

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL



PROYECTO DE GRADO

**ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE BALDOSAS
PEATONALES DE MORTERO REFORZADO CON PLÁSTICO
RECICLADO**

PROYECTO DE GRADO PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIATURA EN
INGENIERÍA CIVIL

POSTULANTES: ABIGAIL FERNANDEZ HUARICALLO
SAYCO VILELA LOPEZ

TUTORES: ING. JORGE ECHAZU CORTEZ
M.Sc. ING. VERONICA GALLARDO TAPIA

LA PAZ – BOLIVIA

2022



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

AGRADECIMIENTOS.

Mi eterno agradecimiento al director de la carrera de Ingeniería Civil, Ing. Miguel Muñoz Black, cuyo ejemplo profesional deja marcado un camino a seguir buscando siempre la excelencia.

A nuestros distinguidos tribunales Ing. Jhadiel Villafuerte Oporto, Ing. Ángel Ramos Maita, Ing. Marcelo Gonzalo Delgadillo Zurita e Ing. Efraín Santalla Alejo, por todo el apoyo brindado para culminar el presente trabajo.

A nuestros tutores MSc. Ing. Verónica Tatiana Gallardo Tapia e Ing. Jorge Echazú Cortez, sin ustedes y sus virtudes, su paciencia y constancia este trabajo no lo hubiésemos logrado tan fácil, sus consejos fueron siempre útiles cuando no hallábamos la solución para lo que hoy hemos logrado. Ustedes formaron parte importante de esta investigación con sus aportes profesionales, gracias por sus orientaciones.

A todo el plantel docente y en especial a los que partieron de esta vida terrenal dejando su gran legado dentro de la facultad.

A Delfín por todo el apoyo brindado a cada momento, su solidaridad y compañerismo.

A la empresa MARECBOL por brindarnos su apoyo con la materia prima de este proyecto.

A nuestros padres, ustedes han sido siempre el motor que impulsa nuestros sueños y esperanzas, quienes estuvieron siempre a nuestro lado en los días y noches más difíciles durante nuestras horas de estudio.

DEDICATORIA.

A Dios por su amor incondicional, ha llenado mi vida de oportunidades y en los momentos difíciles su presencia me ha cuidado.

A mis padres por guiarme en cada etapa de mi vida, su apoyo me dio la oportunidad de cumplir las metas que me he planteado, los valores que aprendí de ellos son mi mejor herencia.

A mis hermanos con los que compartí grandes momentos de mi vida, su cariño me dio la fuerza para afrontar los problemas.

A mi compañero de proyecto de grado por la oportunidad de finalizar la presente investigación.

Abigail Fernández Huaricallo.

DEDICATORIA.

Quiero agradecer primeramente a Dios, por darme la oportunidad de percibirlo en los momentos más difíciles de mi vida, contemplándolo en la sonrisa de un niño o de un ser querido.

A mi mamá, que es sin duda mi gran ejemplo a seguir, me ha llenado de hábitos y valores para afrontar esta vida. Mostrándome su amor incondicional en cada etapa.

A mi papá, por brindarme siempre su apoyo cuando intentaba declinar, me ha guiado para culminar esta hermosa carrera.

A mi compañera de proyecto de grado, por todos los momentos que vivimos.

Y finalmente a todas esas huellas que llenaron mi corazón. Preta, Noa, Osa y Nerón.

Sayco Vilela López.

RESUMEN.

Postulante: Abigail Fernández Huaricallo **CI:** 6815120 LP **Cel.:** 77739679

Dirección: Avenida Octavio Campero N° 1533 Zona Alto San Antonio

Correo electrónico: abigailfernandezhuaricallo@gmail.com

Postulante: Sayco Vilela López **CI:** 8361644 LP **Cel.:** 72500107

Dirección: Calle Narciso Dulón N° 637 Zona Villa Fátima

Correo electrónico: sayco2014.svl@gmail.com

La investigación tiene como objeto determinar la existencia de ventajas o dificultades en la resistencia a flexión de baldosas de mortero con la incorporación de cordones de plástico como refuerzo.

Para cumplir con el propósito de la investigación se ha fabricado baldosas de mortero con diferentes cantidades y disposiciones de cordones de plástico, en algunos casos se ha implementado 8 cordones a cada lado de la baldosa y en otros, 16 cordones a cada lado de la baldosa con dos capas, es decir la cantidad mínima de cordones de plástico empleados es de 16 y la cantidad máxima de 64, la disposición también varía de una capa a dos capas de cordones y de distribuirlos en todo el ancho o solo en los extremos de la baldosa de mortero.

La fabricación de las baldosas se realiza con materiales que cumplen las especificaciones de la norma ASTM, y la dosificación corresponde a valores en peso determinados de la experiencia de empresas dedicadas a la fabricación de baldosas y de ensayos realizados en el Instituto de Materiales.

Los cordones de plástico empleados como refuerzo, son contemplados como un pasivo ambiental, es decir representan un riesgo para el medio ambiente, por lo que en la investigación se pretende hallar una utilidad y beneficio al uso de los cordones de plástico.

Las baldosas fabricadas corresponden a 7 diferentes tipo de refuerzo, incluyendo la baldosa sin cordones de plástico, de cada tipo de baldosa se realizó 6 repeticiones, haciendo un total de 84 baldosas que fueron sometidas al ensayo de resistencia flexión. El ensayo de resistencia flexión nos permitió determinar que las baldosas cumplen con las especificaciones de la Norma Española UNE EN 13748-2, es decir las baldosas ensayadas a 28 días y 56 días, presentan una resistencia a flexión mayor a 2.8 [MPa] que indica la norma.

La resistencia a flexión de los diferentes tipos de baldosa que se han fabricado presenta una semejanza, es decir se observa que la incorporación de los cordones de plástico no influye en la resistencia a flexión de las baldosas.

Así también se determinó la resistencia a flexión remanente que presentan las baldosas con la incorporación de los cordones de plástico, los valores hallados exponen que la baldosa con mayores ventajas es la que posee 16 cordones en cada lado de la baldosa y en dos capas, es decir un total de 64 cordones, por lo que se puede concluir que la resistencia a flexión remanente es proporcional a la cantidad de cordones que se empleen para la fabricación de las baldosas, sin embargo una cantidad de cordones mayor a la empleada en la investigación ocasiona dificultades en el proceso de fabricación de las baldosas, los resultados obtenidos también nos indican que la disposición de los cordones no es un factor determinante en la resistencia a flexión remanente.

ABSTRACT.

Postulante: Abigail Fernández Huaricallo **CI:** 6815120 LP **Cel.:** 77739679

Dirección: Avenida Octavio Campero N° 1533 Zona Alto San Antonio

Correo electrónico: abigailfernandezhuaricallo@gmail.com

Postulante: Sayco Vilela López **CI:** 8361644 LP **Cel.:** 72500107

Dirección: Calle Narciso Dulón N° 637 Zona Villa Fátima

Correo electrónico: sayco2014.svl@gmail.com

The purpose of the research is to determine the existence of advantages or difficulties in the flexural strength of mortar tiles with the incorporation of plastic cords as reinforcement. To fulfill the purpose of the investigation, mortar tiles have been manufactured with different quantities and arrangements of plastic cords, in some cases 8 cords have been implemented on each side of the tile and in others, 16 cords on each side of the tile. with two layers, that is, the minimum number of plastic cords used is 16 and the maximum number is 64, the arrangement also varies from one layer to two layers of cords and to distribute them throughout the width or only at the ends of the mortar tile.

The manufacture of the tiles is carried out with materials that meet the specifications of the ASTM standard, and the dosage corresponds to values by weight determined from the experience of companies dedicated to the manufacture of tiles and from tests carried out at the Institute of Materials.

The plastic cords used as reinforcement are considered an environmental liability, that is, they represent a risk to the environment, so the research aims to find a utility and benefit to the use of plastic cords.

The manufactured tiles correspond to 7 different types of reinforcement, including the tile without plastic cords, of each type of tile 6 repetitions were made, making a total of 84 tiles that were subjected to the flexural strength test.

The flexural strength test allowed us to determine that the tiles meet the specifications of the Spanish Standard UNE EN 13748-2, that is, the tiles tested at 28 days and 56 days, have a flexural strength greater than 2.8 [MPa], which indicates the rule.

The flexural strength of the different types of tile that have been manufactured is similar, that is, it is observed that the incorporation of the plastic cords does not influence the flexural strength of the tiles.

Thus, the remaining flexural strength of the tiles with the incorporation of the plastic cords was also determined. The values found show that the tile with the greatest advantages is the one with 16 cords on each side of the tile and in two layers. say a total of 64 cords, so it can be concluded that the remaining flexural strength is proportional to the number of cords used to manufacture the tiles, however, a number of cords greater than that used in the investigation causes difficulties in the tile manufacturing process, the results obtained also indicate that the arrangement of the cords is not a determining factor in the remaining flexural strength.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.	12
1.1 Introducción.	12
1.2 Justificación.	13
1.3 Fines.	14
1.4 Estado del arte.	14
1.5 Objetivos.	15
1.5.1 Objetivo General.	15
1.5.2 Objetivos Específicos.	15
1.6 Alcance y limitaciones	16
2. MARCO TEÓRICO.	19
2.1 Plástico.	19
2.1.1 Tereftalato de Polietileno (PET).	19
2.1.2 Botellas PET.	20
2.1.3 Propiedades del PET.	21
2.1.4 Proceso de Peletizado.	23
2.1.5 Obtención de los cordones de PET.	25
2.2 Mortero.	26
2.2.1 Materiales.	26
2.2.2 Consistencia del mortero.	32
2.3 Baldosas peatonales.	36
2.4 Ensayo de resistencia a flexión	36
2.4.1 Resistencia remanente.	38
2.5 Análisis estadístico.	38
2.5.1 Análisis de varianza ANOVA.	38
2.5.2 Prueba Duncan.	45
3. MARCO PRÁCTICO.	47
3.1 Material empleado.	47

3.1.1 Ensayos de caracterización de los materiales.	48
3.2 Ensayos principales	57
3.2.1 Diseño del experimento	57
3.2.2 Elaboración de las baldosas.	62
3.2.3 Ensayo de resistencia a flexión.	70
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.	75
4.1 Resultados de los ensayos de caracterización de los materiales	75
4.1.1 Análisis del Agregado Fino.	75
4.1.2 Análisis del Cemento	84
4.2 Resultado de los ensayos principales	85
4.2.1 Calculo de la Resistencia a Flexión de las baldosas.	85
4.2.2 Calculo de la Resistencia a Flexión remanente de las baldosas.	86
4.3 Análisis de Varianza (ANOVA).	87
4.3.1 Resistencia a flexión de las baldosas.	87
4.3.2 Resistencia a flexión Remanente de las baldosas.	89
4.4 Comparación de resultados (Prueba de Duncan).	90
4.4.1 Resistencia a flexión.	90
4.4.2 Resistencia a flexión remanente	91
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	95
5.1 Comparación de resultados.	95
5.2 Conclusiones.	103
5.3 Recomendaciones.	105

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN.

1.1 Introducción.

En Bolivia el sector industrial genera grandes cantidades de residuos, los cuales son reciclados de manera parcial o son dispuestos en vertederos, provocando impactos ambientales que en algunos casos son irreversibles. Estos residuos sólidos han sido objeto de numerosos estudios en los últimos años, con el objeto de determinar posibles aplicaciones a partir de su composición, de esta manera se busca disminuir los efectos sobre el medio ambiente, al utilizar estos residuos, convirtiéndolos en materias primas de otros procesos para disminuir la explotación de recursos naturales.

Algunos residuos industriales que se han investigado son los cordones de los residuos de la peletizadora: las hojuelas de PET son obtenidas de hilos uniformes de plástico, pero cuando es irregular el diámetro del hilo, éste suele ser desechado, son estos los cordones de plástico que se pretende analizar como refuerzo de las baldosas de mortero.

La acumulación de residuos sólidos es una temática preocupante actualmente, las grandes cantidades de desechos que genera la ciudad de La Paz, en su mayoría no son tratados adecuadamente y el porcentaje de PET reciclado es mínimo.

Según datos de LIDEMA (Liga de Defensa de Medio Ambiental), La Paz genera diariamente aproximadamente 550 toneladas métricas de residuos sólidos de diferente composición, que tienen como disposición final el relleno sanitario de Alpacoma, de los cuales el 8,31% que equivale a 45.71 toneladas corresponde a plástico PET.

Marebol es una empresa dedicada al reciclaje y reutilización de botellas de plástico PET. El trabajo inicia con la recolección de desechos plásticos de los basurales y el traslado hacia la empresa, mediante 30 centros de acopio y 60 acopiadores independientes reuniendo unas 20 toneladas de botellas de plástico mensualmente, luego son lavadas, trituradas y convertidas en hojuelas con calidad de exportación a Estados Unidos y Chile, también fabrican envases y preformas de acuerdo a las necesidades del cliente, por lo que el residuo de Marebol se presenta en forma de polvo plástico y cordones que es el que emplearemos para la investigación.

1.2 Justificación.

El Instituto de Ensayos de Materiales tiene entre sus líneas de investigación una destinada al uso de residuos o desechos en materiales de construcción. Este aspecto se aplica a la presente investigación, para obtener baldosas peatonales que cumplan requisitos normativos extranjeros (en vista de que aún no contamos con Norma nacional para estos elementos) que, además tengan incorporado plástico reciclado con la finalidad de mejorar sus prestaciones.

El plástico incorporado proviene de residuos, que no son tratados para su deposición final, por tal motivo la investigación busca reducir el impacto ambiental de estos residuos plásticos.

Por otro lado, las baldosas peatonales de mortero, son elementos de uso muy difundido, sin embargo, ensayos realizados para clientes externos en el IEM mostraron que la calidad de los productos comercializados en el mercado local, no es satisfactoria, en la presente investigación se analiza se analiza como elementos sobre un lecho elástico, que

mediante procesos por la acción erosiva del flujo de agua que acarrea material del lecho, sufre de socavación, lo que genera que las baldosas funcionen a flexión, por tal motivo, para evaluar la resistencia mecánica de las baldosas se realiza el ensayo de resistencia a flexión de las mismas.

En investigaciones anteriores se ha verificado que si se incorpora residuos de plástico en el mortero en forma de hojuelas, no se genera beneficios en sus resistencias mecánicas; sin embargo en la investigación se procederá a colocar el plástico en forma de cordones, para determinar si existe un incremento en la resistencia a flexión y la generación de beneficios con la resistencia a flexión remanente.

1.3 Fines.

La finalidad de la investigación es establecer el uso y los beneficios que genera la incorporación de cordones de plástico en baldosas peatonales de mortero reduciendo el impacto ambiental que genera el plástico no reciclado.

1.4 Estado del arte.

Grandez (2018), el autor de la investigación propone la incorporación de fibras de plástico en el hormigón para sustituir el agregado fino en tres proporciones de 0.4%, 0.5% y 06%, con el objetivo de incrementar las propiedades mecánicas del hormigón endurecido, concluye que la influencia de las fibras plásticas en el hormigón endurecido mejoro la resistencia a compresión y a flexo tracción del hormigón, sin embargo la resistencia a tracción del hormigón disminuyo debido a la influencia de las fibras de plástico.

Guaman y Pinenla (2019), los autores investigan la influencia de la incorporación de fibras recicladas de envases PET en las propiedades mecánicas del hormigón, para una proporción de 0.5 % de fibras PET, obtenida mediante ensayos previos, determinan la longitud de fibra con mayores beneficios, esta longitudes comprenden desde los 9 cm hasta los 12 cm, llegando a la conclusión que la fibra de 12 cm a una proporción de 0.5% en volumen, es la que presenta mejores beneficios en la resistencia a compresión del hormigón.

1.5 Objetivos.

1.5.1 Objetivo General.

Evaluar la resistencia a flexión de baldosas peatonales de mortero reforzado con cordones de plástico reciclado, incorporado en diferentes cantidades y con diferentes disposiciones, con relación a baldosas con una dosificación patrón.

1.5.2 Objetivos Específicos.

- Obtener la resistencia a flexión de baldosas de mortero con una dosificación patrón que cumpla el requisito de resistencia de la Norma Española UNE EN 13748-2.
- Obtener la resistencia a flexión de baldosas de mortero reforzado con diferentes cantidades de cordones de plástico reciclado.
- Obtener la resistencia a flexión de baldosas de mortero reforzado con diferentes disposiciones de cordones de plástico reciclado.
- Evaluar la resistencia de las baldosas de mortero reforzado con plástico mediante la obtención de la resistencia a flexión Remanente en las dosificaciones estudiadas.

- Comparar los resultados obtenidos con las diferentes cantidades y disposiciones de refuerzo para determinar una cantidad y una disposición óptima que permita obtener una resistencia a flexión que cumpla con los requisitos de la normativa internacional de referencia.

1.6 Alcance y limitaciones

La investigación será desarrollada en instalaciones del Instituto de Ensayo de Materiales ubicado en el campus Universitario de Cota Cota de la UMSA, debido a la disposición de los equipos y materiales para elaborar las baldosas y determinar sus propiedades a flexión.

Para la investigación se determinará una dosificación de mortero denominada “muestra patrón” en base a ensayos de laboratorio. Esta dosificación tendrá una proporción de 1:6 en peso.

Para la elaboración del mortero se empleará los siguientes materiales: arena proveniente de Uma Palca, cuyas propiedades serán determinadas en laboratorio bajo la norma ASTM; el cemento proviene de la empresa Ecebol con características de IP 40; el agua es potable debido a su calidad y los cordones de plástico que servirán de refuerzo provienen de la empresa Marebol.

Para la determinación del asentamiento se aplicará las recomendaciones de la norma ACI 211, donde se indica que para elementos prefabricados corresponde un asentamiento de 2 a 3.5 [cm], por lo tanto el utilizado para las baldosas será de 2.5 [cm].

Dada la esbeltez de la baldosa de mortero, con grandes dimensiones de longitud y anchura respecto al grosor, la resistencia a la flexión nos aproxima a la resistencia mecánica de la pieza en su conjunto, ante agresiones de diferente naturaleza: cargas dinámicas y estáticas, rodaduras e impactos; y siendo de uso peatonal las baldosas, se aplicara para evaluar sus propiedades mecánicas la norma Española UNE EN 13748-2.

En base a esta norma se realizará el ensayo de resistencia a flexión, mediante la Máquina Universal de ensayos LAW 1000 se aplicará la carga necesaria sobre las baldosas para la determinación de la resistencia a flexión y la resistencia remanente.





CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO II

2. Marco teórico.

2.1 Plástico.

Saravia (2016) define el plástico como un producto de origen orgánico de alto peso molecular, sólido en su estado definitivo, flexible en su mayoría de tipos, resistente, poco pesados y aislante del calor y la electricidad. Arango et al. (2014) lo definen como un material sólido sintético llamado polímero, que puede ser moldeado mediante calor y/o presión y cuyo componente principal es el carbono. Además de estas características, el plástico también goza de impermeabilidad, versatilidad de uso, ligereza, y de bajas demandas económicas para su producción; lo cual lo convierte en uno de los materiales más utilizados para una amplia variedad de ámbitos industriales y de uso diario en la actualidad. Los termoplásticos son aquellos polímeros que se, al ser calentados, se emblandecen y permiten ser moldeados, y luego mantener sus características al enfriarse (Arango et al. 2014).

2.1.1 Tereftalato de Polietileno (PET).

Vitkauskienė (2011) define el PET como un polímero con excelentes propiedades térmicas y mecánicas, que es usado como un plástico industrial versátil para la fabricación de textiles y botellas, así como empaquetamiento, películas filmográficas y cintas de audio y vídeo.

El PET es un polímero termo elástico multifuncional, con un conjunto muy interesante de propiedades mecánicas: alta resistencia mecánica, viscosidad, rigidez, dureza, baja expansión térmica, buena resistencia a la formación de fracturas, baja absorción de

humedad, bajo coeficiente de fricción, buenas propiedades como aislante eléctrico y resistente a la radiación (Beeva et al. 2015).

La forma actualmente más utilizada para reciclaje de PET es el método mecánico. Los desechos son lavados y triturados, y después se funden y se moldean en la forma que se desee (o pueden no fundirse y utilizarse como componente de mezclas, como es el caso de este proyecto). La desventaja del método de fundición es la calidad del material va disminuyendo cada vez que es reprocesado, pues las cadenas se van cortando, lo que ocasiona una reducción del peso molecular; además, este PET reciclado no se puede volver a usar para envases de consumo humano, pues no cumple con requerimientos de salubridad. Alternativamente, se puede realizar un reciclaje químico, lo cual implica cambios en la estructura molecular del PET, y que permite que se pueda volver a utilizar en las mismas aplicaciones, o incluso para la elaboración de materiales con distintas propiedades (Elgrogen 2012).

2.1.2 Botellas PET.

Debido a su peso ligero, bajo coste, disponibilidad de materias primas y bajos requerimientos energéticos para su procesado y fabricación, el PET se ha convertido en uno de los materiales poliméricos más usados en las últimas dos décadas, con un 7.1% del total de la producción en 2015 (Plastics Europe 2016).

Hay dos tipos de PET que dominan el mercado global: el que se usa para la fabricación de fibras y el que se utiliza para la fabricación de botellas. Las diferencias entre ambos son el peso molecular, la viscosidad intrínseca, las propiedades ópticas y los procesos

de producción, que se diferencian principalmente en la cantidad y tipo de co-monómeros, estabilizadores, catalizadores metálicos y colorantes (Rieckmann and Volker 2003).

2.1.3 Propiedades del PET.

Las propiedades físicas del PET y la gran capacidad de cumplir diversas especificaciones técnicas son las razones por las que el material alcanza un desarrollo importante en la fabricación de fibras textiles y la producción de diversos envases (Zavala 2015).

Las características del PET son las siguientes:

- Procesable por soplado, inyección, extrusión.
- Transparencia y brillo con efecto lupa.
- Barrera contra gases.
- Cristalizable.
- Esterilizarle por gamma y óxido de etileno.
- Alto grado de reciclabilidad.
- Liviano.

En la siguiente tabla presentamos las características de las propiedades físicas del PET.

Tabla 1: propiedades físicas del PET.

PROPIEDADES FÍSICAS	
Absorción de agua - Equilibrio (%)	< 0,7
Densidad (g/cm ³)	1,3 - 1,4
Índice refractivo	1,58 - 1,64
Inflamabilidad	Auto extinguable
Resistencia a los ultravioletas	Buena

Fuente: Tesis ESPOL, Aplicación para PET reciclado, 2004.

La tabla 2 nos muestra las propiedades mecánicas del PET.

Tabla 2. Propiedades Mecánicas del PET.

PROPIEDADES MECÁNICAS	
Coeficiente de fricción	0,2 - 0,4
Dureza – Rockwell	M94 – 101
Resistencia a la tracción (Mpa)	190 – 160
Resistencia al impacto (Jm^{-1})	13 – 35

Fuente: Tesis ESPOL, Aplicación para PET reciclado, 2004.

Las propiedades térmicas del PET se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3. Propiedades Térmicas del PET.

PROPIEDADES TÉRMICAS	
Calor específico ($KJ. Kg^{-1}. K^{-1}$)	1,2 - 1,35
Coeficiente de expansión térmica ($x10^{-6} K^{-1}$)	20 - 80
Conductividad térmica ($Wm^{-1} K^{-1}$)	0,15 - 0,4
Temperatura máxima de utilización ($^{\circ}C$)	115 - 170
Temperatura mínima de utilización ($^{\circ}C$)	-40 a -60

Fuente: Tesis ESPOL, Aplicación para PET reciclado, 2004.

A continuación mostramos las propiedades del PET respecto a la resistencia química.

Tabla 4. Propiedades Químicas del PET.

RESISTENCIA QUÍMICA	
Ácidos concentrados	Buena
Álcalis	Mala
Alcoholes	Buena
Grasas y aceites	Buena
Halógenos	Buena
Hidrocarburos Aromáticos	Aceptable

Fuente: Tesis ESPOL, Aplicación para PET reciclado, 2004.

2.1.4 Proceso de Peletizado.

El material molido debe introducirse en una máquina peletizadora para ser fundido y pasar a través de un cabezal para tomar la forma de espagueti al enfriarse en un baño de agua. La extrusión es un proceso continuo, en el cual en todo instante de trabajo normal de un equipo de Peletización se obtiene producto invariable y constante en cualquier punto de su longitud. (Hachi y Rodríguez 2010).

El proceso de Peletización consiste en someter a presión al material plástico por medio de un tornillo sin fin que se encuentra dentro de un cilindro con calefacción, fundiéndolo por acción de la temperatura que proviene generalmente de resistencias eléctricas y por la fricción del tornillo sin fin denominado husillo, para luego hacerlo pasar a través de una matriz llamada dado (placa con agujeros). Las materias primas se introducen en forma sólida y dentro de la máquina extrusora se funden y se homogenizan. (Hachi y Rodríguez 2010).

Imagen 1. Peletizadora de la empresa MARECBOL.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Los pasos a seguir de la máquina Peletizadora son los siguientes:

Entrada o alimentación: es la parte por donde se introducen las materias primas secundarias, mezcladas con materias vírgenes si es necesario para su mayor homogenización posterior. En esta zona se calientan las materias y se transportan hacia la siguiente sección.

Zona de sometimiento a presión: es la etapa en la que se produce la fusión del polímero, en ausencia de aire. Dependiendo del polímero que se introduzca tendremos un tipo de fusión distinta (lenta, constante, rápida, etc.) y el interior de la extrusora variará.

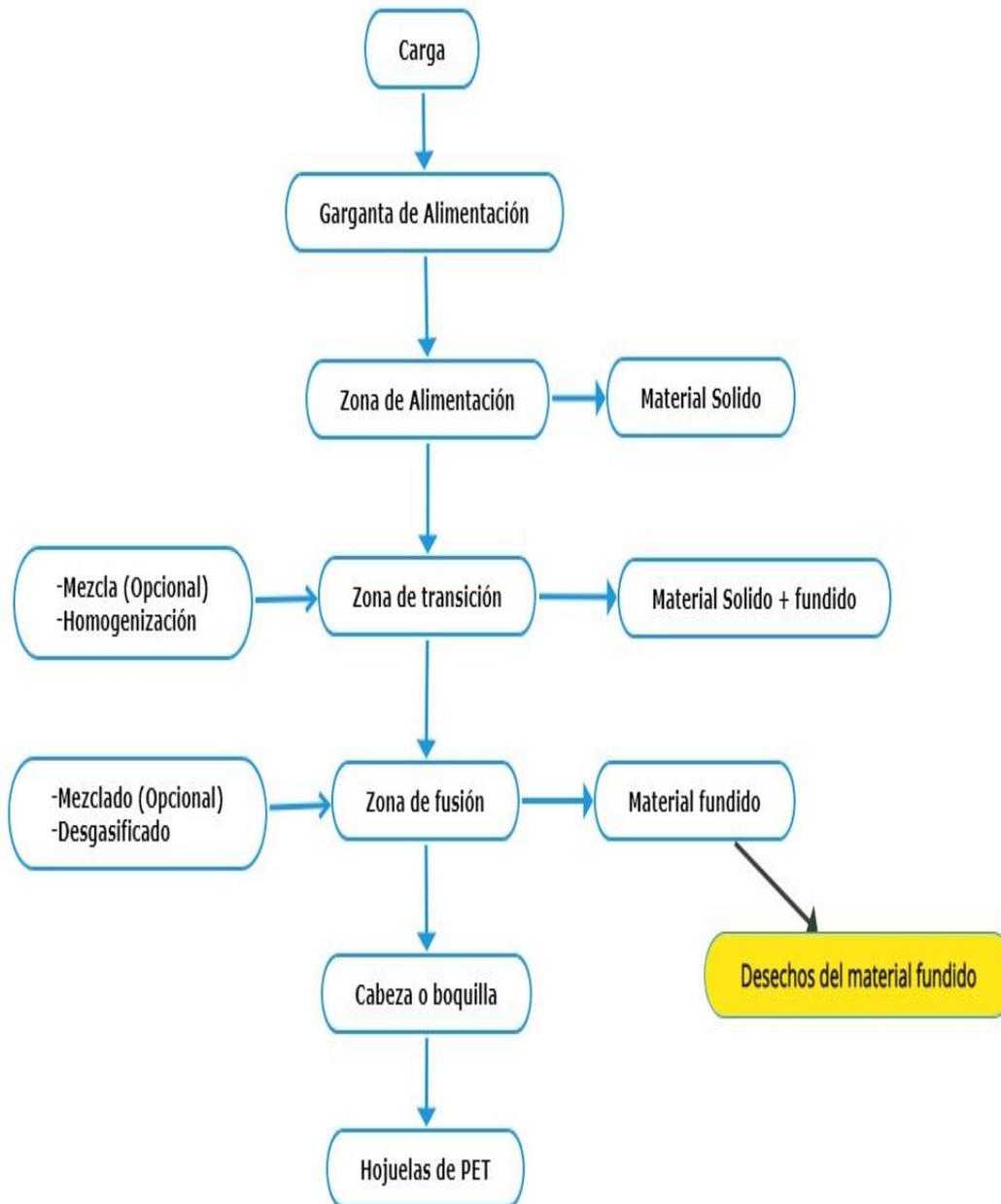
Zona de homogenización o dosificación: en este caso se trata de homogeneizar el material que irá entrando en el dado de forma constante.

Dado: es la parte final de la peletizadora donde se produce una separación de los materiales que no se hayan fundido. Luego en el proceso de Peletización, el material pastoso extraído a través de la boquilla (dado), que es plástico fundido y homogenizado, tiene la forma de un fideo largo, el mismo pasa a través de un orificio, y posteriormente por una tina de enfriamiento para darle consistencia y con una cuchilla giratoria cortar el material en forma de fideos, en hojuelas.

Las hojuelas o de PET se secan en un secador centrífugo hasta alcanzar un contenido en humedad del 0.5 por 100 y se envasan para su transporte hasta su cliente y su posterior procesamiento en nuevos productos (Hachi y Rodríguez 2010).

En el siguiente gráfico podemos observar el procedimiento para la fabricación de las hojuelas de PET y el material desechado que se emplea en la presente investigación.

Gráfico 1: Procedimiento para la obtención de hojuelas de PET.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

2.1.5 Obtención de los cordones de PET.

La materia prima fue proporcionada por la empresa MARECBOL, se recolectó los residuos de la máquina peletizadora en forma de cordones de plástico de 40 cm de longitud.

Imagen 2. Residuos de la maquina peletizadora.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

2.2 Mortero.

Los morteros son mezclas plásticas que en estado pastoso tienen la propiedad de poderse moldear, de adherirse fácilmente a otros materiales, de unirlos entre sí, protegerlos, endurecerse y alcanzar resistencias. Los morteros varían según los materiales con los que son elaborados y comúnmente se elaboran de forma manual, mecánicamente o bien, premezclados (Niasa 2018).

2.2.1 Materiales.

2.2.1.1 Agregados.

Se define como agregado fino, al material proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, el cual pasa el tamiz N° 4 y cumple con los límites establecidos en la norma ASTM C 33 (Blog YURA IP, 2018).

Los agregados deberán ser arenas naturales limpias, bien graduadas, libres de sustancias orgánicas y de otros materiales nocivos, tomando en consideración la norma

ASTM C136, ASTM C128 y ASTM D2419. A continuación, mencionaremos los ensayos que se realizarán para determinar la calidad de la arena empleada en la investigación.

Tabla 5: Normas aplicadas para la arena.

ENSAYO	NORMA
Análisis granulométrico	ASTM C 136
Peso específico y absorción	ASTM C 128
Peso unitario	ASTM C 29
Equivalente arena	ASTM D2419

Fuente: elaboración propia, 2022.

Análisis granulométrico.

El análisis granulométrico de un agregado consiste en determinar la distribución por tamaños de las partículas que lo forman, o sea, en separar al agregado en diferentes fracciones de partículas del mismo tamaño, o de tamaños comprendidos dentro de determinados límites, y en hallar el porcentaje que entra en el agregado de cada uno de estos (Guzmán 2017).

La distribución del tamaño de partículas o la granulometría de un agregado es la característica que más influye en la cantidad de pasta cementicia, para obtener una determinada trabajabilidad. Considerando que el cemento es el más costoso de los componentes es preferible minimizar su uso, disminuyendo la cantidad de pasta sin afectar la trabajabilidad, la resistencia y la durabilidad del hormigón. La importancia de la granulometría del agregado se aprecia si se considera al hormigón como un conjunto no

muy compacto de partículas adheridas entre sí con una pasta, por lo tanto dependerá del volumen de vacíos y del área específica de las partículas (Guzmán 2017).

Límites granulométricos de un agregado.

En general se busca agregados que presenten una curva granulométrica suave, en forma de “S” que contengan partículas de todos los tamaños que producirán los resultados más satisfactorios (Guzmán 2017).

La curva granulométrica de un agregado que se pretenda usar en la mezcla deberá estar dentro de los límites granulométricos, no deberá presentar discontinuidades para poder ser aceptada.

El agregado fino deberá estar graduado dentro de los límites granulométricos establecidos en la Norma ASTM C33 los cuales están indicados en el siguiente cuadro (Guzmán 2017).

Tabla 6: límites del agregado fino.

REQUISITOS DE GRADACION PARA AGREGADO FINO			
NORMA ASTM C33			
TAMIZ		LIMITES	
[pulg]	[mm]	INFERIOR	SUPERIOR
3/8"	9.5	100	100
N° 4	4.75	95	100
N° 8	2.36	80	100
N° 16	1.18	50	85
N° 30	0.6	25	60
N° 50	0.3	10	30
N° 100	0.15	2	10

Fuente: Norma ASTM C33, 2022.

Peso específico y absorción.

El peso específico se define como la relación de la masa del agregado secado en horno de 100 a 110°C durante 24 horas, respecto a la masa de agua, y ocupa un volumen igual al del material sólido, incluidos los poros impermeables (Neville & Brooks 1998),

El peso específico es un factor importante para el diseño de mezclas, porque con él se determina la cantidad de agregados requeridos para un volumen unitario del hormigón (Velásquez 2005).

El valor del peso específico se puede determinar con la siguiente formula:

$$\text{peso específico} = \frac{\text{peso muestra seca}}{\text{peso frasco con agua} + \text{peso muestra sss} - \text{peso frasco con agua y muestra}}$$

La absorción es el incremento en el peso del agregado debido al agua en los poros del material, pero sin incluir el peso del agregado adherido a la superficie de las partículas, expresado como un porcentaje del peso seco (ASTM C127).

$$\% \text{ de absorcion} = \frac{\text{peso muestra sss} - \text{peso muestra seca}}{\text{peso muestra seca}}$$

Peso unitario.

Se define como el peso de una muestra de agregado, compuesta de varias partículas, dividida por el volumen que ocupan estas partículas agrupadas dentro de un recipiente unitario (Velásquez 2005).

La fórmula para calcular el peso unitario del agregado es la que se muestra a continuación:

$$\text{Peso Unitario} = \frac{\text{peso de la muestra}}{\text{volumen del recipiente}}$$

La norma que se aplica para la determinación del peso unitario es la ASTM C 29 “Ensayo para determinar el peso unitario y los vacíos en el agregado.”

El peso unitario puede ser de dos tipos dependiendo del grado de compactación.

- Peso unitario suelto.
- Peso unitario compactado.

El peso unitario se usa para convertir cantidades en peso a cantidades en volumen o viceversa.

Equivalente arena.

El propósito de este método de ensayo es indicar, bajo condiciones normales, la proporción relativa del material arcilloso o finos plásticos y polvo en los suelos granulares o agregados finos que pasen por el tamiz de 4,75 mm (No. 4). El término “Equivalente de Arena” expresa el concepto de que la mayoría de los suelos granulares y agregados finos son mezclas de cantidades predeterminadas de partículas gruesas, arena, y generalmente una porción involuntaria de arcilla, finos plásticos y polvo (ASTM 2419).

El valor de equivalente arena de una muestra se puede expresar mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Equivalente Arena} = \frac{\text{nivel de la arena}}{\text{nivel de la arcilla}} * 100\%$$

2.2.1.2 Agua.

El agua empleada en la preparación y fabricación de las baldosas deberá ser potable cuyo contenido de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica no sean perjudiciales para la mezcla, de acuerdo a la norma vigente en el país.

2.2.1.3 Cemento.

El cemento es un material que resulta de la combinación de arcilla molida con materiales calcáreos de polvo, en tanto, una vez que entra en contacto con el agua, se solidifica y vuelve duro. Es mayormente empleado en instancias de la construcción, justamente por esa solidez que reviste, como adherente y aglutinante (Ucha 2013).

El cemento a usarse para la fabricación de las baldosas peatonales será IP 40 de la empresa Ecebol.

Imagen 3. Cemento de Ecebol.



Fuente: economía crítica, 2021.

Peso específico.

El peso específico del cemento se obtiene dividiendo la masa de la muestra de cemento entre el volumen de la misma que es representado por el volumen del líquido desplazado por la masa de cemento.

A continuación se muestra la fórmula para la determinación del peso específico del cemento.

$$\text{peso específico} = \frac{\text{peso muestra}}{\text{volumen final} - \text{volumen inicial}}$$

El cemento con mayor cantidad de adición presenta un valor bajo de peso específico y mientras más alto sea el valor del mismo, el cemento será más puro.

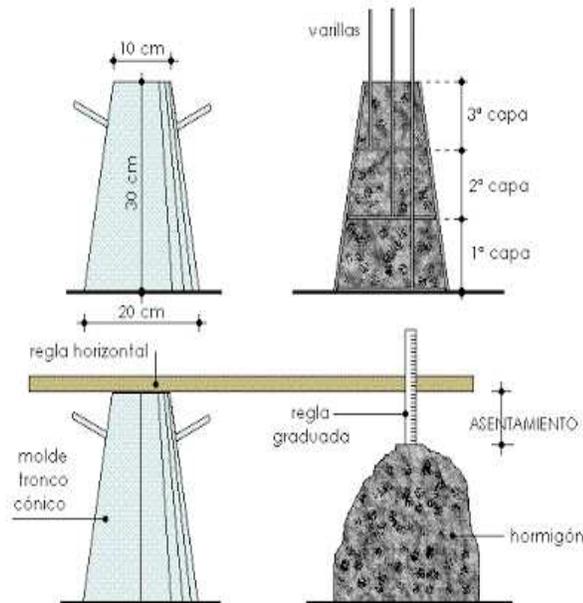
2.2.2 Consistencia del mortero.

La consistencia de un mortero define la manejabilidad o trabajabilidad del mismo, se consigue en obra mediante la adición de cierta cantidad de agua que varía en función de la granulometría del mortero, cantidad de finos, empleo de aditivos, absorción de agua de la base sobre la que se aplica, así como de las condiciones ambientales, gusto de los operarios que lo utilizan, etc. Principalmente se mide mediante el descenso en centímetros en el ensayo de cono de Abrams (AFAM 2018).

Ensayo del cono de Abrams.

El método consiste en medir la disminución de altura que experimenta un tronco de cono de mortero fresco, de medidas y elaboración estandarizada, cuando éste se deja libre. A mayor disminución de altura, menor consistencia del mortero (ITL 2009).

Imagen 4: Ensayo de cono de Abrams



ENSAYO DEL CONO DE ABRAMS

Fuente: Ingeniería y mas, 2016

El ensayo descrito a continuación se basa en la norma NB 589 “Hormigón fresco - determinación de la consistencia por el método del Cono de Abrams.”

Paso 1: Colocar el Cono sobre una superficie plana, horizontal, firme, no absorbente y ligeramente humedecida. Se aconseja usar una chapa de metal cuya superficie sea varios centímetros mayor que la base grande del Cono.

Colocar el Cono con la base mayor hacia abajo y pisar las aletas inferiores para que quede firmemente sujeto.

Antes de llenar el molde, es preciso humedecerlo interiormente para evitar el rozamiento del mortero con la superficie del mismo.

Paso 2: Llenar el Cono en tres capas: Llénese hasta aproximadamente $1/3$ de su volumen y compactar el mortero con una barra de acero de 16 mm de diámetro terminada en una punta cónica rematada por un casquete esférico.

La compactación se hace con 25 golpes de la varilla, con el extremo semiesférico impactando al mortero.

Los golpes deben repartirse uniformemente en toda la superficie y penetrando la varilla en el espesor de la capa pero sin golpear la base de apoyo.

Paso 3: Llenar el Cono con una segunda capa hasta aproximadamente $2/3$ del volumen del mismo y compáctese con otros 25 golpes de la varilla.

Siempre con la punta redondeada en contacto con el mortero y repartiéndolos uniformemente por toda la superficie.

Debe atravesarse la capa que se compacta y penetrar ligeramente (2 a 3 cm.) en la capa inferior pero sin golpear la base de ésta.

Paso 4: Llénese el volumen restante del cono agregando un ligero «copete» de mortero y compáctese esta última capa con otros 25 golpes de la varilla, que debe penetrar ligeramente en la segunda capa.

Paso 5: Retirar el exceso del mortero con una llana metálica, de modo que el Cono quede perfectamente lleno y enrasado.

Quitar el hormigón que pueda haber caído alrededor de la base del Cono.

Paso 6: Sacar el molde con cuidado, levantándolo verticalmente en un movimiento continuo, sin golpes ni vibraciones y sin movimientos laterales o de torsión que puedan modificar la posición del hormigón.

Paso7: A continuación; se coloca el Cono de Abrams al lado del cono formado por el hormigón, y se mide la diferencia de altura entre ambos.

Si la superficie del cono de hormigón no queda horizontal, debe medirse en un punto medio de la altura y nunca en el más bajo o en el más alto.

A continuación, se presenta la siguiente tabla con los valores de asentamiento recomendado según la norma ACI 211.

Tabla 7: Valores del asentamiento del hormigón.

Consistencia	Asentamiento [cm]	Estructura	Compactado
Muy seca	0 a 2	Vigas o pilotes de alta resistencia	Fuerte compactación o vibrado
Seca	2 a 3.5	Pavimentos vibrados, elementos prefabricados extrusados	Con máquina extrusadora, rodillos vibradores
Semi – seco	3.5 a 5	Losas medianamente reforzadas	Puede moldearse eficazmente por compactación o vibrado
Media	5 a 10	Fundaciones de hormigón simple, pilares, columnas, vigas, fundaciones	hormigón plástico, fácilmente moldeable aunque requiera alguna compactación para colocarlo en las estructuras
Húmeda	10 a 15	Secciones extremadamente reforzadas de difícil acceso. Revestimiento de túneles	hormigón fácilmente colocable
Fluida	15 a 20	Secciones no estructurales de difícil acceso	Hormigón que puede ser vertido en el lugar

Fuente: Norma ACI 211.

2.3 Baldosas peatonales.

Las baldosas son placas de poco grosor, generalmente usadas como revestimiento de suelos, diseñadas para soportar cargas de impacto y flexión entre otras. (Norma Colombiana NTC-1085 1976).

Las baldosas empleadas en la investigación corresponden a un área de 40 cm x 40 cm y un espesor de 5cm.

Imagen 5: molde de la baldosa peatonal



Fuente: elaboración propia, 2021.

2.4 Ensayo de resistencia a flexión

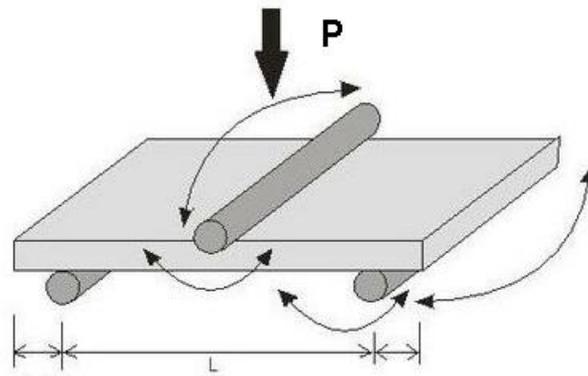
El ensayo tiene como objetivo determinar la resistencia a flexión de baldosas peatonales de mortero, dada la esbeltez de la baldosa con grandes dimensiones de longitud y anchura respecto al espesor. La resistencia a flexión nos aproxima a la resistencia mecánica de la pieza en su conjunto, ante agresiones de diferente naturaleza como: cargas dinámicas y estáticas, rodaduras e impactos (Medina 2016).

El ensayo se basa en la Norma Española UNE EN 13748-2 descrita a continuación:

Paso 1: La resistencia a flexión se determinará sobre probetas de 40 cm x 40 cm colocadas sobre dos varillas metálicas de base circular que funcionan de apoyos paralelos y separados entre sí.

En la probeta a ensayar se identifica los ejes donde se encontrarán los apoyos y se mide esta distancia entre ambos, la aplicación de la carga será en el centro de la probeta.

Imagen 6: probeta a ensayar.



Fuente: Instituto Tecnológico de Lleida, 2011.

Paso 2: Se coloca la probeta de ensayo sobre los apoyos y en medio de ambos se encuentran unas tiras de goma para evitar que las irregularidades de la superficie de la baldosa proporcione resultados erróneos, con ayuda de la Máquina Universal de ensayos LAW 1000, se ubica el cabezal sobre la probeta de modo que esté en contacto sin aplicación de carga.

Paso 3: Se aplica la carga hasta la rotura de la probeta y se registra la carga aplicada. Como la probeta contiene los cordones de plástico, la misma no se separa por lo que se presenta la resistencia remanente hasta alcanzar la rotura de los cordones de plástico.

Paso 4: Una vez ensayada la probeta se procede al cálculo de la resistencia flexión con la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{3 * P * L}{2 * b * h^2}$$

Donde:

σ = Resistencia a flexión [MPa]

P = Carga de rotura [N]

L = Longitud entre apoyos [mm]

b = Base de la probeta [mm]

h = Altura de la probeta [mm]

2.4.1 Resistencia remanente.

La resistencia remanente corresponde a la máxima tensión nominal, calculada sobre la sección neta, que es capaz de resistir una probeta agrietada. (UNE EN-7540 2021).

Para nuestra investigación esta resistencia se presenta una vez aplicada la carga de rotura y en su mayoría es absorbida por los cordones de plástico.

2.5 Análisis estadístico.

2.5.1 Análisis de varianza ANOVA.

La técnica de análisis de varianza ANOVA, también conocida como análisis factorial y desarrollada por Fisher en 1930, constituye la herramienta básica para el estudio del efecto de uno o más factores, cada uno con dos o más niveles; sobre la media de una variable continua. Es por lo tanto el test estadístico a emplear cuando se desea comparar

las medias de dos o más grupos. Esta técnica puede generalizarse también para estudiar los posibles efectos de los factores sobre la varianza de una variable (Amat 2016).

El análisis de varianza ANOVA es útil cuando hay más de dos grupos que necesitan ser comparados, cuando hay mediciones repetidas en más de dos ocasiones, cuando los sujetos pueden variar en una o más características que afectan el resultado y se necesita ajustar su efecto o cuando se desea analizar simultáneamente el efecto de dos o más tratamientos diferentes (Dagnino 2014).

2.5.1.1 Tipos de prueba ANOVA.

Los tipos de prueba ANOVA que es posible realizar son los siguientes:

ANOVA unidireccional.

El análisis de la varianza unidireccional también se conoce como ANOVA de un solo factor o ANOVA simple. Como sugiere el nombre, ANOVA de una vía es adecuado para experimentos con una sola variable independiente con dos o más niveles (blog TIBCO 2020).

Un ANOVA unidireccional asume:

- Independencia: el valor de la variable dependiente para una observación es independiente del valor de cualquier otra observación.
- Normalidad: el valor de la variable dependiente se distribuye normalmente.
- Varianza: la varianza es comparable en diferentes grupos de experimentos.

- Continuo: la variable dependiente es continua y se puede medir en una escala que se puede subdividir.

Mediante el análisis de varianza ANOVA se pretende probar las siguientes hipótesis en base a los cálculos de la media de cada uno de los grupos para a continuación comparar la varianza de estas medias, frente a la varianza promedio dentro de los grupos.

Hipótesis nula: Tres o más medias poblacionales son iguales.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k$$

Donde:

μ_k es la media del i -ésimo nivel del factor

Hipótesis alterna: Al menos una de las medias es diferente.

H_1 : no todas las medias son iguales

ANOVA factorial completo.

ANOVA factorial completo también llamado ANOVA bidireccional, se utiliza cuando existen dos o más variables independientes. Cada uno de estos factores puede tener varios niveles. ANOVA factorial completo solo se puede utilizar en el caso de un experimento factorial completo, donde se utilizan todas las posibles combinaciones de los factores y sus niveles (blog TIBCO 2020).

Este ANOVA bidireccional no solo mide la variable independiente frente a la independiente, sino también si los dos factores se afectan entre sí (blog TIBCO 2020).

ANOVA bidireccional asume:

- Continuo: Al igual que un ANOVA unidireccional, la variable dependiente deberá ser continua.
- Independencia: cada muestra es independiente de otras muestras, sin combinaciones.
- Varianza: la varianza de los datos entre los diferentes grupos es la misma.
- Normalidad: las muestras son representativas de una población normal.
- Categorías: Las variables independientes deberán estar en categorías o grupos separados.

Debido a que el ANOVA bidireccional considera el efecto de dos factores categóricos y el efecto de los factores categóricos entre sí, hay tres pares de hipótesis nulas o alternativas para el ANOVA bidireccional (Mackenzie 2018). A continuación mostramos las hipótesis que se verificarán para la investigación.

Primer par de hipótesis planteado.

- H0: No existen diferencias en la media poblacional debido al primer factor.
- H1: Existen diferencias en la media poblacional debido al primer factor.

Segundo par de hipótesis planteado.

- H0: No existen diferencias en la media poblacional debido al segundo factor.
- H1: Existen diferencias en la media poblacional debido al segundo factor.

Tercer par de hipótesis planteado.

- H0: no hay efectos de interacción entre el primer y segundo factor.
- H1: Existe efectos de interacción entre el primer y segundo factor.

Metodología para el análisis de varianza bidireccional.

Para poder calcular las diferentes varianzas en primer lugar se tienen que obtener las Sumas de Cuadrados:

- **Suma de Cuadrados Total o Total Sum of Squares:** mide la variabilidad total de los datos, se define como la suma de los cuadrados de las diferencias de cada observación respecto a la media general de todas las observaciones. Los grados de libertad de la suma de cuadrados totales es igual al número total de observaciones menos uno (N-1) (Amat 2016).

$$SC_{TOT} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K (y_{ijk} - \bar{y})^2$$

- **Suma de cuadrados del tratamiento o Sum of Squares due to Treatment:** mide la variabilidad en los datos asociada al efecto del factor sobre la media. Se obtiene como la suma de los cuadrados de los valores de los factores entre el número de tratamientos menos la relación entre el cuadrado de la suma total y el total de datos (Amat 2016).

$$SC_{TRAT} = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J y_{ij}^2}{K} - \frac{Y^2}{IJK}$$

- **Suma de cuadrados de la repetición o Sum of Squares of the repetition:** Se obtiene como la suma de los cuadrados de los valores de las repeticiones entre el número de datos de los factores, menos la relación entre el cuadrado de la suma total y el total de datos. Los grados de libertad correspondientes son igual al número niveles del factor menos uno (k-1) (Amat 2016).

$$SC_{REP} = \frac{\sum_{k=1}^K y_k^2}{IJ} - \frac{Y^2}{IJK}$$

- **Suma de cuadrados residual/error o Sum of Squares of Errors:** mide la variabilidad dentro de cada nivel, es decir, la variabilidad que no es debida a variable cualitativa o factor. Se calcula como la suma de los cuadrados totales menos la suma de los cuadrados del tratamiento menos la suma de los cuadrados de la repetición. Los grados de libertad asignados a la suma de cuadrados residual equivale la diferencia entre los grados de libertad totales y los grados de libertad del factor, o lo que es lo mismo (N-k). En estadística se emplea el termino error o residual ya que se considera que esta es la variabilidad que muestran los datos debido a los errores de medida (Amat 2016).

$$SC_e = SC_{TOT} - SC_{TRAT} - SC_{REP}$$

Una vez descompuesta la suma de cuadrados se puede obtener la descomposición de la varianza dividiendo la Suma de Cuadrados entre los respectivos grados de libertad. De forma estricta, al cociente entre la Suma de Cuadrados y sus correspondientes grados de libertad se le denomina *Cuadrados Medios o Mean Sum of Squares* y pueden ser empleado como estimador de la varianza (Amat 2016).

En la siguiente tabla se determina el tratamiento siguiente de los datos con el fin de hallar el valor de F, el cual se comparará con el valor de F de Fisher obtenido de tablas, considerando el nivel de significancia que se desea obtener.

Tabla 8: Tabla ANOVA para un tratamiento completo.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Razón F
Repetición	K-1	SC_{REP}	$SC_{REP}/(K - 1)$	CM_{REP}/CM_e
Efectos principales				
A	I-1	SC_A	$SC_A/(I - 1)$	CM_A/CM_e
B	J-1	SC_B	$SC_B/(J - 1)$	CM_B/CM_e
Interacción AB	(I-1)*(J-1)	SC_{AB}	$SC_{AB}/(I - 1)(J - 1)$	CM_{AB}/CM_e
Error	(I*J-1)(K-1)	SC_e	$SC_e/(IJ - 1)(K - 1)$	
Total	I*J*K-1	SC_{TOT}		

Fuente: Metodología de investigación y diseño estadístico de experimentos 2001.

Finalmente, si el valor de F calculado comparado con el valor de F crítico de la tabla, es menor se acepta la hipótesis nula, esto indica que no existe diferencias entre la variable de medición que se debe a ese factor.

ANOVA solo establecerá si existe una diferencia significativa entre las medias de al menos dos grupos, pero no explicará cual es el par que difiere en sus medias. Si existe un requisito de datos detallados, el despliegue de los procesos estadísticos de seguimiento adicionales ayudará a descubrir qué grupos difieren en el valor medio. Normalmente, ANOVA se utiliza en combinación con otros métodos estadísticos (blog TIBCO 2020).

2.5.2 Prueba Duncan.

El Test de Duncan fue desarrollado en 1951, es un test de comparaciones múltiples. Permite comparar las medias de los diferentes niveles de un factor después de haber rechazado la Hipótesis nula de igualdad de medias mediante la técnica ANOVA (Llopis 2013).

Mediante esta prueba se puede determinar los valores medios con una mayor diferencia significativa de un conjunto de datos, y aquellos valores medios que son iguales para un nivel de confiabilidad dada para la investigación.

Para saber el número de medias implicadas en la comparación se ordenan las medias muestrales de mayor a menor y así al hacer una comparación entre dos medias sabremos además de las dos medias comparadas cuantas medias quedan dentro (Llopis 2013).

La diferencia entre dos valores medios debe ser comparada con el valor de R_p para un nivel de confiabilidad, este valor dependerá de la cantidad de datos analizados, de la cantidad de repeticiones del ensayo y del valor del cuadrado medio del error obtenido mediante la prueba ANOVA.

$$R_p = r_p * \sqrt{\frac{s^2}{n}}$$

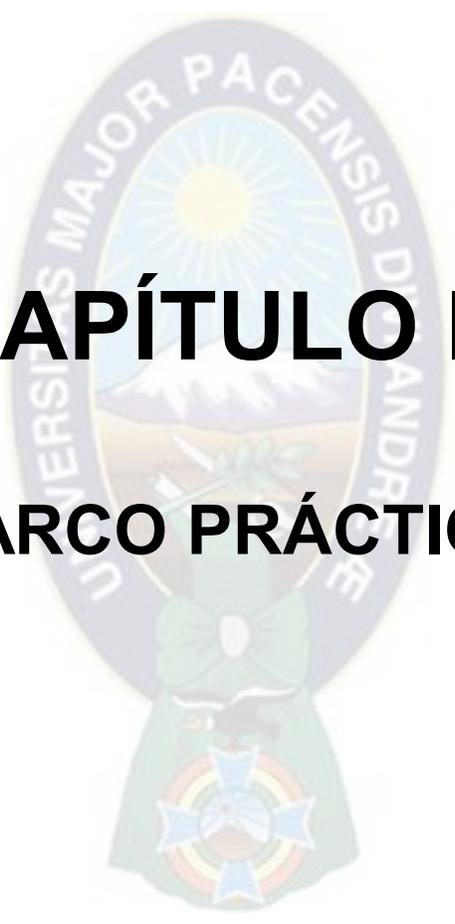
Donde:

r_p = valor obtenido de tablas, para un nivel de confiabilidad

s^2 = cuadrado medio del error

n = numero de repeticiones

Si una diferencia observada es mayor que el intervalo mínimo significativo, se concluye que la pareja de medias comparadas son significativamente diferentes.



CAPÍTULO III

MARCO PRÁCTICO

CAPÍTULO III

3. Marco Práctico.

3.1 Material empleado.

El material empleado en la investigación está compuesto de arena, agua y cemento que conforman el mortero, estos materiales se encuentran en una relación en peso, entre cemento y arena de 1:6 y la relación entre el agua y cemento corresponde a 1.03; estas proporciones han sido obtenidas de manera empírica en los ambientes del Instituto de Materiales, en base a la dosificación que se emplea en el área de la construcción de nuestro país, y que además cumple con las especificaciones de resistencia a flexión de baldosas de la norma Española UNE – EN 13748-2.

Imagen 7. Material empleado en las baldosas.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

A continuación se presenta los desechos de plástico proveniente de la empresa Marecbol, de donde provienen los cordones.

Imagen 8. Residuos de la empresa Marecbol.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.1.1 Ensayos de caracterización de los materiales.

3.1.1.1 Análisis del agregado fino.

Análisis granulométrico.

El agregado fino fue analizado mediante el ensayo de granulometría con el objetivo de determinar la distribución de sus partículas, inicialmente se tiene el siguiente juego de tamices para realizar el ensayo.

Imagen 9. Juego de tamices para el agregado fino.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

La muestra de agregado fino a ensayar debe ser pesada inicialmente e introducida en el juego de tamices, que se encuentran ordenados de forma descendiente, es decir el tamiz N°4 debe estar arriba y el tamiz N° 100, con la abertura más pequeña, debe estar abajo, de modo que las partículas de diferentes tamaños queden en cada tamiz para obtener el peso retenido de la arena en cada número de tamiz.

Mediante una serie de movimientos al juego tamices, se obtiene la cantidad de agregado fino retenido en cada tamiz, como se observa en la siguiente imagen.

Imagen 10. Peso retenido de la arena en cada tamiz.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Se pesa cada recipiente y se determina el peso retenido del agregado fino en cada tamiz, finalmente se evalúa la existencia de pérdida de material al realizar el ensayo, el cual debe ser inferior al 3%.

Peso específico y absorción.

Para realizar el ensayo de peso específico y absorción del agregado fino, inicialmente la muestra debe estar en un estado de saturado superficialmente seco, registrándose este primer dato.

Se registra el peso de un matraz de Le chatellier, posteriormente se procede a llenar de agua el mismo para ser pesado nuevamente con el líquido.

Imagen 11. Matraz de Le Chatellier



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Se introduce el agregado fino al matraz con ayuda de un embudo, verificando que no exista partículas de la arena en las paredes superiores del matraz, para evitar la pérdida de material, mediante movimientos giratorios se expulsa las burbujas de aire que puedan existir dentro y se registra el peso del matraz más el agua y la muestra de agregado fino en su interior.

Se pesa un recipiente vacío que pueda contener la muestra más el agua para introducirlo en el horno durante 24 horas a una temperatura de 110°C y obtener el peso seco del agregado fino.

Imagen 12. Muestra de agregado fino y agua.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Peso unitario

Para el ensayo de peso unitario del agregado fino se emplea un recipiente metálico, se determina el peso del recipiente vacío y en el caso del peso unitario suelto se introduce cuidadosamente el agregado fino con el objetivo de evitar la compactación de la muestra, se procede a enrasar el material dentro del recipiente y se determina su peso.

Por otro lado para el peso unitario compactado, se introduce la muestra en tres capas en el recipiente metálico y en cada capa se compacta la muestra mediante una varilla metálica que es introducida 25 veces en cada capa sin tocar la capa inferior, se procede a enrasar y determinar el peso de la muestra más el recipiente.

Imagen 13. Ensayo de peso unitario del agregado fino.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Para determinar el volumen del recipiente se llena el mismo con agua, y se obtiene su peso, garantizando que no exista burbujas de aire en su interior, posteriormente se procede a medir la temperatura del agua empleada en el ensayo.

Equivalente arena.

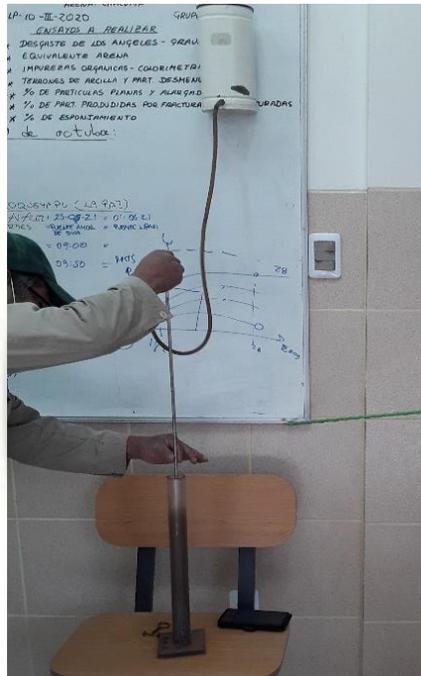
En un envase de 85 ml se obtiene la muestra del agregado fino en estado húmedo, la misma debe corresponder a la cantidad de arena que pasa el tamiz N°4.

Se procede a llenar la probeta estándar con la solución de ensayo hasta la marca de 10 cm y con la ayuda de un embudo, se vierte el agregado fino en la probeta, se gira la misma para expulsar las burbujas de aire y humedecer completamente la muestra.

Por un tiempo de 2 minutos se deja en reposo la probeta y posteriormente se introduce el tapón para evitar la pérdida de material, se agita de manera horizontal en 90 ciclos en 30 segundos.

El frasco con la solución de ensayo se encuentra a una altura aproximada de 90 [cm], y en su extremo se encuentra el tubo irrigador metálico mediante el cual se procede a lavar las paredes de la probeta de modo que el material adherido después de la agitación caiga dentro de la probeta.

Imagen 14. Lavado de la probeta mediante el irrigador.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Se debe introducir el tubo irrigador hasta el fondo de la probeta y lavar el material haciéndolo suspender, cuando se considere que el material este completamente limpio, se mantiene el tubo irrigador en el fondo, en posición vertical hasta que el líquido se aproximé a la marca de 38 cm, y posteriormente se va retirando pausadamente hasta completar dicha marca.

Se procede a dejar las probetas en reposo por 20 minutos, en ese tiempo las probetas no deben moverse y el mesón sobre el cual están debe estar libre de vibraciones.

Imagen 15. Probeta más muestra en reposo.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Transcurridos los 20 minutos se lee el nivel superior y se introduce cuidadosamente la barra estándar en la probeta, hasta que se asiente suavemente encima del sedimento por su propio peso, sin tocar las paredes de la probeta al bajar la barra y se obtiene la lectura del nivel inferior

Imagen 16. Lectura superior e inferior de la muestra.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.1.1.2 Análisis del cemento

Peso específico

El ensayo de peso específico del cemento se realiza en base a la norma ASTM C 188, que indica como procedimiento inicial, el secado de la muestra en el horno durante 24 horas a una temperatura de 110°C y como peso del cemento a ensayar igual a 60 [g], como se muestra a continuación.

Imagen 17. Pesado del cemento Ecebol



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Posteriormente se emplea un matraz de Le Chatellier que contiene kerosene y se realiza la lectura inicial del volumen del líquido.

Se introduce el cemento en el matraz con ayuda de un embudo, verificando que no existan partículas de la muestra en las paredes superiores del matraz, para evitar la pérdida de material.

Imagen 18. Matraz de Le Chatellier mas muestra.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Mediante movimientos giratorios se expulsan las burbujas de aire que puedan existir dentro del matraz, cuidando que no haya pérdida de kerosene, se introduce el matraz en baño María para mantener la temperatura y cada 15 minutos se realiza la lectura final del volumen del cemento y kerosene dentro del matraz hasta que esta medida no presente variaciones.

Imagen 19. Matraz en baño María.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.2 Ensayos principales

3.2.1 Diseño del experimento

Las baldosas de mortero reforzadas con los cordones de plástico contienen como cantidad mínima 8 cordones en cada dirección, los mismos representan a un puñado de cordones; posteriormente realizamos baldosas con el objetivo de determinar la cantidad máxima de cordones que se puede incorporar en la baldosa, llegando a la conclusión que 16 cordones en cada dirección y en cada capa permiten que la baldosa conserve su facilidad de fabricación, es decir cantidades más elevadas de cordón de plástico dificultan el proceso de fabricación de la baldosa; también mediante la elaboración de las baldosas se observa que se puede realizar la distribución de los cordones de plástico en dos capas debido al espesor de la baldosa, más capas dificultan el proceso de fabricación de la baldosa, y por último se observa que existe la posibilidad de distribuir los cordones de plásticos en los extremos de la baldosa con el objetivo de determinar si existe una diferencia con respecto a la distribución de los cordones en toda la longitud o en los extremos de la baldosa.

Mediante el diseño del experimento se estableció que el tiempo de ensayo de las baldosas sería de 28 y 56 días, y para su estudio se empleó el análisis de varianza por lo que se necesitó como mínimo 3 repeticiones de cada tipo de refuerzo, por lo tanto el diseño del experimento corresponde a la elaboración de 7 tipos de refuerzo ensayadas a flexión a dos edades de 28 y 56 días, con tres repeticiones para cada tipo de refuerzo y edad como se describe a continuación.

Tabla 9. Diseño del experimento.

RESISTENCIA A FLEXIÓN EN MPa							
Factor B Tipo de Refuerzo							
Baldosa Patrón	Refuerzo A	Refuerzo B	Refuerzo C	Refuerzo D	Refuerzo E	Refuerzo F	
SF (Baldosa sin fibra)	8 -1c – u (8 cordones en 1 capa repartidos uniformemente)	8 -2c – u (8 cordones en 2 capas repartidos uniformemente)	8 -1c – n/u (8 cordones en 1 capa repartidos en los extremos de la baldosa)	8 -2c – n/u (8 cordones en 2 capas repartidos en los extremos de la baldosa)	16 -1c – u (16 cordones en 1 capa repartidos uniformemente)	16 -2c – u (16 cordones en 2 capas repartidos uniformemente)	
Factor A Edad de Ensayo	28 días	Repetición 1	Repetición 1	Repetición 1	Repetición 1	Repetición 1	Repetición 1
		Repetición 2	Repetición 2	Repetición 2	Repetición 2	Repetición 2	Repetición 2
		Repetición 3	Repetición 3	Repetición 3	Repetición 3	Repetición 3	Repetición 3
	56 días	Repetición 1	Repetición 1	Repetición 1	Repetición 1	Repetición 1	Repetición 1
		Repetición 2	Repetición 2	Repetición 2	Repetición 2	Repetición 2	Repetición 2
		Repetición 3	Repetición 3	Repetición 3	Repetición 3	Repetición 3	Repetición 3

Fuente: Elaboración propia, 2022.

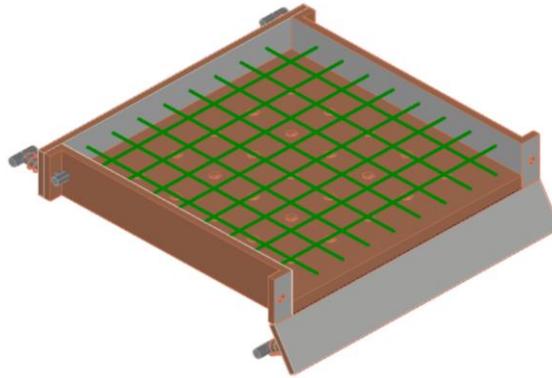
Cada repetición representa el promedio de los resultados del ensayo de resistencia a flexión de dos baldosas vaciadas con la misma dosificación, tipo y forma de refuerzo.

A continuación describimos los tipos de refuerzos que se ha planteado en la investigación, en base a los ensayos previos que se realizó.

Refuerzo A.

El refuerzo A, tiene una disposición de 8 cordones en cada dirección, distribuidos en una capa de manera uniforme, como se muestra en la siguiente imagen.

Imagen 20: refuerzo A, vista isométrica.

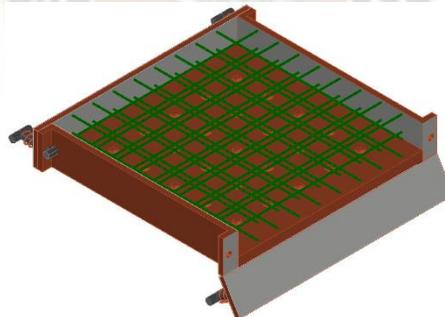


Fuente: Elaboración propia, 2022.

Refuerzo B.

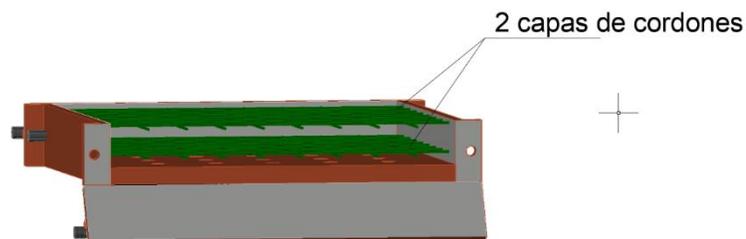
El refuerzo B tiene una disposición en 2 capas, de 8 cordones en cada dirección y en cada capa, con una distribución uniforme a lo ancho de la Baldosa.

Imagen 21: refuerzo B, vista isométrica.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Imagen 22: refuerzo B, vista frontal.

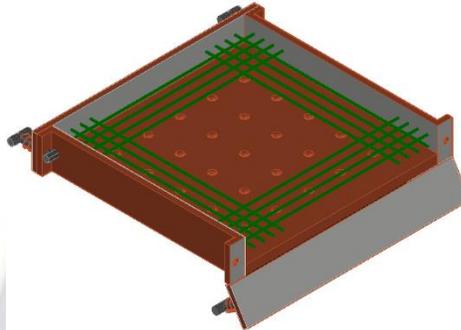


Fuente: elaboración propia, 2022.

Refuerzo C.

El refuerzo C tiene una disposición en 1 capa, de 8 cordones en cada dirección, con una distribución que concentre los cordones en los extremos del ancho de la Baldosa.

Imagen 23: refuerzo c, vista isométrica.

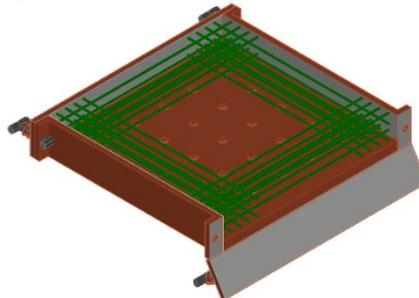


Fuente: Elaboración propia, 2022.

Refuerzo D.

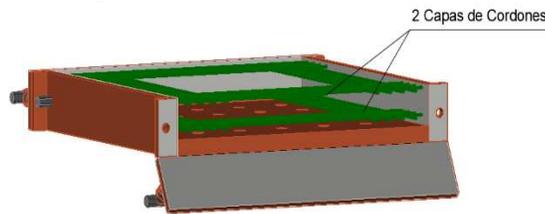
El refuerzo D tiene una disposición en 2 capas, de 8 cordones en cada dirección y en cada capa, con una distribución que concentre los cordones en los extremos del ancho de la Baldosa.

Imagen 24: refuerzo D, vista isométrica.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Imagen 25: refuerzo D, vista frontal.

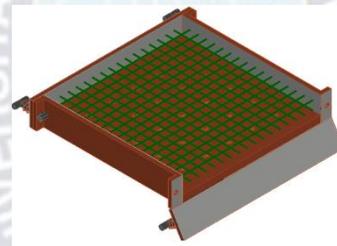


Fuente: elaboración propia, 2022.

Refuerzo E

El refuerzo E tiene una disposición en 1 capa, de 16 cordones en cada dirección, con una distribución uniforme en todo el ancho de la Baldosa.

Imagen 26: refuerzo E, vista isométrica.

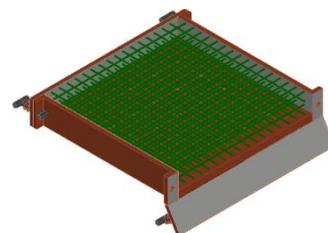


Fuente: Elaboración propia, 2022.

Refuerzo F.

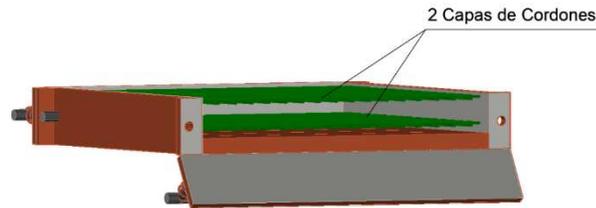
El refuerzo F tiene una disposición en 2 capas, de 16 cordones en cada dirección y en cada capa, con una distribución uniforme en todo el ancho de la Baldosa.

Imagen 27: refuerzo F, vista isométrica.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Imagen 28: refuerzo F, vista frontal.



Fuente: elaboración propia, 2022.

3.2.2 Elaboración de las baldosas.

El procedimiento que se realizó, desde la obtención de los cordones de plástico mediante la empresa Marebol, hasta la elaboración de las baldosas de mortero se describe en el siguiente gráfico.

Gráfico 2. Procedimiento de la elaboración de las baldosas.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Adecuación de los cordones de plástico.

La empresa Marecbol nos ha proporcionado los desechos de su máquina peletizadora en forma de cordones de diversos tamaños, estos cordones de plástico PET han sido cortados a una longitud de 40 [cm] para que puedan ser incorporados en las baldosas y verificar si presentan ventajas en la elaboración de las baldosas.

Imagen 29. Cordones de plástico.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Preparado de los moldes.

Los moldes empleados para la fabricación de las baldosas son metálicos, con dimensiones de la base de 40[cm] x 40 [cm] y de 5 [cm] de espesor, estos moldes deben estar limpios para evitar que las impurezas perjudiquen los resultados obtenidos, además deben estar cubiertos de una capa delgada de aceite con el objetivo de evitar que el mortero se quede en el molde al momento del proceso de desmoldado.

Imagen 30. Moldes metálicos.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Cantidad de arena, cemento y agua.

La cantidad de material empleado en la elaboración del mortero está determinada por la relación antes descrita, a continuación mostramos los valores en peso de la cantidad que se ha empleado para la fabricación de 4 baldosas.

Tabla 10. Cantidad de los materiales.

Material	Cantidad
Arena	60 [kg]
Cemento	10 [kg]
agua	10.300 [kg]

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Una vez determinada la cantidad de los materiales, se procede a determinar la humedad de la arena, para hallar la porción de agua presente en la arena que debe ser descontada del peso del agua y de este modo mantener la relación entre el agua y el cemento.

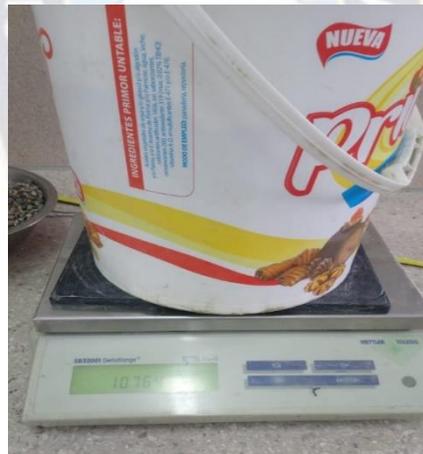
Imagen 31. Peso de la arena seca.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Posteriormente se realizó el proceso de pesado de los materiales, se ha empleado baldes de plástico con una capacidad aproximada de 30 [Kg]. Como se observa a continuación.

Imagen 32. Pesado de la arena.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Mezclado.

La mezcladora empleada en el proceso de elaboración del mortero debe estar limpia y libre de impurezas que puedan adherirse a la mezcla, así también las paredes internas deben estar humedecidas de modo que no absorba el agua del mortero.

Una vez que la mezcladora este apta para su uso, introducimos en el siguiente orden los materiales: arena, cemento y agua, mientras se van mezclando se debe garantizar que no se formen grumos o falta de homogeneidad en el mortero, porque causaría variación en los resultados de la resistencia a flexión de las baldosas.

Imagen 33. Mezclado de los materiales



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Ensayo en el mortero fresco.

La mezcla debe estar homogénea para verificar la consistencia mediante el ensayo del cono de Abrams. Humedecemos la pared interna del molde e introducimos la mezcla en tres capas iguales con una compactación de 25 golpes en cada capa con ayuda de la barra metálica, posteriormente quitamos el molde y verificamos la consistencia de la mezcla.

Imagen 34. Ensayo del Cono de Abrams.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Colocado del mortero en los moldes.

Una vez realizado el ensayo para determinar la consistencia, se procede a introducir la mezcla en los moldes ya preparados y de acuerdo al tipo de refuerzo al que pertenece la baldosa, dos baldosas corresponden a un tipo de refuerzo diferente al otro par de baldosas, se debe verificar que los cordones de plástico no sobresalgan a la superficie de la baldosa.

Imagen 35. Elaboración de la baldosa con refuerzo.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Para realizar la investigación se elaboró 6 baldosas para cada tipo de refuerzo ensayadas a 28 días de edad y otras 6 para ensayarlas a 56 días de edad, como son 7 tipos de refuerzo mas la baldosa sin cordones de plástico, se fabricó un total de 84 baldosas.

Vibrado.

El proceso de vibrado de la mezcla facilita la expulsión de las burbujas de aire atrapadas en el interior de la misma, una vez que se ha colocado el mortero al interior del molde, se enciende la mesa vibradora por 7 segundos, este tiempo nos permite sacar las burbujas de aire sin permitir que los cordones de plástico también salgan a la superficie de la baldosa.

Imagen 36. Vibrado de la baldosa.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Fraguado.

El periodo de fraguado del mortero inicia cuando las baldosas son trasladadas al cuarto de curado, con previa nivelación de la superficie, posterior a 24 horas la mezcla alcanza un estado de endurecimiento que permite extraer la baldosa del molde metálico.

Imagen 37. Periodo de fraguado de las baldosas.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Desmoldado.

Posterior a las 24 horas del tiempo de fraguado, se procede a separar las baldosas de los moldes metálicos con el objetivo de introducirlos a la piscina para el proceso de curado de las baldosas, la separación del molde metálico se debe realizar evitando dañar la baldosa o introducir cargas que afectarían a los resultados del ensayo a flexión, se rotula la fecha de vaciado y el tipo de refuerzo en cada baldosa y se prepara para el proceso de curado, los moldes metálicos son limpiados y preparados para la siguiente vaciada.

Imagen 38. Desmoldado de las baldosas.

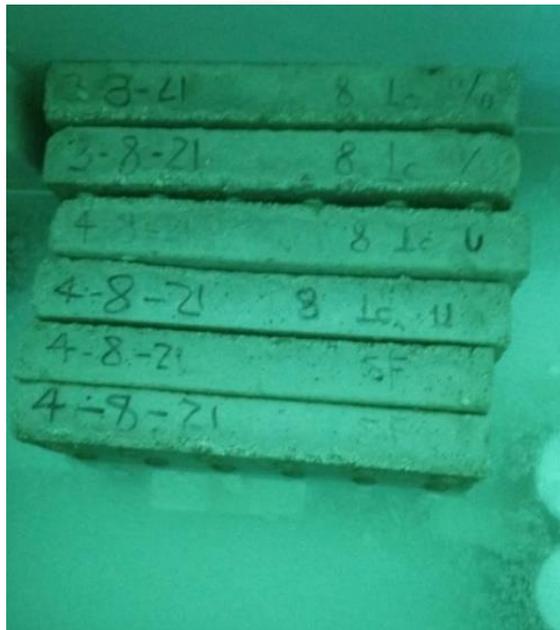


Fuente: Elaboración propia, 2022.

Curado.

La baldosa después de ser extraída del molde metálico, está preparada para ser sumergida en la piscina de agua a una temperatura de 20 ± 2 °C, durante 28 o 56 días, con el objetivo de hidratar completamente el cemento.

Imagen 39. Curado de las baldosas.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.2.3 Ensayo de resistencia a flexión.

Las baldosas una vez que hayan alcanzado la edad de ensayo de 28 o 56 días respectivamente, serán extraídas de la piscina y secadas para realizar inmediatamente el ensayo de resistencia a flexión en base a las especificaciones de la Norma Española UNE-EN 13748-2.

Imagen 40. Extracción de la baldosa de la piscina.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Se determina la distancia entre los ejes de apoyo igual a 35 [cm] y la distancia media de la baldosa donde se aplicara la carga, igual a 20 [cm] desde su extremo, de modo que la carga sea repartida uniformemente sobre la superficie de la baldosa.

Imagen 41. Determinación de ejes en la baldosa.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Una vez que se ha determinado los ejes de apoyo y el eje de aplicación de la carga, se procede a preparar la baldosa sobre la máquina universal, garantizando que los ejes de apoyo se encuentren paralelos y el eje de aplicación de la carga este situada de modo céntrico al cabezal semiesférico de la máquina universal.

Las varillas metálicas de 2 [cm] de diámetro debe ser de longitud mayor a la baldosa y deben estar situadas en los ejes de apoyo y de aplicación de la carga, entre las mismas y la baldosa se coloca una tira de goma con una longitud superior a las varillas y el émbolo de carga de la maquina universal debe entrar en contacto con la varilla de transmisión de carga sin aplicar carga sobre la baldosa.

Imagen 42. Preparación del ensayo de resistencia a flexión.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Posteriormente la baldosa es sometida a una carga, con una velocidad de 1 [kN/ s] con el objetivo de conseguir la carga de rotura y la carga remanente de la baldosa.

Imagen 43. Ensayo de la resistencia a flexión.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Una vez ensayada la baldosa se anota la carga de rotura y la carga remanente y se procesa a retirar la baldosa ya ensayada.

Imagen 44. Baldosa ensaya a flexión.



Fuente: Elaboración propia, 2022.



CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

CAPÍTULO IV

4. Análisis de resultados.

4.1 Resultados de los ensayos de caracterización de los materiales

4.1.1 Análisis del Agregado Fino.

Para la investigación se empleó arena proveniente de Uma Palca, inicialmente se realizó los siguientes ensayos para determinar si es apto o no su uso en la elaboración de las baldosas de mortero.

4.1.1.1 Granulometría.

Para el análisis granulométrico se realizó el ensayo en base a la norma ASTM C 136, donde se obtuvieron datos de los pesos retenidos en cada tamiz para dos muestras, que se muestran a continuación.

Tabla 11. Pesos retenidos de la arena.

ANALISIS GRANULOMETRICO		
MUESTRA N°	1	2
PESO INICIAL [g]	1234.1	1246.4
TAMIZ N° 4	21.5	29.5
TAMIZ N° 8	106.6	111.3
TAMIZ N° 16	164.5	164.8
TAMIZ N° 30	252.1	251.5
TAMIZ N° 50	362.9	362.6
TAMIZ N° 100	222.8	222.1
CHAROLA	103.6	104.7
TOTAL [g]	1234	1246.5

Fuente: Elaboración propia, 2022

Para determinar si la arena es adecuada para la fabricación de las baldosas, es necesario elaborar la curva granulométrica y verificar si cumple los requisitos de los límites según la norma ASTM C33. A continuación mostraremos el cálculo para la obtención de la curva granulométrica del agregado fino.

Primero determinaremos el peso acumulado en el tamiz N° 8 para la muestra 1 con la siguiente formula:

$$\text{peso acumulado} = \text{peso retenido}_{n-1} + \text{peso retenido}_n$$

$$\text{peso acumulado} = 128.1 [g]$$

Determinamos el porcentaje de retenido acumulado para el tamiz N° 8.

$$\% \text{ retenido acumulado} = \frac{\text{peso acumulado}}{\text{total}} * 100$$

$$\% \text{ retenido acumulado} = 10.38 \%$$

Hallamos el peso que pasa a través del tamiz N° 8.

$$\text{peso que pasa} = \text{total} - \text{peso acumulado}$$

$$\text{peso que pasa} = 1105.9 [g]$$

Por ultimo determinamos el porcentaje que pasa a través del tamiz N° 8.

$$\% \text{ que pasa} = 100\% - \% \text{ retenido acumulado}$$

$$\% \text{ que pasa} = 89.62\%$$

Los resultados obtenidos de todos los tamices para la muestra 1 se exponen en la siguiente tabla, con la cual elaboraremos la curva granulométrica.

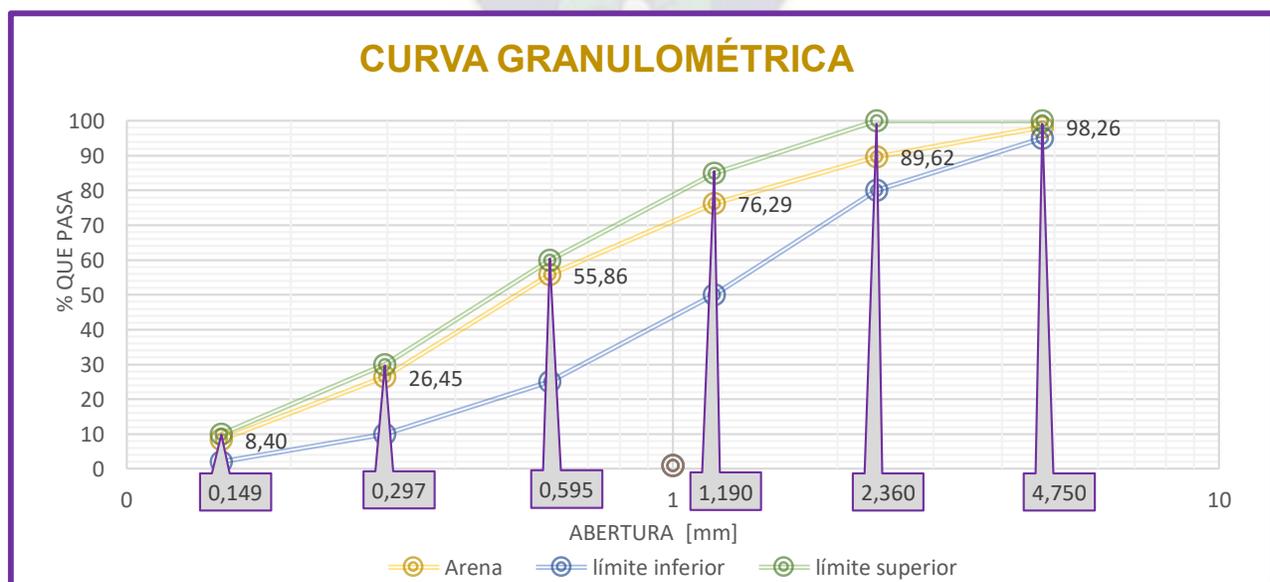
Tabla 12: Análisis Granulométrico - muestra 1.

TAMIZ	ABERTURA [mm]	PESO RETENIDO	PESO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	PESO QUE PASA [g]	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES INF-SUP	
Peso inicial [g] =					1234.10	[g]		
N°4	4.750	21.50	21.50	1.74	1212.50	98.26	95	100
N°8	2.360	106.60	128.10	10.38	1105.90	89.62	80	100
N°16	1.190	164.50	292.60	23.71	941.40	76.29	50	85
N°30	0.595	252.10	544.70	44.14	689.30	55.86	25	60
N°50	0.297	362.90	907.60	73.55	326.40	26.45	10	30
N°100	0.149	222.80	1130.40	91.60	103.60	8.40	2	10
CHAROLA		103.60						
TOTAL		1234.00	[g]					

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Para la elaboración de la curva granulométrica que se muestra a continuación, se emplean datos del porcentaje que pasa de cada tamiz y los límites aceptables según la norma ASTM C33.

Gráfico 3: Curva granulométrica - muestra 1.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Como se observa en la gráfica de la curva granulométrica para la muestra 1, los porcentajes que pasan de cada tamiz se encuentran dentro de los límites mencionados en la norma ASTM C33, por lo tanto para comprobar que el agregado fino es apto para la elaboración de las baldosas analizaremos la muestra 2.

Para el análisis de la muestra 2 se realizó el mismo procedimiento antes mencionado, obteniéndose la siguiente tabla con los porcentajes que pasan para cada tamiz.

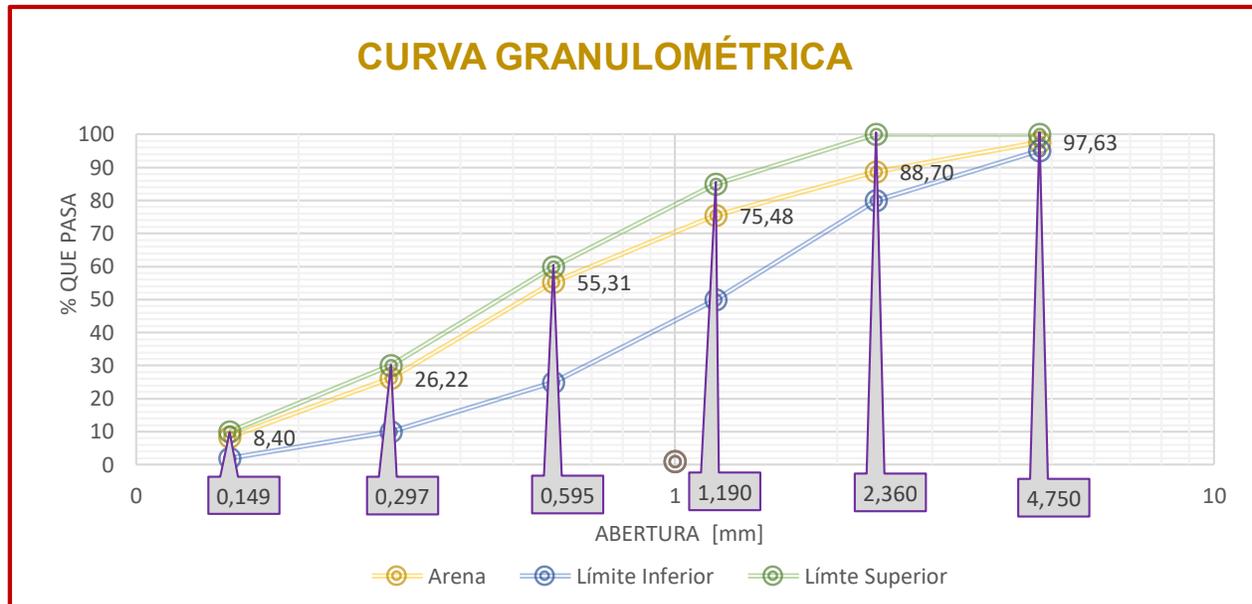
Tabla 13: Análisis Granulométrico - muestra 2.

TAMIZ	ABERTURA [mm]	PESO RETENIDO	PESO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	PESO QUE PASA [g]	% QUE PASA TOTAL	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES INF-SUP	
					Peso inicial (P i) = 1246.40	[g]			
N°4	4.750	29.50	29.50	2.37	1217.00	97.63	97.63	95	100
N°8	2.360	111.30	140.80	11.30	1105.70	88.70	88.70	80	100
N°16	1.190	164.80	305.60	24.52	940.90	75.48	75.48	50	85
N°30	0.595	251.50	557.10	44.69	689.40	55.31	55.31	25	60
N°50	0.297	362.60	919.70	73.78	326.80	26.22	26.22	10	30
N°100	0.149	222.10	1141.80	91.60	104.70	8.40	8.40	2	10
CHAROLA		104.70							
TOTAL		1246.50	[g]						

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Con los porcentajes que pasan cada tamiz se elabora la curva granulométrica de la muestra 2, observándose que el agregado fino se encuentra dentro de los límites establecidos en la norma ASTM C33, por lo tanto podemos concluir que la arena tiene una buena distribución del tamaño de sus partículas, y es apto para la elaboración de las baldosas de mortero.

Gráfico 4: Curva granulométrica - muestra 2.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

4.1.1.2 Peso Específico y Absorción.

El ensayo de Peso Específico y Absorción del agregado fino se realizó bajo la norma ASTM C128, donde se obtuvieron los siguientes datos para dos muestras.

Tabla 14: Datos de Peso Específico y Absorción.

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION		
MUESTRA N°	1	2
PESO RECIPIENTE [g]	153.6	152.4
PESO FRASCO [g]	148	148
PESO FRASCO + AGUA [g]	647.5	647.5
PESO MUESTRA SSS [g]	431.6	425.5
PESO MUESTRA + FRASCO + AGUA [g]	913.8	909.8
PESO MUESTRA SECA + RECIPIENTE [g]	578.8	571.8

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Para el análisis del Peso Específico y Absorción del agregado fino de la muestra 1, se realizó los siguientes cálculos.

Primero calculamos el peso específico de la masa para la muestra 1 con la siguiente formula:

$$\text{peso específico} = \frac{\text{peso muestra seca}}{\text{peso frasco con agua} + \text{peso muestra sss} - \text{peso frasco con agua y muestra}}$$

$$\text{peso específico } m1 = 2.57$$

Para obtener el porcentaje de absorción del agregado fino de la muestra 1, se emplea la siguiente formula:

$$\% \text{ de absorcion} = \frac{\text{peso muestra sss} - \text{peso muestra seca}}{\text{peso muestra seca}}$$

$$\% \text{ de absorcion } m1 = 1.51\%$$

A continuación mostramos los resultados obtenidos del ensayo de Peso Específico y Absorción del agregado fino.

Tabla 15: Resultados del ensayo Peso Específico y Absorción.

Muestra N°	Peso Especifico	Porcentaje de Absorción
1	2.57	1.51 %
2	2.57	1.45 %
Promedio	2.57	1.48 %

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Como se observa el valor del Peso Específico del agregado fino es de 2.57, con ayuda de este factor podremos determinar la cantidad del agregado necesario para un volumen unitario de la mezcla.

Así también el valor obtenido del porcentaje de absorción es de 1.48%, lo que nos indica la cantidad de agua absorbida en los poros de las partículas del agregado fino, este valor nos ayudara a corregir la cantidad de agua que se empleara en la elaboración del mortero para las baldosas.

4.1.1.3 Peso Unitario.

Para determinar el Peso Unitario del agregado fino se debe calibrar el recipiente empleado en el ensayo, los datos para este primer paso se muestran a continuación.

Tabla 16: Datos de Calibración del recipiente.

CALIBRACION RECIPIENTE	
MUESTRA N°	1
PESO RECIPIENTE [g]	1785.5
PESO RECIPIENTE + VIDRIO [g]	2669.8
PESO RECIPIENTE + VIDRIO + AGUA [g]	5500.8
TEMPERATURA AGUA [°C]	19°
TEMPERATURA AMBIENTE [°C]	18.5°
PORCENTAJE DE HUMEDAD AMBIENTE	36%

Fuente: Elaboración propia, 2022.

El peso del agua que contiene el recipiente se calculara mediante la siguiente formula.

$$\text{peso del agua} = \text{peso recipiente mas vidrio mas agua} - \text{peso recipiente mas vidrio}$$

$$\text{peso del agua} = 2831 [g]$$

Para determinar el Peso Unitario del agua contenida en el recipiente, el cual depende de la temperatura del mismo, se empleara la siguiente tabla.

Tabla 17: Datos de Calibración del recipiente.

Temperatura °C	Peso Unitario [kg/m ³]
18.3	998.54
21.1	997.97

Fuente: Ingeniería y mas, 2016.

Como se observa en la tabla anterior para una temperatura de 19 °C, se debe interpolar los datos para obtener el Peso Unitario del agua.

$$PU_{agua} = 998.398 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Para determinar el volumen del recipiente, se calculará el volumen del agua que lo contiene, debido a que son iguales.

$$Vm = \frac{Peso\ del\ agua}{PU\ agua}$$

$$Vm = 2835.54 [ml]$$

Una vez que se ha calibrado el recipiente empleado para el ensayo de Peso Unitario; en base a la norma ASTM C 29, se obtiene los siguientes datos.

Tabla 18: Datos de Peso Unitario.

PESO UNITARIO		
PESO RECIPI	1785.8	[g]
MUESTRA N°	SUELTO [g]	COMPACTADO [g]
1	6125.6	6677
2	6136.8	6726
3	6171.6	6754
PROMEDIO	6144.7	6719

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Como se observa la tabla anterior, se tiene datos de la muestra en estado suelto y compactado, por lo tanto primero se determinara el valor del Peso Unitario Suelto.

Calculamos el peso de la muestra suelta con la siguiente formula:

$$\text{peso muestra suelta} = \text{peso muestra mas recipiente} - \text{peso recipiente}$$

$$\text{peso muestra suelta} = 4358.9 [g]$$

Para el cálculo del Peso Unitario Suelto usaremos la siguiente formula.

$$PU \text{ suelto} = \frac{\text{peso suelto}}{\text{volumen del recipiente}}$$

$$PU \text{ suelto} = 1536.97 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Realizarnos el mismo procedimiento para determinar el Peso Unitario Compactado, obteniéndose los siguientes resultados.

$$\text{peso muestra compactada} = 4933.2 [g]$$

$$PU \text{ compactado} = 1739.47 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

El valor del Peso Unitario del agregado fino nos ayudará a convertir las cantidades que se necesitan de peso a volumen o viceversa, según el requerimiento para la elaboración de la baldosa.

4.1.1.4 Equivalente Arena.

El ensayo de Equivalente Arena se realizó para dos muestras del agregado fino, en base a la norma ASTM D 2419, los resultados se muestran a continuación.

Tabla 19: Datos de Equivalente Arena.

EQUIVALENTE ARENA		
MUESTRA N°	1	2
NIVEL SUPERIOR - ARCILLA [cm]	4.8	4.8
NIVEL INFERIOR - ARENA [cm]	4.1	4.05

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Para determinar el valor del ensayo de Equivalente Arena de la muestra 1 se empleará la siguiente fórmula.

$$\text{Equivalente Arena} = \frac{\text{nivel de la arena}}{\text{nivel de la arcilla}} * 100\%$$

A continuación mostramos los resultados obtenidos del ensayo de Equivalente Arena.

Tabla 20: Resultados de Equivalente Arena.

Muestra N°	Equivalente Arena
1	85.42 %
2	84.38%
promedio	84.9 %

Fuente: Elaboración propia, 2022

El valor promedio del ensayo de Equivalente Arena igual a 84.9%, nos permite estimar la cantidad de finos presentes en el agregado fino, como este valor es elevado, la calidad del agregado también elevada y apto para su uso en la elaboración de las baldosas.

4.1.2 Análisis del Cemento

4.1.2.1 Peso específico

El ensayo de peso específico del cemento se realizó en base a la norma ASTM C 188, obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla 21: Datos de peso específico del cemento.

Numero de muestra	1	2
Masa del cemento	60 [g]	60 [g]
Volumen inicial	0.7 [ml]	0.8 [ml]
Volumen final	20.9 [ml]	21.1 [ml]

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Para determinar el valor del peso específico del cemento se emplea la siguiente formula.

$$\text{peso específico} = \frac{\text{peso muestra}}{\text{volumen final} - \text{volumen inicial}}$$

A continuación se muestra los resultados obtenidos del peso específico del cemento.

Tabla 22: Resultados de peso específico del cemento.

Muestra N°	Peso específico
1	2.97
2	2.96
promedio	2.965

Fuente: Elaboración propia, 2022.

El peso específico promedio de ambas muestras de cemento es de 2.965 [g/cm³].

4.2 Resultado de los ensayos principales

4.2.1 Calculo de la Resistencia a Flexión de las baldosas.

A continuación se presenta los resultados de cada repetición de la resistencia a flexión de las baldosas ensayadas a 28 y 56 días.

Tabla 23: Resistencia a flexión de las baldosas.

		RESISTENCIA A FLEXION [MPa]						
		SF	8 - 1C - U	8 - 2C - U	8 - 1C - N/U	8 - 2C - N/U	16 - 1C - U	16 - 2C - U
EDAD	28 DIAS	3.39	3.27	3.33	3.31	3.52	3.07	3.48
		3.44	3.53	3.35	3.49	3.49	3.43	3.53
		3.20	3.45	3.33	3.15	3.54	3.43	3.50
	56 DIAS	3.66	3.68	3.66	3.66	3.70	3.90	3.70
		3.58	3.32	3.47	3.62	4.15	3.60	3.66
		4.21	3.33	3.62	3.86	3.56	3.64	3.78

Fuente: Elaboración propia, 2022.

4.2.2 Calculo de la Resistencia a Flexión remanente de las baldosas.

Para determinar la resistencia a flexión remanente de las baldosas ensayadas a 28 y 56 días, se realiza el mismo análisis que se aplicó para la determinación de la resistencia a flexión.

A continuación se presenta la resistencia a flexión remanente de las baldosas de cada repetición.

Tabla 24: Resistencia a flexión remanente de las baldosas.

		RESISTENCIA A FLEXION REMANENTE [MPa]						
		SF	8 - 1C - U	8 - 2C - U	8 - 1C - N/U	8 - 2C - N/U	16 - 1C - U	16 - 2C - U
EDAD	28 DIAS	0.00	0.1838	0.3544	0.1969	0.2756	0.2625	0.8269
		0.00	0.1969	0.2756	0.2625	0.2888	0.4594	0.8400
		0.00	0.2494	0.3413	0.1969	0.3544	0.4594	0.8138
	56 DIAS	0.00	0.2231	0.4725	0.2100	0.3150	0.5119	0.8531
		0.00	0.2363	0.4463	0.2231	0.3150	0.2756	0.8269
		0.00	0.1838	0.4988	0.1706	0.2756	0.3413	0.8794

Fuente: Elaboración propia, 2022.

4.3 Análisis de Varianza (ANOVA).

El análisis de varianza ANOVA que se aplicara en la investigación corresponde al tipo bidireccional debido a la existencia de dos variables independientes: la edad de ensayo y el tipo de refuerzo; mediante este método estadístico se pretende determinar el efecto de las variables independientes sobre la variable dependiente, en un primer caso la resistencia a flexión y en un segundo planteamiento la resistencia a flexión remanente, así como el efecto entre ambas variables independientes, bajo las siguientes hipótesis.

Primer par de hipótesis planteado.

- H0: No existen diferencias en la media poblacional debido al primer factor.
- H1: Existen diferencias en la media poblacional debido al primer factor.

Segundo par de hipótesis planteado.

- H0: No existen diferencias en la media poblacional debido al segundo factor.
- H1: Existen diferencias en la media poblacional debido al segundo factor.

Tercer par de hipótesis planteado.

- H0: no hay efectos de interacción entre el primer y segundo factor.
- H1: Existe efectos de interacción entre el primer y segundo factor.

4.3.1 Resistencia a flexión de las baldosas.

Para el análisis estadístico se tiene las siguientes características de las variables independientes:

variable A = Edad de ensayo

variable B = tipo de refuerzo

El valor F de Fisher se obtiene para un nivel de confianza deseado, mediante tablas donde los grados de libertad del numerador están determinado por los grados de libertad de cada fuente de variación y los grados de libertad del denominador corresponde a los grados de libertad del error.

A continuación presentamos la tabla con los valores obtenidos para el Análisis de Varianza Bidireccional que se aplica a los valores de la resistencia a flexión.

Tabla 25: Análisis de Varianza Bidireccional – Resistencia a flexión.

Fuente de variación	grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Razón F_c	Fisher (F_t)	
					alfa = 0.01	alfa = 0.05
Repetición	2	0.005	0.002	0.072	5.534	3.376
Efectos principales						
A (Edad ens.)	1	0.895	0.895	28.079	7.728	4.226
B (tipo de ref.)	6	0.245	0.041	1.280	3.598	2.476
Interacción AB	6	0.206	0.034	1.077	3.598	2.476
Error	26	0.828	0.032			
Total	41	2.178				

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Se realiza la comparación entre los valores de la razón F calculados y los valores de F obtenidos de la tabla de Fisher de cada fuente de variación, para determinar si las hipótesis planteadas se aceptan.

Como se observa, el valor de la razón F calculada del factor A es mayor que el valor F de la tabla de Fisher para un nivel de confianza del 99% y 95%, por lo tanto la hipótesis

alterna del primer par de hipótesis planteadas se acepta, es decir la edad de ensayo es un factor determinante en el valor de la resistencia a flexión de las baldosas.

La hipótesis nula del segundo y tercer par de hipótesis planteadas se acepta, es decir el tipo de refuerzo y la relación entre la edad de ensayo y el tipo de refuerzo no influyen en el valor de la resistencia a flexión, debido a que el valor F tabulado de Fisher es mayor que el valor de F calculado.

4.3.2 Resistencia a flexión Remanente de las baldosas.

Para el análisis estadístico se tiene las siguientes características de las variables independientes:

variable A = Edad de ensayo

variable B = tipo de refuerzo

A continuación presentamos la tabla con los valores obtenidos para el Análisis de Varianza Bidireccional empleando el mismo análisis de la resistencia a flexión remanente.

Tabla 26: Análisis de Varianza Bidireccional – Resistencia a flexión remanente.

Fuente de variación	grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Razón F_c	Fisher (F_t)	
					alfa = 0.01	alfa = 0.05
Repetición	2	0.001	0.00026	0.090	5.534	3.376
Efectos principales						
A (Edad ens.)	1	0.004	0.004	1.464	7.728	4.226
B (tipo de ref.)	6	2.432	0.405	141.308	3.598	2.476
Interacción AB	6	0.031	0.005	1.801	3.598	2.476
Error	26	0.075	0.003			
Total	41	2.543				

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Se realiza la comparación entre los valores de la razón F calculados y los valores de F obtenidos de la tabla de Fisher de cada fuente de variación, para determinar si las hipótesis planteadas se aceptan.

Como se observa, el valor de la razón F calculada del factor B es mayor que el valor F de la tabla de Fisher para un nivel de confianza del 99% y 95%, por lo tanto la hipótesis alterna del segundo par de hipótesis planteadas se acepta, es decir el tipo de refuerzo es un factor determinante en el valor de la resistencia a flexión remanente de las baldosas.

La hipótesis nula del primer y tercer par de hipótesis planteadas se acepta, es decir la edad de ensayo y la relación entre la edad de ensayo y el tipo de refuerzo no influyen en el valor de la resistencia a flexión remanente, debido a que el valor F tabulado de Fisher es mayor que el valor de F calculado.

4.4 Comparación de resultados (Prueba de Duncan).

4.4.1 Resistencia a flexión.

Debido a que el factor A perteneciente a la edad de ensayo influye en el valor de la resistencia a flexión de las baldosas, se observa que las baldosas ensayadas a 56 días presentan los valores más elevados, asimismo se observa que el tipo de refuerzo no influye en la resistencia a flexión, es decir si se incluye o no los cordones de plástico en la baldosa, la misma no presenta una diferencia en su resistencia a flexión.

A continuación se presentan los valores correspondientes al promedio de las repeticiones de la resistencia a flexión de cada tipo de refuerzo ensayado a una determinada edad.

Tabla 27: promedio de las repeticiones de la resistencia a flexión.

	PROMEDIO DE LOS VALORES						
	SF	8 - 1C - U	8 - 2C - U	8 - 1C - N/U	8 - 2C - N/U	16 - 1C - U	16 - 2C - U
28 DIAS	3.343	3.417	3.338	3.316	3.518	3.308	3.504
56 DIAS	3.819	3.443	3.583	3.714	3.802	3.710	3.714

Fuente: Elaboración propia, 2022.

4.4.2 Resistencia a flexión remanente

Debido a que el factor B perteneciente al tipo de refuerzo influye en el valor de la resistencia a flexión remanente de las baldosas, se aplica el método de Duncan con el objetivo de determinar cuál tipo de refuerzo se considera que influye de mejor manera en la resistencia a flexión remanente de las baldosas.

Para realizar la prueba de Duncan se debe analizar los valores correspondientes al promedio de las repeticiones de la resistencia a flexión remanente de cada tipo de refuerzo ensayado a una determinada edad.

Tabla 28: promedio de las repeticiones de la resistencia a flexión remanente.

	PROMEDIO DE LOS VALORES						
	SF	8 - 1C - U	8 - 2C - U	8 - 1C - N/U	8 - 2C - N/U	16 - 1C - U	16 - 2C - U
28 DIAS	0.000	0.210	0.324	0.219	0.306	0.394	0.827
56 DIAS	0.000	0.214	0.473	0.201	0.302	0.376	0.853

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Los valores medios de las repeticiones de la resistencia a flexión remanente mostrados en la tabla anterior deben ser ordenados de modo descendiente.

Tabla 29: Promedio de las repeticiones de modo descendiente.

TIPO DE RFUERZO	NOMENCLATURA	VALOR
16 - 2C – U (56 DIAS)	\hat{Y}_{27}	0.853
16 - 2C – U (28 DIAS)	\hat{Y}_{17}	0.827
8 - 2C – U (56 DIAS)	\hat{Y}_{23}	0.473
16 - 1C – U (28 DIAS)	\hat{Y}_{16}	0.394
16 - 1C – U (56 DIAS)	\hat{Y}_{26}	0.376
8 - 2C - U (28 DIAS)	\hat{Y}_{13}	0.324
8 - 2C - N/U (28 DIAS)	\hat{Y}_{15}	0.306
8 - 2C - N/U (56 DIAS)	\hat{Y}_{25}	0.302
8 - 1C - N/U (28 DIAS)	\hat{Y}_{14}	0.219
8 - 1C - U (56 DIAS)	\hat{Y}_{22}	0.214
8 - 1C - U (28 DIAS)	\hat{Y}_{12}	0.210
8 - 1C - N/U (56 DIAS)	\hat{Y}_{24}	0.201
SF (56 DIAS)	\hat{Y}_{21}	0.000
SF (28 DIAS)	\hat{Y}_{11}	0.000

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Se debe determinar el valor del intervalo mínimo significativo “Rp, donde el valor de r_P se obtendrá de las tablas de Duncan a un nivel de confianza del 95%, este valor depende de los grados de libertad del error igual a 26, calculado mediante el Análisis de Varianza Bidireccional, y la cantidad de datos “p” que se comparan, en este caso igual a 14.

Una vez determinados los valores del intervalo mínimo significativo para un nivel de confiabilidad, deben ser comparados con la diferencia entre dos valores medios, si una diferencia observada es mayor que el intervalo mínimo significativo, se concluye que la pareja de medias comparadas son significativamente diferentes.

En la siguiente tabla realizamos la comparación entre el intervalo mínimo significativo “Rp” obtenido para un nivel de confiabilidad del 95% y la diferencia entre los valores

promedio de las repeticiones de la resistencia a flexión remanente de cada tipo de refuerzo ensayado a una determinada edad, ordenado de manera descendiente.

Tabla 30: Método de Duncan – Resistencia a flexión remanente.

		\hat{Y}_{17}	\hat{Y}_{23}	\hat{Y}_{16}	\hat{Y}_{26}	\hat{Y}_{13}	\hat{Y}_{15}	\hat{Y}_{25}	\hat{Y}_{14}	\hat{Y}_{22}	\hat{Y}_{12}	\hat{Y}_{24}	\hat{Y}_{21}	\hat{Y}_{11}	
		0.827	0.473	0.394	0.376	0.324	0.306	0.302	0.219	0.214	0.210	0.201	0.000	0.000	R_p
\hat{Y}_{27}	0.853	0.026	0.381	0.459	0.477	0.529	0.547	0.551	0.634	0.639	0.643	0.652	0.853	0.853	0.090
\hat{Y}_{17}	0.827		0.354	0.433	0.451	0.503	0.521	0.525	0.608	0.613	0.617	0.626	0.827	0.827	0.094
\hat{Y}_{23}	0.473			0.079	0.096	0.149	0.166	0.171	0.254	0.258	0.263	0.271	0.473	0.473	0.097
\hat{Y}_{16}	0.394				0.018	0.070	0.088	0.092	0.175	0.179	0.184	0.193	0.394	0.394	0.099
\hat{Y}_{26}	0.376					0.053	0.070	0.074	0.158	0.162	0.166	0.175	0.376	0.376	0.101
\hat{Y}_{13}	0.324						0.018	0.022	0.105	0.109	0.114	0.123	0.324	0.324	0.102
\hat{Y}_{15}	0.306							0.004	0.088	0.092	0.096	0.105	0.306	0.306	0.103
\hat{Y}_{25}	0.302								0.083	0.088	0.092	0.101	0.302	0.302	0.104
\hat{Y}_{22}	0.219									0.004	0.009	0.018	0.219	0.219	0.105
\hat{Y}_{12}	0.214										0.004	0.013	0.214	0.214	0.105
\hat{Y}_{14}	0.210											0.009	0.210	0.210	0.106
\hat{Y}_{24}	0.201												0.201	0.201	0.106
\hat{Y}_{21}	0.000													0.000	0.106

Fuente: Elaboración propia, 2022.

En la tabla anterior mediante el método de Duncan, se observa la comparación entre la diferencia de dos valores medios de la resistencia a flexión remanente de las baldosas y el intervalo mínimo significativo, y se determina que la edad de ensayo de las baldosas no es un factor determinante en la resistencia a flexión remanente; asimismo las baldosas con 16 cordones en cada dirección y en dos capas, es decir un total de 64 cordones de plástico por baldosa, presentan la mejor resistencia a flexión remanente, posteriormente con el segundo valor más alto de resistencia a flexión remanente se encuentran las baldosas con un total de 32 cordones, siendo la distribución de los cordones de plástico un factor no determinante, y por último las baldosas con un total de 16 cordones presentan la resistencia a flexión remanente más baja.



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

CAPITULO V

5. Conclusiones y recomendaciones.

5.1 Comparación de resultados.

El mortero que se elabora para la investigación está conformado por agregado fino proveniente de Uma Palca, este material antes de ser empleado para la fabricación de las baldosas, deber cumplir con los requisitos que menciona la norma ASTM; mediante ensayos realizados en el laboratorio del Instituto de Materiales, se determinaron los siguientes valores.

Tabla 31: Resultados de los ensayos en el agregado fino.

Ensayo	Valor
Granulometría	Curva granulométrica bien distribuida
Peso específico	2.57
Absorción	1.48%
Peso unitario suelto	1536.97
Peso unitario compactado	1739.47
Equivalente arena	84.9 %

Fuente: Elaboración propia, 2022.

En el ensayo de granulometría del agregado fino se evidencia que la curva granulométrica se encuentra dentro de los límites que establece la norma ASTM C33, es decir que presenta una buena distribución de tamaños de sus partículas, lo que permitirá una buena adherencia con el cemento.

El valor del peso específico del agregado fino es de 2.57, el ensayo se realizó con las especificaciones de la norma ASTM C128, este valor nos permite determinar la cantidad del agregado necesario para un volumen unitario de la mezcla; bajo la misma norma también se obtuvo el porcentaje de absorción igual a 1.48%, que nos permitirá determinar la cantidad de agua absorbida en los poros de las partículas del agregado fino y de este modo corregir la cantidad empleada de agua en la fabricación de la baldosas.

La norma ASTM C29 especifica el ensayo del Peso Unitario del agregado fino, obteniéndose un valor igual a 1536.97 [kg/m³], este valor nos permite hallar la cantidad en volumen que se necesita del agregado fino para la elaboración de las baldosas.

El valor de equivalente arena obtenido bajo las especificaciones de la norma ASTM D 2419 es igual a 85.42 %, indicándonos una estimación de la cantidad de material fino presente en el agregado, mientras más alto sea este valor, el agregado presenta mayor calidad para su uso.

Los ensayos realizados para determinar la calidad del agregado fino en la elaboración de las baldosas nos indican que es apto para su uso, por lo que el agregado fino de Uma Palca fue el material empleado en la fabricación de las baldosas.

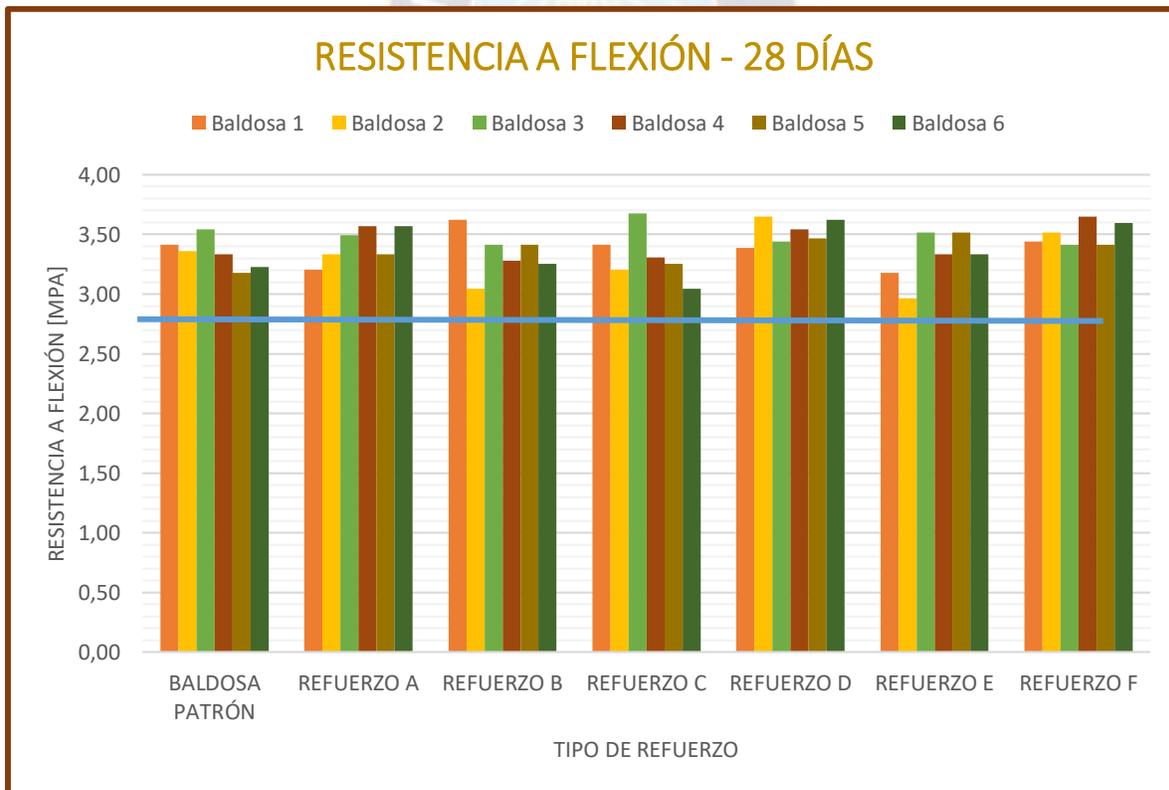
Posteriormente se realizó el ensayo de peso específico del cemento Ecebol, obteniéndose un valor a igual a 2.965 [g/cm³], lo que nos indica que el cemento empleado en la investigación no presenta gran cantidad de adición.

Para realizar la investigación se elaboró 12 baldosas por cada tipo de refuerzo, 6 baldosas fueron ensayadas a 28 días de edad y las otras 6 a 56 días de edad, como la

cantidad de tipos de refuerzo son 7 más la baldosa sin cordones de plástico, en total se fabricaron 84 baldosas de mortero que fueron ensayadas para determinar la resistencia a flexión y la resistencia a flexión remanente.

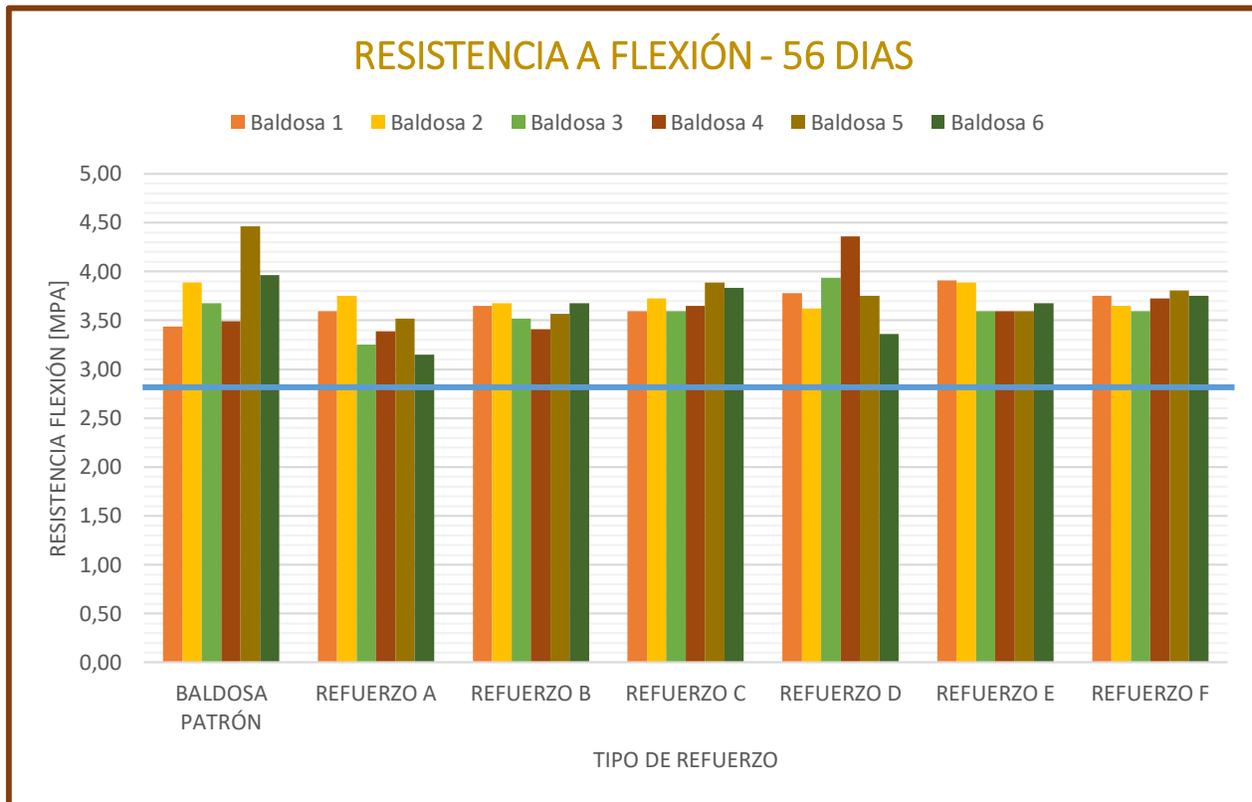
Estos valores de resistencia a flexión de 28 días y 56 días de edad de ensayo, deben ser comparados con los valores especificados en la Norma Española UNE – EN 13748-2, en los gráficos siguientes se presenta la comparación, señalando con una línea azul el valor especificado en la norma.

Gráfico 5: Repeticiones de la Resistencia a Flexión – edad de ensayo 28 días.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Gráfico 6: Repeticiones de la Resistencia a Flexión – edad de ensayo 56 días.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

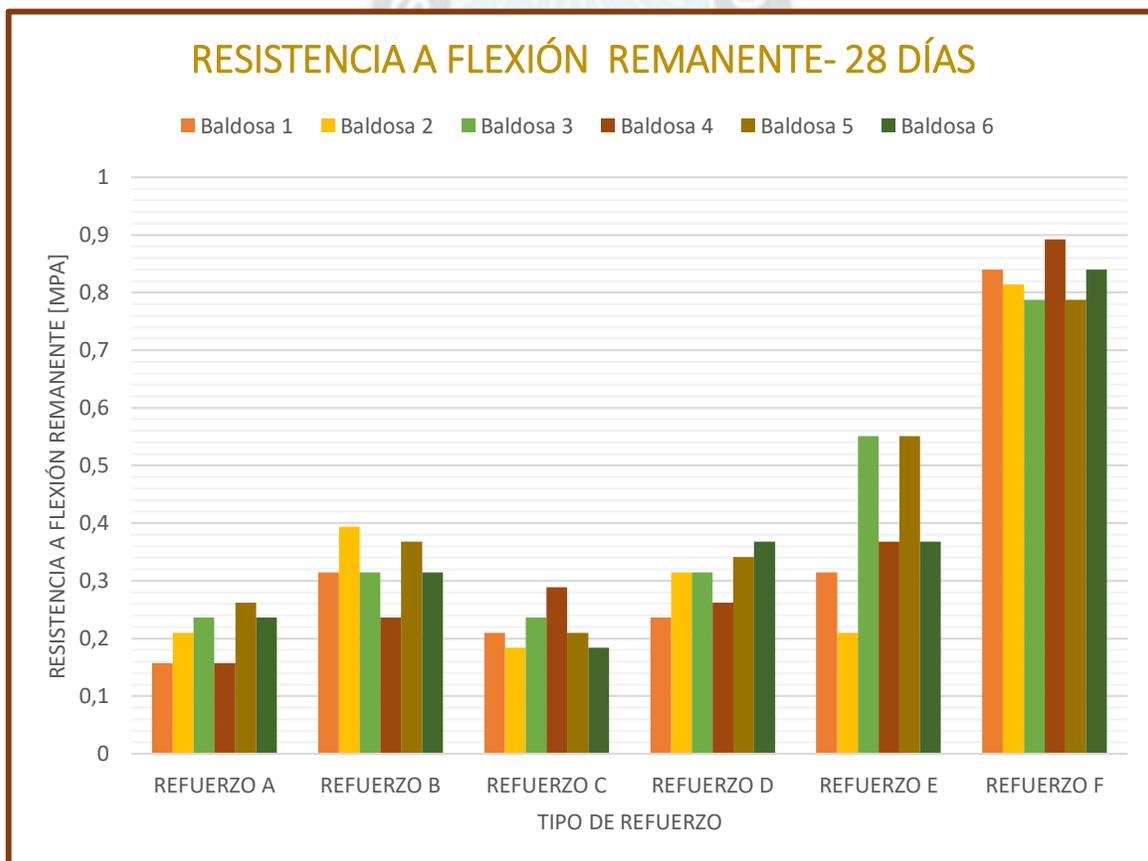
En los gráficos de la resistencia a flexión de las baldosas ensayadas a 28 días y 56 días respectivamente, se observa que el valor mínimo establecido en la norma española UNE – EN 13748-2 para la resistencia a flexión de baldosas es de 2.8 [MPa], este valor comparado con los valores de las repeticiones de cada refuerzo, indican que las resistencia a flexión de las baldosas obtenidas en el laboratorio del Instituto de Materiales, cumplen con lo establecido en la norma UNE – EN 13748-2.

Así también en los gráficos anteriores se observa que la resistencia a flexión si comparamos entre cada tipo de refuerzo presenta una semejanza numérica, lo que nos indica que la presencia de los cordones de plástico, sin importar la cantidad o disposición

no influyen en la resistencia a flexión de las baldosas, por lo que no es perjudicial la incorporación de los cordones de plástico en la fabricación de las baldosas.

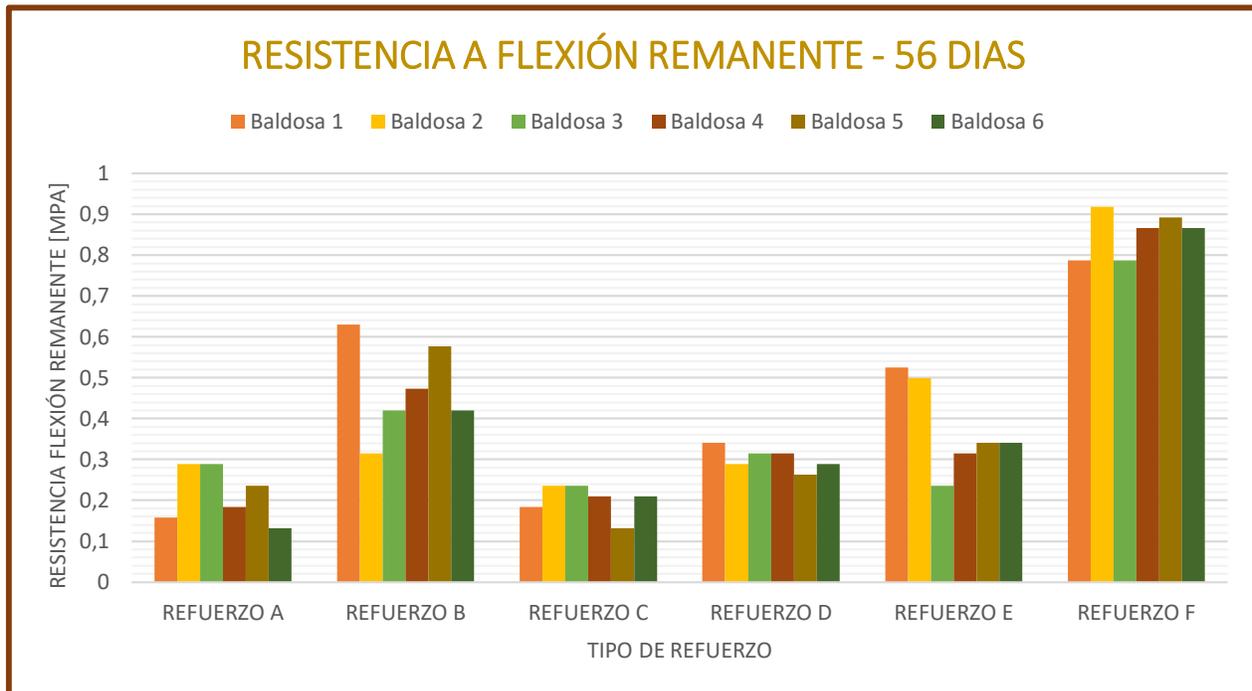
En el ensayo de resistencia a flexión, también se determinó la resistencia a flexión remanente de las baldosas, este valor representa la capacidad de los cordones de plástico de soportar cargas después de la rotura de las baldosas, a continuación se muestra los valores obtenidos de la resistencia a flexión remanente para ambas edades de ensayo.

Gráfico 7: Repeticiones de la Resistencia a Flexión Remanente – edad de ensayo 28 días.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Gráfico 8: Repeticiones de la Resistencia a Flexión Remanente – edad de ensayo 56 días.

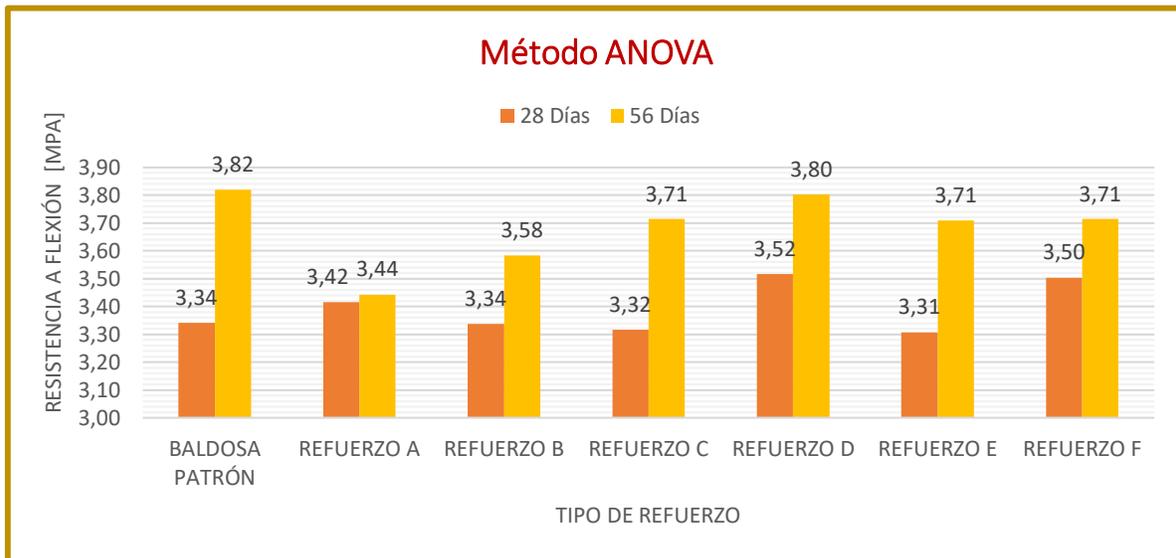


Fuente: Elaboración propia, 2022.

Como se observa en ambos gráficos el valor de la resistencia a flexión remanente de las baldosas ensayadas presenta semejanzas entre baldosas ensayadas a una misma edad y pertenecientes a un mismo tipo de refuerzo, asimismo se observa diferencias entre baldosas con diferentes tipos de refuerzo que fueron analizadas mediante el método Anova.

El método de análisis de varianza bidireccional, empleado en la investigación, establece dos factores independientes que debieron ser analizados para saber si son determinantes en el valor de la resistencia a flexión de las baldosas, el factor A está definido por la edad de ensayo, y el factor B por el tipo de refuerzo. A continuación se muestra la relación que existe entre las 3 variables.

Gráfico 9: Método ANOVA – Resistencia a flexión.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Como se observa en el gráfico, el factor A, es decir la edad de ensayo que puede ser de 28 días o 56 días, es un factor determinante, debido a que la resistencia a flexión de las baldosas de un mismo tipo de refuerzo ensayadas a las dos edades presentan diferencias, siendo las baldosas ensayadas a 56 días, las que presentan una resistencia a flexión mayor.

Analizando el factor B, que se define por el tipo de refuerzo, vemos que el mismo no es un factor determinante en el valor de la resistencia a flexión de las baldosas, por lo que la presencia de los cordones de plástico no influye en el valor de la resistencia a flexión.

Así mismo se analizó si existe interacción entre el tipo de refuerzo y la edad de ensayo, verificándose que la edad de ensayo no interactúa con el tipo de refuerzo.

El método de análisis de varianza bidireccional, también se ha empleado en el análisis de la resistencia a flexión remanente con el fin de comprobar si son determinantes en el

mismo, el factor A esta definido por la edad de ensayo, y el factor B por el tipo de refuerzo. Como se muestra a continuación.

Gráfico 10: Método ANOVA – Resistencia a flexión remanente.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Como se observa en el gráfico, el factor A, es decir la edad de ensayo que puede ser de 28 días o 56 días, no es un factor determinante, debido a que la resistencia a flexión remanente de las baldosas de un mismo tipo de refuerzo no presentan diferencias significativas.

Analizando el factor B, que se define por el tipo de refuerzo, vemos que el mismo influye en el valor de la resistencia a flexión remanente de las baldosas, por lo que se empleó el método de Duncan para definir el mejor tipo de refuerzo que se puede aplicar a las baldosas de mortero.

Mediante la prueba de Duncan se observa que la baldosa correspondiente al refuerzo F, es decir 16 cordones en cada dirección y con dos capas presenta la resistencia a flexión remanente más elevada.

Así mismo se analizó si existe interacción entre el tipo de refuerzo y la edad de ensayo, verificándose que ambos factores no presentan ningún tipo de interacción.

5.2 Conclusiones.

La dosificación empleada en laboratorio corresponde a una relación en peso de 1 de cemento, 1.03 de agua y 6 de arena; estas relaciones de los materiales se han determinado en base a estudios anteriores realizados en el laboratorio del Instituto de Materiales. Cabe resaltar que la dosificación no fue objeto de estudio; sin embargo, los resultados de la resistencia a flexión remanente y el comportamiento de las fibras, se pueden extrapolar para cualquier tipo de dosificación.

En el análisis de los resultados obtenidos mediante el ensayo de resistencia a flexión de las baldosas ensayadas a 28 días y 56 días respectivamente, se observa que el valor mínimo obtenido es de 2.97 [MPa] y el valor mínimo establecido en la norma española es de 2.8 [MPa], por lo tanto se verifica que las baldosas elaboradas en el laboratorio del Instituto de Materiales, cumplen con lo establecido en la norma UNE – EN 13748-2.

Así también se determinó que la resistencia a flexión de las baldosas perteneciente a cada tipo de refuerzo presenta una semejanza numérica, es decir que la presencia de los cordones de plástico, sin importar la cantidad, disposición o edad de ensayo, no influyen en la resistencia a flexión de las baldosas, por lo que no es contraproducente la incorporación de los cordones de plástico en la fabricación de las baldosas.

Mediante el método de análisis de varianza bidireccional se observa que la resistencia a flexión remanente de las baldosas presenta semejanzas entre baldosas ensayadas a una

misma edad y pertenecientes a un mismo tipo de refuerzo, así también la edad de ensayo que puede ser de 28 días o 56 días, no es un factor determinante, debido a que la resistencia a flexión remanente de las baldosas de un mismo tipo de refuerzo no presentan diferencias significativas, sin embargo se determinó que el tipo de refuerzo empleado en la fabricación de las baldosas influye en la resistencia a flexión remanente.

Del análisis mediante el método de Duncan se determina que el refuerzo F correspondiente a 16 cordones en cada dirección y con dos capas, es decir con un total de 64 cordones presenta la resistencia a flexión remanente más alta, posteriormente las baldosas con refuerzos B, D y E, que presentan un total de 32 cordones, presentan el segundo valor de resistencia a flexión más elevado, es decir la disposición de los cordones no es un factor determinante, y por último las baldosas con refuerzo tipo A y C, que presentan un total de 16 cordones tienen la resistencia a flexión remanente más baja.

Podemos determinar que la disposición de los cordones, ya sea en dos capas o dispuestos en los extremos de la baldosa, no influye en la resistencia a flexión remanente, y si analizamos la cantidad de cordones éste si es un factor determinante considerando que a mayor cantidad de los mismos se presenta una resistencia a flexión remanente más elevada, sin embargo se observa que, una cantidad de cordones más elevada que la analizada en la investigación, genera dificultades en la elaboración de las baldosas, aumentando el tiempo de producción y el cuidado que se debe tener para que los cordones no sean visibles en la superficie de la baldosa.

5.3 Recomendaciones.

Se observa que en el ámbito comercial existe a disposición baldosas de mortero y de hormigón, ambas presentan características que determinan el área de su aplicación; para la implementación de los cordones de plástico como refuerzo en las baldosas, se recomienda utilizar mortero, debido a que facilita la ubicación de los cordones de plástico dentro de las baldosas, en el caso de que se utilice hormigón, se debe tener cuidado con la grava presente, ya que los cordones tendrían menor espacio para ser ubicados dentro de las baldosas y por lo tanto la cantidad de cordones de plástico a utilizar será menor.

La fabricación de las baldosas con diferentes tipos de refuerzo, deben ser elaboradas suministrando el tiempo necesario para el proceso de vibrado, un tiempo prolongado genera la exposición de los cordones de plástico en la superficie de la baldosa, este fenómeno tiende a presentarse con mayor facilidad en las baldosas que disponen más cordones de plástico, es decir las que presentan 16 cordones a cada lado y dos capas, haciendo un total de 64 cordones de plásticos presente en la baldosa.

En el ensayo de resistencia a flexión de las baldosas se obtiene también la resistencia a flexión remanente, este valor es proporcional a la cantidad de cordones, es decir, mientras más cordones se empleen como refuerzo de las baldosas, mayores ventajas mecánicas presenta la misma, sin embargo si se emplea una cantidad mayor de cordones que la utilizada en la investigación, implicaría que la fabricación de las baldosas no sea factible, debido al incremento de tiempo empleado en el colocado de los cordones de plástico y el creciente cuidado en el proceso de vibrado para que no queden expuestos en la superficie de la baldosa.

CAPITULO VI

BIBIOGRAFIA

CAPITULO VI

Bibliografía

Asociación Nacional de Fabricantes de Mortero - AFAM (2018). “Características de los Morteros”

Disponible en:

https://www.construmatica.com/construpedia/index.php?title=Caracter%C3%ADsticas_de_los_Morteros&mobileaction=toggle_view_desktop

Beeva, D.A., Borisov, V.A., Mikitaev, A.K., Ligidov, M.K., Beev, A.A. and Barokova, E.B. (2015) “Controlling the barrier properties of polyethylene terephthalate. A review”, *International Polymer Science and Technology*, 42(7), T45-52.

Bolivia emprende (2013) “20 toneladas de plásticos PET, Se reciclan para producir botellas y cintas de embalaje”

Disponible en: <https://boliviaemprende.com/noticias/20-toneladas-de-plasticos-pet-se-reciclan-para-produccion-de-botellas-cintas-de-embalaje#:~:text=Proceso%20de%20producci%C3%B3n,de%20otros%2060%20acopiadores%20independientes.>

Instituto Tecnológico de Lleida – ITL (2009) “Consistencia del Hormigón. Método del Cono de Abrams. Hormigón Fresco”

Disponible en: https://www.construmatica.com/construpedia/AP-019.Consistencia_del_Hormig%C3%B3n.M%C3%A9todo_del_Cono_de_Abrams._Hormig%C3%B3n_Fresco

Medina Valdéz Julia (2016) “Resistencia a la Flexión”, Instituto de Promoción Cerámica

Disponible en: <https://docplayer.es/12005839-Resistencia-a-la-flexion.html>

Niasa (2018) “Qué es un mortero y cómo funciona”

Disponible en: <https://niasa.com.mx/que-es-un-mortero/>

NORMA Boliviana. (1991). NB 589 “Hormigón fresco – Determinación de la consistencia por el método del cono de Abrahams”.

Norma Española. (2021). UNE EN-7540 “Mecánica de la fractura”

Norma Española. (2005). UNE EN 13748-2 “Baldosas de Terrazo”

Norma Técnica Colombiana. (1976). NTC 1085, “Baldosas de cemento”

Rieckmann, T. and Volker, S. (2003) “Poly (ethylene terephthalate) polymerization - Mechanism, catalysis, kinetics, mass transfer and reactor design” in Sons, J. W., ed., *Modern polyesters: Chemistry and technology of polyesters and copolyesters*, 2nd ed., 31–115.

Ucha, Florencia (2013), “Cemento, Definición ABC”

Disponible en: URL: <https://www.definicionabc.com/general/cemento.php>

Zavala, Guillermo. (2015), “Diseño y desarrollo experimental de materiales de construcción utilizando plástico reciclado.” Santa Tecla: Escuela Especializada en Ingeniería ITCAFPADE.

Disponible en:

<http://www.redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/2442/1/04%20Civil%20PI%20C3%20A1stic%20reciclado.pdf>

YURA IP (2018) “Agregados para la elaboración de concreto”

Disponible: <https://www.yura.com.pe/blog/agregados-para-la-elaboracion-de-concreto/>

CAPITULO VII

ANEXOS

ANÁLISIS DE COSTOS

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO- BALDOSA

Actividad: PROVISION BALDOSA PREFABRICADA (0,4 X0,4X 0,05 m)

Unitario: PZA

Moneda: Bolivianos

	Descripcion	Und.	Cantidad	Precio	Costo Total
1,-	MATERIALES				
	Cemento	KG	2,5	1,2	3,00
	Arena	KG	15	0,03	0,45
	Agua	KG	2,575	0,06	0,15
	Aceite sucio	lt	0,01	0,05	0,00
	TOTAL MATERIALES				3,61
2,-	MANO DE OBRA				
	Ayudante	HR	0,083	12,5	1,04
	Albañil	HR	0,083	18,75	1,56
	PARCIAL MANO DE OBRA				2,59
	Cargas sociales			55%	1,43
	I.V.A. DE M.O.			14,94%	0,39
	TOTAL MANO DE OBRA				4,41
3,-	EQUIPO Y MAQUINARIA				
	Mesa Vibradora	HRM	0,025	25	0,63
	Herramientas-% de la mano de obra			5%	0,03
	TOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA				0,66
4,-	GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
	Gastos generales -% de 1+2+3			10%	0,87
5,-	UTILIDAD				
	Utilidad -% de 1+2+3+4			7%	0,61
	TOTAL PRECIO UNITARIO				10,14

ANEXOS

PLANILLAS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN

DATOS GENERALES	
Fecha de Variado:	30/06/2021
Hora:	10:00 AM
Lugar:	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES
Laboratoriasta:	Abigail Fernandez Huaricallo & Sayco Vilela Lopez

DOSIFICACION DEL MORTERO		
Cantidad de los Materiales	CALCULADA	REAL
Cemento	10,7	11,208
Arena	67	66,995
Agua	10,3	11,745

RELACION ENTRE LOS MATERIALES	
Agua/Cemento	1,03:1
Arena/Cemento	6:1
Asentamiento	3

TIPO DE REFUERZO		
	REFUERZO	TIPO DE LOSETA
Baldosa 1 y 2	C	8 - 1C - N/U
Baldosa 3 y 4		

RESISTENCIA A FLEXIÓN				
Nº	Carga de Rotura	Carga Remanente	Fecha de Rotura	Edad
Baldosa 1	6,9	0,25	25/08/2021	56
Baldosa 2	6,45	0,30	25/08/2021	56
Baldosa 3				
Baldosa 4				

DATOS GENERALES	
Fecha de Vasiado:	01/07/2021
Hora:	10:00 AM
Lugar:	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES
Laboratoriasta:	Abigail Fernandez Huaricallo & Sayco Vilela Lopez

DOSIFICACION DEL MORTERO		
Cantidad de los Materiales	CALCULADA	REAL
Cemento	10,6	11,01
Arena	66	66,011
Agua	10,3	10,8489

RELACION ENTRE LOS MATERIALES	
Agua/Cemento	1,03:1
Arena/Cemento	6:1
Asentamiento	3

TIPO DE REFUERZO		
	REFUERZO	TIPO DE LOSETA
Baldosa 1 y 2	B	8 - 2C - U
Baldosa 3 y 4		

RESISTENCIA A FLEXIÓN				
Nº	Carga de Rotura	Carga Remanente	Fecha de Rotura	Edad
Baldosa 1	6,95	1,2	26/08/2021	56
Baldosa 2	7	0,6	26/08/2021	56
Baldosa 3				
Baldosa 4				

DATOS GENERALES	
Fecha de Vasiado:	06/07/2021
Hora:	10:00 AM
Lugar:	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES
Laboratoriasta:	Abigail Fernandez Huaricallo & Sayco Vilela Lopez

DOSIFICACION DEL MORTERO		
Cantidad de los Materiales	CALCULADA	REAL
Cemento	10,5	10,661
Arena	64	63,96
Agua	10,3	10,2914

RELACION ENTRE LOS MATERIALES	
Agua/Cemento	1,03:1
Arena/Cemento	6:1
Asentamiento	2,7

TIPO DE REFUERZO		
	REFUERZO	TIPO DE LOSETA
Baldosa 1 y 2	PROBETA PATRON	PROBETA PATRON
Baldosa 3 y 4	E	16 – 1C – U

RESISTENCIA A FLEXIÓN				
Nº	Carga de Rotura	Carga Remanente	Fecha de Rotura	Edad
Baldosa 1	6,55	NO EXISTE	31/08/2021	56
Baldosa 2	7,4	NO EXISTE	31/08/2021	56
Baldosa 3	7,45	1	31/08/2021	56
Baldosa 4	7,4	0,95	31/08/2021	56

DATOS GENERALES	
Fecha de Vasiado:	07/07/2021
Hora:	10:00 AM
Lugar:	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES
Laboratoriasta:	Abigail Fernandez Huaricallo & Sayco Vilela Lopez

DOSIFICACION DEL MORTERO		
Cantidad de los Materiales	CALCULADA	REAL
Cemento	10,4	10,707
Arena	64	64,002
Agua	10,3	10,3002

RELACION ENTRE LOS MATERIALES	
Agua/Cemento	1,03:1
Arena/Cemento	6:1
Asentamiento	2,6

TIPO DE REFUERZO		
	REFUERZO	TIPO DE LOSETA
Baldosa 1 y 2	PROBETA PATRON	PROBETA PATRON
Baldosa 3 y 4	C	8 – 1C – N/U

RESISTENCIA A FLEXIÓN				
Nº	Carga de Rotura	Carga Remanente	Fecha de Rotura	Edad
Baldosa 1	7	NO EXISTE	01/09/2021	56
Baldosa 2	6,65	NO EXISTE	01/09/2021	56
Baldosa 3	6,3	0,15	01/09/2021	56
Baldosa 4	6,3	0,3	01/09/2021	56

DATOS GENERALES	
Fecha de Vasiado:	08/07/2021
Hora:	10:00 AM
Lugar:	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES
Laborantiasta:	Abigail Fernandez Huaricallo & Sayco Vilela Lopez

DOSIFICACION DEL MORTERO		
Cantidad de los Materiales	CALCULADA	REAL
Cemento	10,4	10,8016
Arena	64	64,19
Agua	10,3	10,4128

RELACION ENTRE LOS MATERIALES	
Agua/Cemento	1,03:1
Arena/Cemento	6:1
Asentamiento	2,8

TIPO DE REFUERZO		
	REFUERZO	TIPO DE LOSETA
Baldosa 1 y 2	PROBETA PATRON	PROBETA PATRON
Baldosa 3 y 4	A	8 – 1C – U

RESISTENCIA A FLEXIÓN				
Nº	Carga de Rotura	Carga Remanente	Fecha de Rotura	Edad
Baldosa 1	8,5	NO EXISTE	02/09/2021	56
Baldosa 2	7,55	NO EXISTE	02/09/2021	56
Baldosa 3	6,85	0,3	02/09/2021	56
Baldosa 4	7,15	0,55	02/09/2021	56

DATOS GENERALES	
Fecha de Vasiado:	12/07/2021
Hora:	10:00 AM
Lugar:	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES
Laboratoriasta:	Abigail Fernandez Huaricallo & Sayco Vilela Lopez

DOSIFICACION DEL MORTERO		
Cantidad de los Materiales	CALCULADA	REAL
Cemento	10,2	10,334
Arena	62	62,013
Agua	10,3	10,7154

RELACION ENTRE LOS MATERIALES	
Agua/Cemento	1,03:1
Arena/Cemento	6:1
Asentamiento	3

TIPO DE REFUERZO		
	REFUERZO	TIPO DE LOSETA
Baldosa 1 y 2	E	16 – 1C – U
Baldosa 3 y 4	E	16 – 1C – U

RESISTENCIA A FLEXIÓN				
Nº	Carga de Rotura	Carga Remanente	Fecha de Rotura	Edad
Baldosa 1	6,85	0,45	06/09/2021	56
Baldosa 2	6,85	0,6	06/09/2021	56
Baldosa 3	6,85	0,65	06/09/2021	56
Baldosa 4	7	0,65	06/09/2021	56

DATOS GENERALES	
Fecha de Vasiado:	14/07/2021
Hora:	10:00 AM
Lugar:	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES
Laboratoriasta:	Abigail Fernandez Huaricallo & Sayco Vilela Lopez

DOSIFICACION DEL MORTERO		
Cantidad de los Materiales	CALCULADA	REAL
Cemento	10,2	10,329
Arena	62	62,025
Agua	10	9,8201

RELACION ENTRE LOS MATERIALES	
Agua/Cemento	1,03:1
Arena/Cemento	6:1
Asentamiento	2,2

TIPO DE REFUERZO		
	REFUERZO	TIPO DE LOSETA
Baldosa 1 y 2	C	8 - 1C - N/U
Baldosa 3 y 4	D	8 - 2C - N/U

RESISTENCIA A FLEXIÓN				
Nº	Carga de Rotura	Carga Remanente	Fecha de Rotura	Edad
Baldosa 1	7,4	0,25	08/09/2021	56
Baldosa 2	7,3	0,4	08/09/2021	56
Baldosa 3	7	0,35	08/09/2021	56
Baldosa 4	7,5	0,4	08/09/2021	56

DATOS GENERALES	
Fecha de Variado:	22/07/2021
Hora:	10:00 AM
Lugar:	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES
Laboratoriasta:	Abigail Fernandez Huaricallo & Sayco Vilela Lopez

DOSIFICACION DEL MORTERO		
Cantidad de los Materiales	CALCULADA	REAL
Cemento	10,2	10,331
Arena	62	62,003
Agua	10,3	10,4022

RELACION ENTRE LOS MATERIALES	
Agua/Cemento	1,03:1
Arena/Cemento	6:1
Asentamiento	2,8

TIPO DE REFUERZO		
	REFUERZO	TIPO DE LOSETA
Baldosa 1 y 2	D	8 - 2C - N/U
Baldosa 3 y 4		

RESISTENCIA A FLEXIÓN				
Nº	Carga de Rotura	Carga Remanente	Fecha de Rotura	Edad
Baldosa 1	7,5	0,6	16/09/2021	56
Baldosa 2	8,3	0,6	16/09/2021	56
Baldosa 3				
Baldosa 4				

DATOS GENERALES	
Fecha de Variado:	28/07/2021
Hora:	10:00 AM
Lugar:	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES
Laboratorista:	Abigail Fernandez Huaricallo & Sayco Vilela Lopez

DOSIFICACION DEL MORTERO		
Cantidad de los Materiales	CALCULADA	REAL
Cemento	10	10,007
Arena	60	60,065
Agua	10,3	10,4355

RELACION ENTRE LOS MATERIALES	
Agua/Cemento	1,03:1
Arena/Cemento	6:1
Asentamiento	2,8

TIPO DE REFUERZO		
	REFUERZO	TIPO DE LOSETA
Baldosa 1 y 2	D	8 - 2C - N/U
Baldosa 3 y 4	F	16 - 2C - U

RESISTENCIA A FLEXIÓN				
Nº	Carga de Rotura	Carga Remanente	Fecha de Rotura	Edad
Baldosa 1	7,15	0,5	22/09/2021	56
Baldosa 2	6	0,55	22/09/2021	56
Baldosa 3	6,15	1,15	22/09/2021	56
Baldosa 4	6,15	1,5	22/09/2021	56

DATOS GENERALES	
Fecha de Vasiado:	03/08/2021
Hora:	10:00 AM
Lugar:	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES
Laboratoriasta:	Abigail Fernandez Huaricallo & Sayco Vilela Lopez

DOSIFICACION DEL MORTERO		
Cantidad de los Materiales	CALCULADA	REAL
Cemento	10	10,004
Arena	60	60,735
Agua	10,3	10,9266

RELACION ENTRE LOS MATERIALES	
Agua/Cemento	1,03:1
Arena/Cemento	6:1
Asentamiento	3,3

TIPO DE REFUERZO		
	REFUERZO	TIPO DE LOSETA
Baldosa 1 y 2	PROBETA PATRON	PROBETA PATRON
Baldosa 3 y 4	A	8 - 1C - U

RESISTENCIA A FLEXIÓN				
Nº	Carga de Rotura	Carga Remanente	Fecha de Rotura	Edad
Baldosa 1	6,5	NO EXISTE	31/08/2021	28
Baldosa 2	6,4	NO EXISTE	31/08/2021	28
Baldosa 3	5,65	0,1	31/08/2021	28
Baldosa 4	5,55	0,2	31/08/2021	28

DATOS GENERALES	
Fecha de Vasiado:	04/08/2021
Hora:	10:00 AM
Lugar:	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES
Laboratoriasta:	Abigail Fernandez Huaricallo & Sayco Vilela Lopez

DOSIFICACION DEL MORTERO		
Cantidad de los Materiales	CALCULADA	REAL
Cemento	10	10,001
Arena	60	60,005
Agua	10,3	10,234

RELACION ENTRE LOS MATERIALES	
Agua/Cemento	1,03:1
Arena/Cemento	6:1
Asentamiento	2,3

TIPO DE REFUERZO		
	REFUERZO	TIPO DE LOSETA
Baldosa 1 y 2	PROBETA PATRON	PROBETA PATRON
Baldosa 3 y 4	B	8 - 1C - N/U

RESISTENCIA A FLEXIÓN				
Nº	Carga de Rotura	Carga Remanente	Fecha de Rotura	Edad
Baldosa 1	6,75	NO EXISTE	01/09/2021	28
Baldosa 2	6,35	NO EXISTE	01/09/2021	28
Baldosa 3	6,65	0,3	01/09/2021	28
Baldosa 4	4,9	0,3	01/09/2021	28

DATOS GENERALES	
Fecha de Vasiado:	10/08/2021
Hora:	10:00 AM
Lugar:	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES
Laboratorista:	Abigail Fernandez Huaricallo & Sayco Vilela Lopez

DOSIFICACION DEL MORTERO		
Cantidad de los Materiales	CALCULADA	REAL
Cemento	10	10,016
Arena	60	60,013
Agua	10,3	10,152

RELACION ENTRE LOS MATERIALES	
Agua/Cemento	1,03:1
Arena/Cemento	6:1
Asentamiento	2

TIPO DE REFUERZO		
	REFUERZO	TIPO DE LOSETA
Baldosa 1 y 2	PROBETA PATRON	PROBETA PATRON
Baldosa 3 y 4	A	8 - 1C - U

RESISTENCIA A FLEXIÓN				
Nº	Carga de Rotura	Carga Remanente	Fecha de Rotura	Edad
Baldosa 1	6,05	NO EXISTE	07/09/2021	28
Baldosa 2	6,15	NO EXISTE	07/09/2021	28
Baldosa 3	6,7	0,45	05/10/2021	56
Baldosa 4	6	0,25	05/10/2021	56

DATOS GENERALES	
Fecha de Vasiado:	17/08/2021
Hora:	10:00 AM
Lugar:	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES
Laborantiasta:	Abigail Fernandez Huaricallo & Sayco Vilela Lopez

DOSIFICACION DEL MORTERO		
Cantidad de los Materiales	CALCULADA	REAL
Cemento	10	10,014
Arena	60	60,045
Agua	10,3	10,6586

RELACION ENTRE LOS MATERIALES	
Agua/Cemento	1,03:1
Arena/Cemento	6:1
Asentamiento	2,8

TIPO DE REFUERZO		
	REFUERZO	TIPO DE LOSETA
Baldosa 1 y 2	B	8 - 2C - U
Baldosa 3 y 4	E	16 - 1C - U

RESISTENCIA A FLEXIÓN				
Nº	Carga de Rotura	Carga Remanente	Fecha de Rotura	Edad
Baldosa 1	6,5	0,6	14/09/2021	28
Baldosa 2	6,25	0,45	14/09/2021	28
Baldosa 3	6,05	0,6	14/09/2021	28
Baldosa 4	5,65	0,4	14/09/2021	28

DATOS GENERALES	
Fecha de Vasiado:	18/08/2021
Hora:	10:00 AM
Lugar:	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES
Laborantiasta:	Abigail Fernandez Huaricallo & Sayco Vilela Lopez

DOSIFICACION DEL MORTERO		
Cantidad de los Materiales	CALCULADA	REAL
Cemento	10	10,022
Arena	60	60,014
Agua	10,3	10,316

RELACION ENTRE LOS MATERIALES	
Agua/Cemento	1,03:1
Arena/Cemento	6:1
Asentamiento	2,5

TIPO DE REFUERZO		
	REFUERZO	TIPO DE LOSETA
Baldosa 1 y 2	C	8 - 1C - N/U
Baldosa 3 y 4	D	8 - 2C - N/U

RESISTENCIA A FLEXIÓN				
Nº	Carga de Rotura	Carga Remanente	Fecha de Rotura	Edad
Baldosa 1	7	0,45	15/09/2021	28
Baldosa 2	6,3	0,55	15/09/2021	28
Baldosa 3	6,45	0,45	15/09/2021	28
Baldosa 4	6,95	0,6	15/09/2021	28

DATOS GENERALES	
Fecha de Variado:	19/08/2021
Hora:	10:00 AM
Lugar:	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES
Laboratoriasta:	Abigail Fernandez Huaricallo & Sayco Vilela Lopez

DOSIFICACION DEL MORTERO		
Cantidad de los Materiales	CALCULADA	REAL
Cemento	10	10,002
Arena	60	60
Agua	10,3	10,321

RELACION ENTRE LOS MATERIALES	
Agua/Cemento	1,03:1
Arena/Cemento	6:1
Asentamiento	2,6

TIPO DE REFUERZO		
	REFUERZO	TIPO DE LOSETA
Baldosa 1 y 2	B	8 - 2C - U
Baldosa 3 y 4	D	8 - 2C - N/U

RESISTENCIA A FLEXIÓN				
Nº	Carga de Rotura	Carga Remanente	Fecha de Rotura	Edad
Baldosa 1	6,9	0,6	16/09/2021	28
Baldosa 2	5,8	0,75	16/09/2021	28
Baldosa 3	6,55	0,6	16/09/2021	28
Baldosa 4	6,75	0,5	16/09/2021	28

DATOS GENERALES	
Fecha de Vasiado:	23/08/2021
Hora:	10:00 AM
Lugar:	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES
Laboratoriasta:	Abigail Fernandez Huaricallo & Sayco Vilela Lopez

DOSIFICACION DEL MORTERO		
Cantidad de los Materiales	CALCULADA	REAL
Cemento	10	10,025
Arena	60	60,007
Agua	10,3	10,302

RELACION ENTRE LOS MATERIALES	
Agua/Cemento	1,03:1
Arena/Cemento	6:1
Asentamiento	2,6

TIPO DE REFUERZO		
	REFUERZO	TIPO DE LOSETA
Baldosa 1 y 2	A	8 - 1C - U
Baldosa 3 y 4	F	16 - 2C - U

RESISTENCIA A FLEXIÓN				
Nº	Carga de Rotura	Carga Remanente	Fecha de Rotura	Edad
Baldosa 1	6,65	0,45	20/09/2021	28
Baldosa 2	6,8	0,3	20/09/2021	28
Baldosa 3	6,55	1,6	20/09/2021	28
Baldosa 4	6,7	1,55	20/09/2021	28

DATOS GENERALES	
Fecha de Variado:	24/08/2021
Hora:	10:00 AM
Lugar:	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES
Laboratoriasta:	Abigail Fernandez Huaricallo & Sayco Vilela Lopez

DOSIFICACION DEL MORTERO		
Cantidad de los Materiales	CALCULADA	REAL
Cemento	10	10,053
Arena	60	60,006
Agua	10,3	10,221

RELACION ENTRE LOS MATERIALES	
Agua/Cemento	1,03:1
Arena/Cemento	6:1
Asentamiento	2,4

TIPO DE REFUERZO		
	REFUERZO	TIPO DE LOSETA
Baldosa 1 y 2	A	8 - 1C - U
Baldosa 3 y 4	E	16 - 1C - U

RESISTENCIA A FLEXIÓN				
Nº	Carga de Rotura	Carga Remanente	Fecha de Rotura	Edad
Baldosa 1	6,35	0,5	21/09/2021	28
Baldosa 2	6,8	0,45	21/09/2021	28
Baldosa 3	6,7	1,05	21/09/2021	28
Baldosa 4	6,35	0,7	21/09/2021	28

DATOS GENERALES	
Fecha de Vasiado:	27/04/2022
Hora:	10:00 AM
Lugar:	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES
Laboratorista:	Abigail Fernandez Huaricallo & Sayco Vilela Lopez

DOSIFICACION DEL MORTERO		
Cantidad de los Materiales	CALCULADA	REAL
Cemento	10,3	10,2
Arena	60	60,001
Agua	10,3	10,4323

RELACION ENTRE LOS MATERIALES	
Agua/Cemento	1,03:1
Arena/Cemento	6:1
Asentamiento	2,9

TIPO DE REFUERZO		
	REFUERZO	TIPO DE LOSETA
Baldosa 1 y 2	F	16 - 2C - U
Baldosa 3 y 4		

RESISTENCIA A FLEXIÓN				
Nº	Carga de Rotura	Carga Remanente	Fecha de Rotura	Edad
Baldosa 1	6,95	1,5	22/06/2022	56
Baldosa 2	6,75	1,65	22/06/2022	56
Baldosa 3				
Baldosa 4				

DATOS GENERALES	
Fecha de Variado:	29/04/2022
Hora:	10:00 AM
Lugar:	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES
Laboratoriasta:	Abigail Fernandez Huaricallo & Sayco Vilela Lopez

DOSIFICACION DEL MORTERO		
Cantidad de los Materiales	CALCULADA	REAL
Cemento	10	10
Arena	60	60
Agua	10,3	10,3

RELACION ENTRE LOS MATERIALES	
Agua/Cemento	1,03:1
Arena/Cemento	6:1
Asentamiento	2,5

TIPO DE REFUERZO		
	REFUERZO	TIPO DE LOSETA
Baldosa 1 y 2	A	8 - 1C - U
Baldosa 3 y 4	F	16 - 2C - U

RESISTENCIA A FLEXIÓN				
Nº	Carga de Rotura	Carga Remanente	Fecha de Rotura	Edad
Baldosa 1	6,2	0,55	24/06/2022	56
Baldosa 2	6,45	0,35	24/06/2022	56
Baldosa 3	6,75	1,55	24/06/2022	56
Baldosa 4	6,45	1,45	24/06/2022	56

DATOS GENERALES	
Fecha de Variado:	04/05/2022
Hora:	10:00 AM
Lugar:	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES
Laboratorista:	Abigail Fernandez Huaricallo & Sayco Vilela Lopez

DOSIFICACION DEL MORTERO		
Cantidad de los Materiales	CALCULADA	REAL
Cemento	10	10,009
Arena	60	60,0003
Agua	10,3	9,6694

RELACION ENTRE LOS MATERIALES	
Agua/Cemento	1,03:1
Arena/Cemento	6:1
Asentamiento	2,2

TIPO DE REFUERZO		
	REFUERZO	TIPO DE LOSETA
Baldosa 1 y 2	D	8 - 2C - N/U
Baldosa 3 y 4	F	16 - 2C - U

RESISTENCIA A FLEXIÓN				
Nº	Carga de Rotura	Carga Remanente	Fecha de Rotura	Edad
Baldosa 1	6,6	0,65	01/06/2022	28
Baldosa 2	6,9	0,7	01/06/2022	28
Baldosa 3	6,5	1,5	01/06/2022	28
Baldosa 4	6,95	1,7	01/06/2022	28

DATOS GENERALES	
Fecha de Variado:	05/05/2022
Hora:	10:00 AM
Lugar:	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES
Laboratoriasta:	Abigail Fernandez Huaricallo & Sayco Vilela Lopez

DOSIFICACION DEL MORTERO		
Cantidad de los Materiales	CALCULADA	REAL
Cemento	10	10,006
Arena	60	60
Agua	10,3	10,311

RELACION ENTRE LOS MATERIALES	
Agua/Cemento	1,03:1
Arena/Cemento	6:1
Asentamiento	2,5

TIPO DE REFUERZO		
	REFUERZO	TIPO DE LOSETA
Baldosa 1 y 2	C	8 - 1C - N/U
Baldosa 3 y 4		

RESISTENCIA A FLEXIÓN				
Nº	Carga de Rotura	Carga Remanente	Fecha de Rotura	Edad
Baldosa 1	6,2	0,4	02/06/2022	28
Baldosa 2	5,8	0,35	02/06/2022	28
Baldosa 3				
Baldosa 4				

DATOS GENERALES	
Fecha de Variado:	02/06/2021
Hora:	10:00 AM
Lugar:	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES
Laboratoriasta:	Abigail Fernandez Huaricallo & Sayco Vilela Lopez

DOSIFICACION DEL MORTERO		
Cantidad de los Materiales	CALCULADA	REAL
Cemento	5	5,0018
Arena	30	30
Agua	5,15	5,1501

RELACION ENTRE LOS MATERIALES	
Agua/Cemento	1,03:1
Arena/Cemento	6:1
Asentamiento	2,5

TIPO DE REFUERZO		
	REFUERZO	TIPO DE LOSETA
Baldosa 1 y 2	F	16 - 2C - U
Baldosa 3 y 4		

RESISTENCIA A FLEXIÓN				
Nº	Carga de Rotura	Carga Remanente	Fecha de Rotura	Edad
Baldosa 1	6,5	1,5	30/06/2022	28
Baldosa 2	6,85	1,6	30/06/2022	28
Baldosa 3				
Baldosa 4				

DATOS GENERALES	
Fecha de Variado:	26/08/2021
Hora:	10:00 AM
Lugar:	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES
Laboratoriasta:	Abigail Fernandez Huaricallo & Sayco Vilela Lopez

DOSIFICACION DEL MORTERO		
Cantidad de los Materiales	CALCULADA	REAL
Cemento	10	10,057
Arena	60	60,001
Agua	10,3	10,222

RELACION ENTRE LOS MATERIALES	
Agua/Cemento	1,03:1
Arena/Cemento	6:1
Asentamiento	2,4

TIPO DE REFUERZO		
	REFUERZO	TIPO DE LOSETA
Baldosa 1 y 2	B	8 - 2C - U
Baldosa 3 y 4	E	16 - 1C - U

RESISTENCIA A FLEXIÓN				
Nº	Carga de Rotura	Carga Remanente	Fecha de Rotura	Edad
Baldosa 1	6,5	0,7	23/09/2021	28
Baldosa 2	6,2	0,6	23/09/2021	28
Baldosa 3	6,7	1,05	23/09/2021	28
Baldosa 4	6,35	0,7	23/09/2021	28

DATOS GENERALES	
Fecha de Vasiado:	13/07/2021
Hora:	10:00 AM
Lugar:	INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES
Laboratoriasta:	Abigail Fernandez Huaricallo & Sayco Vilela Lopez

DOSIFICACION DEL MORTERO		
Cantidad de los Materiales	CALCULADA	REAL
Cemento	10,6	10,96
Arena	66	66,023
Agua	10,3	10,7895

RELACION ENTRE LOS MATERIALES	
Agua/Cemento	1,03:1
Arena/Cemento	6:1
Asentamiento	3,5

TIPO DE REFUERZO		
	REFUERZO	TIPO DE LOSETA
Baldosa 1 y 2	B	8 - 2C - U
Baldosa 3 y 4	B	8 - 2C - U

RESISTENCIA A FLEXIÓN				
Nº	Carga de Rotura	Carga Remanente	Fecha de Rotura	Edad
Baldosa 1	6,7	0,8	07/09/2021	56
Baldosa 2	6,5	0,9	07/09/2021	56
Baldosa 3	6,8	1,1	07/09/2021	56
Baldosa 4	7	0,8	07/09/2021	56

Postulante: Abigail Fernández Huaricallo **CI:** 6815120 LP **Cel.:** 77739679

Dirección: Avenida Octavio Campero N° 1533 Zona Alto San Antonio

Correo electrónico: abigailfernandezhuaricallo@gmail.com

Postulante: Sayco Vilela López **CI:** 8361644 LP **Cel.:** 72500107

Dirección: Calle Narciso Dulón N° 637 Zona Villa Fátima

Correo electrónico: sayco2014.svl@gmail.com