D

Ensayo de absorción de agua en baldosas cerámicas

LABORATORIO DE ENSAYOS

INFORME DE ENSAYO N° 24-004-01

Informe N°	24-004-01
Laboratorio de	Ensayos de Materiales Cerámicos
Dirección	Av. Gran Colombia N° 12E-96 Edificio los laboratorios, B. Colsag - Cúcuta
Solicitante	Bladys Alberto Caamaño Suarez
Dirección	Universidad Ocaña
Contrato de servicio N°	CS-24-004
Fecha de recepción	2024/02/23
Fecha de emisión	2024/03/15
Dirección de ejecución de los ensayos	Laboratorio de Ensayos de Materiales Cerámicos
Muestreo	NA - Producto enviado e identificado por el cliente
Número de páginas	Cuatro (4)

Este certificado no atribuye a las muestras de ensayo otras características diferentes que las mostradas por los datos aquí contenidos. El informe expresa fielmente los resultados de las mediciones en el momento y condiciones en que se efectuaron.
Los resultados de este informe se refieren única y exclusivamente a la muestra analizada.
El laboratorio del Centro de Investigación de Materiales Cerámicos se compromete a respetar estrictamente el carácter confidencial de los resultados presentes en este informe.
El informe de ensayos no es válido sin las firmas de autorización.
Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización previa escrita del CIMAC.

APROBÓ

PhD. Mg. Ing. Jorge Sánchez Molina
Director General
Tarjeta Profesional N° 989

MUESTRA DE ENSAYO

Identificación	Tableta de arcilla con PEAD
Descripción	Baldosa cerámica no esmaltada, de formato 20x20 cm

EJECUCIÓN DEL ENSAYO

Método de ensayo	Determinación de la absorción de agua en baldosas cerámicas NTC 4321-3 (2021-06-16), ISO 10545-3:2018		
Fecha de inicio	2024/03/01	**Fecha de finalización**	2024/03/05
Condiciones ambientales	NA	**Código interno**	AAB-24-007

Descripción de las baldosas

Formato (Antes)	20x20 cm	**Formato (Después de la preparación)**	20x20 cm

RESULTADOS

Espécimen N°	Masa seca del espécimen (g)	Masa húmeda del espécimen (g)	Absorción de agua (%)
1	3057,1	3577,4	17,0
2	3127,7	3675,1	17,5
3	3170,4	3734,4	17,8
4	3139,0	3775,4	20,3
5	2819,4	3403,5	20,7
Promedio de la muestra	**3062,7**	**3633,2**	**18,7**

Resultado del ensayo	**Absorción de agua**	**18,7 %**
	Incertidumbre (μ)	**± 1,50 %**

Universidad Francisco de Paula Santander
Centro de Investigaciones de Materiales Cerámicos CIMAC
Avenida Gran Colombia N° 12E-96 Barrio Colsag, San José de Cúcuta –Colombia.
Teléfono: (60) (7) 5776655 Ext. 353, e-mail: coordinaciontecnicacimac@ufps.edu.co
Página 1 de 4

FO-LA-86
Fecha: 2023/11/12
Versión: 01

Nota. Fuente: Centro de Investigaciones de Materiales Cerámicos CIMAC (UFPS).

Apéndice E

Ensayo resistencia a la abrasión profunda en baldosas cerámicas no esmaltadas

LABORATORIO DE ENSAYOS

INFORME DE ENSAYO N° 24-004-01

OBSERVACIONES

El ensayo se realizó mediante el método de vacío.

REVISÓ

Mg. Ing. Leidy K. Peñaloza Isidro
Profesional Apoyo Coordinación Técnica
Tarjeta Profesional N° 54228-413114 NTS

EJECUCIÓN DEL ENSAYO

Método de ensayo	Determinación de la resistencia a la abrasión profunda en baldosas cerámicas no esmaltadas NTC 4321-6:2015, ISO 10545-6:2012.		
Fecha de inicio	2024/03/06	**Fecha de finalización**	2024/03/08
Condiciones ambientales	NA	**Código interno**	APB-24-006

RESULTADOS

Espécimen N°	Huella N°	Longitud de la huella (mm)	Volumen de cada huella (mm³)	Volumen promedio de las huellas (mm³)
1	1	27,0	164,49	155,65
	2	26,0	146,82	
2	1	30,0	225,93	382,18
	2	40,0	538,42	
3	1	49,5	1.027,17	606,35
	2	28,0	183,53	
4	1	40,0	538,42	570,15
	2	41,5	601,87	
5	1	53,0	1.264,41	1379,90
	2	56,0	1.495,39	
Volumen promedio total de la muestra (mm³)				**618,65**

Resultado del ensayo	**Abrasión profunda mm³**	**618,65 mm³**
	Incertidumbre (μ)	**± 7,98 mm³**

Diámetro del disco giratorio (d)	199,94 mm	**Espesor del disco giratorio (h)**	9,97 mm

OBSERVACIONES

Los especímenes analizados fueron cortados en formato 10x10 cm de acuerdo a los requerimientos de preparación de probetas según la Norma Técnica Colombiana para la realización de este ensayo, se debe tener en cuenta que dicha preparación fue realizada por el Cliente.

REVISÓ

Mg. Ing. Leidy K. Peñaloza Isidro
Profesional Apoyo Coordinación Técnica
Tarjeta Profesional N° 54228-413114 NTS

Nota. Fuente: Centro de Investigaciones de Materiales Cerámicos CIMAC (UFPS).

Apéndice F

Ensayo de módulo de rotura y la resistencia a la flexión en baldosas cerámicas

LABORATORIO DE ENSAYOS

INFORME DE ENSAYO N° 24-004-01

EJECUCIÓN DEL ENSAYO

Método de ensayo	Determinación del módulo de rotura y la resistencia a la flexión en baldosas cerámicas NTC 4321-4 (2020-01-29), ISO 10545-4:2019.		
Fecha de inicio	2024/03/06	**Fecha de finalización**	2024/03/13
Condiciones ambientales	NA	**Código interno**	RFB-24-007

RESULTADOS

Espécimen N°	a (mm)	L (cm)	l (mm)	h (mm)	b (mm)	F (N)	S (N)	R (N/mm²)
1	203,35	183,35	10,00	42,34	199,24	1.533,8	1411,43	1,18
2	201,00	181,00	10,00	43,23	203,07	1.105,2	985,07	0,79
3	203,66	183,66	10,00	44,12	199,51	1.492,6	1374,03	1,06
4	202,33	182,33	10,00	41,81	202,29	1.367,0	1232,16	1,06
5	202,59	182,59	10,00	45,47	198,72	631,5	580,28	0,42
6	203,83	183,83	10,00	46,74	198,97	1.003,2	926,86	0,64
7	204,41	184,41	10,00	44,95	199,46	911,0	842,27	0,63
Promedio	**203,02**	**183,02**	**10,00**	**44,09**	**200,18**	**1.149,20**	**1.050,30**	**0,82**

Resultado del ensayo	**Resistencia a la flexión (N)**	**1050,30 N**
	Incertidumbre (μ)	**± 31,98 N**
	Módulo de rotura (N/mm²)	**0,82 N/mm²**
	Incertidumbre (μ)	**± 1,09 N/mm²**

Espesor del caucho (t)	5,0 mm	**Diámetro de la barra (d)**	20,0 mm

Convenciones

a	Largo promedio	L	Espacio entre las barras de soporte
l	Distancia entre los puntos de apoyo y el extremo de la baldosa	h	Espesor mínimo a lo largo del borde de fractura
b	Ancho promedio	F	Carga de rotura de flexión
S	Resistencia a la flexión	R	Módulo de rotura

OBSERVACIONES

El factor de conversión para pasar los datos de módulo de rotura a kgf/cm² es multiplicar el resultado por 10,2

El reporte de la incertidumbre corresponde a la desviación estándar de los 7 especímenes reportados

REVISÓ

Mg. Ing. Leidy K. Peñaloza Isidro
Profesional Apoyo Coordinación Técnica
Tarjeta Profesional N° 54228-413114 NTS

ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

La incertidumbre de la medición se expresa con un factor de cobertura de K=2, para un nivel de confianza aproximadamente del 95,45 %.

OBSERVACIONES GENERALES

El símbolo decimal que utiliza el laboratorio es la coma.
Las muestras de ensayos no destructivos se almacenan por un período de 30 días calendario después de emitido el informe de resultados.
Las muestras de ensayos destructivos y de tamaño considerable se desechan 3 días hábiles después de emitido el informe de resultados.
El Laboratorio de Ensayos del Centro de investigación de Materiales Cerámicos no emite opiniones ni interpretaciones de los resultados presentes en este informe. Por tanto, el Cliente debe establecer si los resultados determinados en el informe cumplen con los requisitos de las normas establecidas.
El informe de ensayo se puede entregar por correo electrónico siempre y cuando haya sido solicitado por escrito, el CIMAC no se hace responsable del destino que se le dé a la información suministrada por este medio.

Nota. Fuente: Centro de Investigaciones de Materiales Cerámicos CIMAC (UFPS).