

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE TRUJILLO**  
**BENEDICTO XVI**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE POLIESTIRENO  
EXPANDIDO ADICIONADO SOBRE LAS PROPIEDADES DE  
PANELES PARA TABIQUERIA REFORZADOS CON NYLON**

**TESIS**  
**PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
CIVIL**

**AUTORES**

**Br. Lizmar Maria Victoria Fuentes Alvarado**

**Br. Oscar Fernando Lara Flores**

**LINEA DE INVESTIGACION**

**Vivienda, saneamiento y transporte**

**TRUJILLO-PERU**

**2021**

## ACTA DE EVALUACIÓN DE TITULACIÓN PROFESIONAL POR PRESENTACIÓN, SUSTENTACIÓN Y APROBACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Trujillo, a los 11 días del mes de enero del 2021, siendo las 20:00 horas se reunieron los miembros del Jurado designado por la Facultad de Ingeniería y Arquitectura para evaluar el Examen de Titulación Profesional de:

INGENIERO CIVIL

(Indicar la Carrera Profesional)

Especialidad: \_\_\_\_\_

(De ser el caso)

mediante la Modalidad de Presentación, Sustentación y Aprobación de Tesis de(l) (la)

**Bachilleres:** FUENTES ALVARADO LIZMAR MARIA VICTORIA

(Apellidos y Nombres)

quien desarrolló la Tesis Titulada:

INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO ADICIONADO SOBRE  
LAS PROPIEDADES DE PANELES PARA TABIQUERIA REFORZADOS CON NYLON

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) mencionado(a) Bachiller fue

Aprobado por Excelencia  
(Aprobado o desaprobado= menos de 14) (En caso de ser aprobado: Unanimidad o mayoría o grado de excelencia)

emitiéndose el calificativo final de veinte 20  
(Letras) (Números)

Siendo las 21:00 horas concluyó la sesión, firmando los miembros del Jurado.

**Presidente:** Mg. Saldaña Milla Fernando  
(Dr. Mg. o Ing.) (Apellidos y Nombres)

Fernando Saldaña Milla  
(Firma)

**Secretario:** Mg. Janet Edith Gonzales Valdivia  
(Dr. Mg. o Ing.) (Apellidos y Nombres)

Janet Edith Gonzales Valdivia  
(Firma)

**Vocal:** Mg. Alva Reyes Luis Alberto  
(Dr. Mg. o Ing.) (Apellidos y Nombres)

Luis Alberto Alva Reyes  
(Firma)

(\*) Desaprobado: 0-13; Aprobado: 14-20

(\*\*) Mayoría: Dos miembros del jurado aprueban; Unanimidad: todos los miembros del jurado aprueban; Grado de excelencia: promedio 19 a 20

## ACTA DE EVALUACIÓN DE TITULACIÓN PROFESIONAL POR PRESENTACIÓN, SUSTENTACIÓN Y APROBACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Trujillo, a los 11 días del mes de enero del 2021, siendo las 20:00 horas se reunieron los miembros del Jurado designado por la Facultad de Ingeniería y Arquitectura para evaluar el Examen de Titulación Profesional de:

INGENIERO CIVIL

(Indicar la Carrera Profesional)

Especialidad: \_\_\_\_\_

(De ser el caso)

mediante la Modalidad de Presentación, Sustentación y Aprobación de Tesis de(l) (la)

Bachiller: LARA FLORES OSCAR FERNANDO

(Apellidos y Nombres)

quien desarrolló la Tesis Titulada:

INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO ADICIONADO SOBRE  
LAS PROPIEDADES DE PANELES PARA TABIQUERIA REFORZADOS CON NYLON

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) mencionado(a) Bachiller fue

Aprobado por Excelencia  
(Aprobado o desaprobado= menos de 14) (En caso de ser aprobado: Unanimidad o mayoría o grado de excelencia)

emitiéndose el calificativo final de veinte 20  
(Letras) (Números)

Siendo las 21:00 horas concluyó la sesión, firmando los miembros del Jurado.

Presidente: Mg. Saldaña Milla Fernando  
(Dr. Mg. o Ing.) (Apellidos y Nombres)

  
(Firma)

Secretario: Mg. Janet Edith Gonzales Valdivia  
(Dr. Mg. o Ing.) (Apellidos y Nombres)

  
(Firma)

Vocal: Mg. Alva Reyes Luis Alberto  
(Dr. Mg. o Ing.) (Apellidos y Nombres)

  
(Firma)

(\*) Desaprobado: 0-13; Aprobado: 14-20

(\*\*) Mayoría: Dos miembros del jurado aprueban; Unanimidad: todos los miembros del jurado aprueban; Grado de excelencia: promedio 19 a 20

# FORMULARIO DE CESIÓN DE DERECHOS PARA LA PUBLICACIÓN DIGITAL DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Moche 12 de enero del 2021

A: Mg. Carlos Leandro Jave Gutiérrez

Decano de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Nombres y apellidos de cada investigador (a):

Yo  Nosotros (as) X

Br. Fuentes Alvarado Lizmar Maria Victoria

Br. Lara Flores Oscar Fernando

Autor (es) de la investigación titulada:

INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO  
ADICIONADO SOBRE LAS PROPIEDADES DE PANELES PARA TABIQUERÍA  
REFORZADOS CON NYLON

Sustentada y aprobada el 11 de enero del 2021 para optar el Grado Académico/ Título  
Profesional de:

INGENIERO CIVIL

**CEDO LOS DERECHOS** a la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI para publicar por plazo indefinido la versión digital de esta tesis en el repositorio institucional y otros, con los cuales la universidad firme convenio, consintiendo que cualquier tercero podrá acceder a dicha obra de manera gratuita pudiendo visualizarlas, revisarlas, imprimirlas y/o grabarlas siempre y cuando se respeten los derechos de autor y sea citada correctamente. En virtud de esta autorización, la universidad podrá reproducir mi tesis en cualquier tipo de soporte, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la tesis o trabajo de investigación es una creación de mi autoría o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultada(o)(s) a conceder la presente autorización y además declaro bajo juramento que dicha tesis no infringe los derechos de autor de terceras personas.

Asimismo, declaro que el CD-ROM que estoy entregando a la UCT, con el archivo en formato PDF y WORD (.docx), como parte del proceso de obtención del Título Profesional o Grado Académico, es la versión final del documento sustentado y aprobado por el Jurado.

Por ello, el tipo de acceso que autorizo es el siguiente: (Marcar con un aspa (x); una opción)

Categoría de Acceso	Descripción del Acceso	Marcar con acceso	X
ABIERTO	Es público y será posible consultar el texto completo. Se podrá visualizar, grabar e imprimir.		X
RESTRINGIDO	Solo se publicará el abstract y registro del metadato con información básica.		

## OPCIONAL – LICENCIA CREATIVE COMMONS.

Una licencia **Creative Commons** es un complemento a los derechos de autor que tiene como fin proteger una obra en la web. Si usted concede dicha licencia mantiene la titularidad y permite que otras personas puedan hacer uso de su obra, bajo las condiciones que usted determine.

No, deseo otorgar una licencia Creative Commons

Si, deseo otorgar una licencia Creative Commons **X**

Si opta por otorgar la licencia Creative Commons, seleccione una opción de los siguientes permisos:

<b>CC-BY:</b> Utilice la obra como desee, pero reconozca la autoría original. Permite el uso comercial.	X
<b>CC-BY-SA:</b> Utilice la obra como desee, reconociendo la autoría. Permite el uso comercial del original y la obra derivada (traducción, adaptación, etc.), su distribución es bajo el mismo tipo de licencia.	<input type="checkbox"/>
<b>CC-BY-ND:</b> Utilice la obra sin realizar cambios, otorgando el reconocimiento de autoría. Permite el uso comercial o no comercial.	<input type="checkbox"/>
<b>CC-BY-NC:</b> Utilice la obra como desee, reconociendo la autoría y puede generar obra derivada sin la misma licencia del original. No permite el uso comercial.	<input type="checkbox"/>
<b>CC-BY-NC-SA:</b> Utilice la obra reconociendo la autoría. No permite el uso comercial de la obra original y derivada, pero la distribución de la nueva creación	<input type="checkbox"/>
<b>CC-BY-NC-ND:</b> Utilice y comparte la obra reconociendo la autoría. No permite cambiarla de forma alguna ni usarlas comercialmente.	<input type="checkbox"/>

## Datos del investigador (a)

**Nombres y Apellidos:** Lizmar Maria Victoria Fuentes Alvarado

**DNI:** 74247162

**Teléfono celular:** 921999211

**Email:** lizmar.fuentes@uct.edu.pe



---

**Firma**

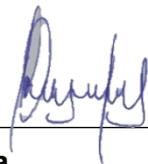
## Datos del investigador (a)

**Nombres y Apellidos:** Oscar Fernando Lara Flores

**DNI:** 76241748

**Teléfono celular:** 929535913

**Email:** oscar.lara@uct.edu.pe



---

**Firma**

## **AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**Monseñor Dr. Héctor Miguel Cabrejos Vidarte, O.F.M.**

Fundador y Gran Canciller de la UCT Benedicto XVI

**R.P. Dr. John Joseph Lydon McHugh, O.S.A.**

Rector

**Dra. Silvia Valverde Zavaleta**

Vicerrectora Académica

**Dr. Carlos Alfredo Cerna Muñoz PhD.**

Vicerrector de Investigación

**Mg. Carlos Leandro Jave Gutiérrez**

Decano de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura

**Mons. Ricardo Exequiel Angulo Bazauri**

Gerente de Desarrollo Institucional

**Ing. Marco Antonio Dávila Cabrejos**

Gerente de Administración y Finanzas

**Mg. José Andrés Cruzado Albarrán**

Secretario General

## **APROBACION DEL ASESOR**

Yo Mg. Luis Alberto Alva Reyes con DNI N° 42013371 como asesor del trabajo de investigación “Influencia del porcentaje de poliestireno expandido adicionado sobre las propiedades de paneles para tabiquería reforzados con nylon” desarrollada por los bachilleres Fuentes Alvarado Lizmar Maria Victoria y Lara Flores Oscar Fernando con DNI N°74247162 y DNI N°76241748 respectivamente, egresadas del Programa Profesional de Ingeniería Civil, considero que dicho trabajo de titulación reúne los requisitos tanto técnicos como científicos y corresponden con las normas establecidas en el reglamento de titulación de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI y en normativa para la presentación de trabajos de titulación de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Por tanto, autorizo la presentación del mismo ante el organismo pertinente para que sea sometido a evaluación por la comisión de la clasificación designado por el Decano de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

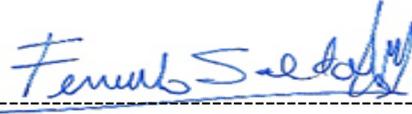


---

Mg. Luis Alberto Alva Reyes

**ASESOR**

**PAGINA DE JURADO**



---

Mg. Fernando Arístides Saldaña Milla

PRESIDENTE



---

Mg. Janet Edith Gonzales Valdivia

SECRETARIO



---

Mg. Luis Alberto Alva Reyes

VOCAL

## **DEDICATORIA**

### ***A Dios***

*Por darme sabiduría, perseverancia y paciencia para lograr terminar con éxito mi carrera profesional, además por reconfortarme y ayudarme en los momentos difíciles que se presentaron a lo largo de estos 5 años.*

### ***A mis padres***

*Por su amor y su apoyo incondicional, por haberme ayudado a alcanzar una meta tan importante en mi vida. Gracias a mi padre Lizardo y a mi madre Marivel porque hicieron de mí una mujer de bien y realizada académicamente.*

### ***A mi familia***

*Ellos fueron mi soporte en todo momento, fueron mi fuerza y mi motivo para seguir adelante, gracias a mi hermano Edgar, a mi tíos y primos, en especial a mi tía Marleny por acogerme y quererme como una hija y a mi tío Fidel por su apoyo espiritual y moral.*

***Fuentes Alvarado Lizmar Maria Victoria***

***Autora***

## **DEDICATORIA**

*A Dios.*

*Por brindarme salud, sabiduría e iluminarme en el camino del bien y así perder concluir una etapa más en mi vida.*

*A mi abuela y madre.*

*Por el sacrificio que han realizado en toda mi formación profesional ayudándome a cumplir una meta muy importante en mi vida. Le agradezco a mi abuela Bertha y mi madre Margarita de todo corazón por haber confiado siempre en mí.*

*A mis familiares y amigos.*

*Que siempre me apoyaron para seguir adelante y no dejar de avanzar a pesar de las adversidades, ya que el camino que he tomado no sencillo y en ustedes me puedo apoyar.*

*Lara Flores Oscar Fernando*

*Autor*

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios por habernos permitido llegar hasta este momento con salud, sabiduría y perseverancia a lo largo de nuestra formación académica como profesionales.*

*A nuestros padres, hermanos, y demás familiares por brindarnos su apoyo incondicional en esta etapa de formación profesional.*

*A nuestros docentes, por compartir con nosotros sus conocimientos y experiencias y en especial a nuestro asesor Luis Alberto Alva Reyes por ser un gran mentor, por su paciencia y sabiduría impartida a lo largo de nuestra carrera.*

***Los Autores***

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Fuentes Alvarado Lizmar Maria Victoria con DNI 74247162 y Lara Flores Oscar Fernando con DNI 76241748, egresados del Programa de Estudios de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI, damos fe que hemos seguido rigurosamente los procedimientos académicos y administrativos emanados por la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, para la elaboración y sustentación del trabajo de investigación titulado: “Influencia del porcentaje de poliestireno expandido adicionado sobre las propiedades de paneles para tabiquería reforzados con nylon”, el cual consta de un total de 87 páginas, en las que se incluye 15 tablas y 19 figuras, más un total de X páginas en apéndices y/o anexos.

Dejamos constancia de la originalidad y autenticidad de la mencionada investigación y declaramos bajo juramento en razón a los requerimientos éticos, que el contenido de dicho documento corresponde a nuestra autoría respecto a redacción, organización, metodología y diagramación. Asimismo, garantizamos que los fundamentos teóricos están respaldados por el referencial bibliográfico, asumiendo un mínimo porcentaje de omisión involuntaria respecto al tratamiento de cita de autores, lo cual es de nuestra entera responsabilidad.

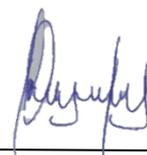
Se declara también que el porcentaje de similitud o coincidencia es de X%, el cual es aceptado por la Universidad Católica de Trujillo.

*Los autores*



---

DNI 74247162



---

DNI 76241748

## ÍNDICE DE CONTENIDO

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS .....	2
APROBACION DEL ASESOR .....	3
PAGINA DE JURADO .....	4
DEDICATORIA .....	5
DEDICATORIA .....	6
AGRADECIMIENTO .....	7
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD .....	8
RESUMEN .....	13
ABSTRACT .....	14
CAPITULO I .....	15
PROBLEMA DE LA INVESTIGACION .....	15
1.1. Planteamiento del problema .....	15
1.2. Formulación del problema .....	16
1.2.1. Problema General.....	16
1.2.2. Problemas Específicos .....	16
1.3. Objetivos .....	17
1.3.1. Objetivo General .....	17
1.3.2. Objetivos Específicos.....	17
1.4. Justificación de la investigación.....	17
1.4.1. Justificación económica .....	17
1.4.2. Justificación tecnológica .....	18
1.4.3. Justificación social - ambiental .....	18
CAPITULO II .....	19
MARCO TEORICO CONCEPTUAL .....	19
2.1. Antecedentes de la investigación .....	19
2.2. Bases teórico-científicas.....	21
2.2.1. Concreto .....	21
2.2.2. Concreto ligero .....	25
2.2.3. Poliestireno expandido (EPS).....	30
2.2.4. Fibras .....	342
2.2.5. Sistemas constructivos.....	34
2.2.6. Tabiquería.....	346
2.2.7. Paneles .....	45
2.2.8. Resistencia a la flexión .....	45
2.2.9. Densidad .....	48
2.3. Definición de términos básicos .....	49
2.4. Formulación de hipótesis .....	50
2.4.1. Hipótesis general.....	50
2.4.2. Hipótesis específicas .....	50
2.5. Operacionalización de variables.....	51
CAPITULO III.....	53
METODOLOGIA .....	53
3.1. Tipo de investigación .....	53
3.2. Diseño de investigación .....	53
3.3. Población y muestra .....	53
3.3.1. Población.....	53

3.3.2. Muestra .....	53
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	54
3.5. Métodos y técnicas de recolección de datos.....	54
3.6. Ética investigativa .....	57
CAPITULO IV.....	58
RESULTADOS.....	58
4.1. Presentación y análisis de resultados .....	58
4.1.1. Cálculo del porcentaje de poliestireno expandido con el que se obtiene la mayor resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon .....	58
4.1.2. Cálculo del porcentaje de poliestireno expandido con el que se obtiene la menor densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon. ....	62
4.1.3. Análisis de la variación de la resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado.....	66
4.1.4. Análisis de la variación de la densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado. ....	67
4.1.5. Evaluación de la correlación existente entre la resistencia a la flexión y densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon .....	67
4.1.6. Determinación de la influencia del porcentaje de poliestireno expandido adicionado sobre la resistencia a la flexión y densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon .....	70
4.2. Prueba de hipótesis.....	71
4.2.1. Cálculo del porcentaje de poliestireno expandido con el que se obtiene la mayor resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon. ....	71
4.2.2. Cálculo del porcentaje de poliestireno expandido con el que se obtiene la menor densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon. ....	71
4.2.3. Análisis de la variación de la resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado.....	71
4.2.4. Análisis de la variación de la densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado. ....	73
4.2.5. Evaluación e la correlación existente entre la resistencia a la flexión y la densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon .....	734
4.2.6. Determinación del porcentaje de poliestireno expandido que optimice las propiedades de paneles para tabiquería reforzados con nylon .....	74
4.3. Discusión de resultados .....	77
CAPITULO V .....	80
CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS .....	80
5.1. Conclusiones .....	80
5.2. Sugerencias .....	81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 01: Tabiques. Tipos de Estabilidad.....	38
Figura N° 02: Sistema de construcción con muros de adobe .....	40
Figura N° 03: Muro de madera con Quincha tradicional .....	41
Figura N° 04: Albañilería confinada.....	43
Figura N° 05: Tabique con planchas multicapa de cartón– yeso.....	44
Figura N° 06: Ensayo de flexión de vigas con cargas a los tercios .....	47
Figura N° 07: Ensayo de flexión de vigas con carga en el centro del tramo .....	47
Figura N° 08: Diagrama de flujo del proceso .....	56
Figura N° 09: Resultados del cálculo de la resistencia a la flexión.....	61
Figura N° 10: Resistencia a la flexión vs porcentaje de poliestireno expandido .....	62
Figura N° 11: Resultados del cálculo de la densidad .....	65
Figura N° 12: Densidad vs porcentaje de poliestireno expandido.....	66
Figura N° 13: Línea de tendencia: resistencia a la flexión vs porcentje de poliestireno expandido .....	67
Figura N° 14: Línea de tendencia: densidad vs porcentaje de poliestireno expandido .....	67
Figura N° 15: Densidad y resistencia a la flexión de paneles para tabiquería con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado .....	68
Figura N° 16: Relación entre la densidad y resistencia a la flexión de panales para tabiqueria. Tendencia polinómica .....	69
Figura N° 17: Densidad y resistencia ala flexión de paneles para tabíqueria con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado .....	70
Figura N° 18: Variación de la resistencia a la flexión de paneles para tabiquería con respecto alporcentaje de poliestireno expandido adicionado .....	76
Figura N° 19: Variación de la densidad de paneles para tabiquería con respecto alporcentaje de poliestireno expandido adicionado .....	76

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 01: Ejemplo de mezclas de concreto ligero .....	26
Tabla N° 02: Áridos de baja densidad .....	27
Tabla N° 03: Coeficiente de conductividad térmica para varias densidades.....	31
Tabla N° 04: Clasificación de EPS según Norma ASTM .....	32
Tabla N° 05: Ventajas y Desventajas del muro de adobe.....	40
Tabla N° 06: Ventajas y Desventajas del muro de madera con quincha tradicional.....	42
Tabla N° 07: Ventajas y De ventajas del muro con ladrillo King Kong .....	43
Tabla N° 08: Ventajas y Desventajas del tabique con planchas multicapa de cartón – yeso .....	45
Tabla N° 09: Operacionalización de variables .....	52
Tabla N° 10: ANOVA para la resistencia a la flexión en kgf/cm <sup>2</sup> de paneles para tabiquería reforzados con nylon respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado .....	72
Tabla N° 11: Prueba de Tukey (medias) para la resistencia a la flexión en kgf/cm <sup>2</sup> de paneles para tabiquería reforzados con nylon respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado.....	72
Tabla N° 12: ANOVA para la densidad en g/cm <sup>3</sup> de paneles para tabiquería reforzados con nylon respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado .....	73
Tabla N° 13: Prueba de Tukey (medias) para la densidad en g/cm <sup>3</sup> de paneles para tabiquería reforzados con nylon respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado .....	73
Tabla N° 14: Correlación de Pearson para la resistencia a la flexión y densidad de paneles de tabiquería reforzados con nylon .....	735
Tabla N° 15: Correlación de Spearman para la resistencia a la flexión y densidad de paneles detabiquería reforzados con nylon .....	735

## RESUMEN

Esta investigación buscó determinar la influencia del porcentaje de poliestireno expandido adicionado sobre las propiedades (resistencia a la flexión y densidad) de paneles para tabiquería reforzados con nylon.

Es por ello que para cumplir con este objetivo se elaboraron probetas con la proporción de cemento-arena de 1:1.65 respectivamente, el poliestireno expandido (EPS) se adiciono a la mezcla en porcentajes de 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0%. Además, la fibra de nylon se utilizó como refuerzo secundario incorporándose de manera aleatoria en la mezcla, los paneles de 30x30x1.27 cm se dejaron a la intemperie para que puedan curarse por 28 días.

Transcurrido el tiempo de curado con ayuda de una balanza a cada probeta se le determino su masa, dichos datos fueron anotados de manera precisa para después ser procesados, asimismo se realizó el ensayo de resistencia a la flexión con la prensa hidráulica modificada, se volvieron a recoger los datos de dicho ensayo para después evaluar y comparar cada uno de los porcentajes trabajados.

Los resultados fueron procesados llegando a la conclusión que existe una influencia positiva del porcentaje de poliestireno expandido adicionado sobre la resistencia a la flexión y densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon, a la vez que el porcentaje de poliestireno expandido con el cual existe una mayor resistencia a la flexión en los paneles reforzados con nylon es de 0.5%, mientras que el 2% de poliestireno expandido fue el que mejor se comportó en cuanto a la densidad en los paneles; finalmente se determinó que existe una correlación no lineal positiva entre la resistencia a la flexión y la densidad de los paneles evaluados ajustándose su comportamiento a un modelo polinómico de grado 2.

**Palabras clave:** Poliestireno expandido, resistencia a la flexión, densidad, panel, tabiquería, nylon.

## ABSTRACT

This research sought to determine the influence of the percentage of added expanded polystyrene on the properties (flexural strength and density) of nylon-reinforced partition panels.

For this reason, to meet this objective, specimens were made with a cement-sand ratio of 1: 1.65 respectively, expanded polystyrene (EPS) was added to the mixture in percentages of 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%. and 2.0%. In addition, the nylon fiber was used as secondary reinforcement, being incorporated randomly into the mix, the 30x30x1.27 cm panels were left outdoors so that they could cure for 28 days.

After the curing time had elapsed with the help of a balance, its mass was determined, said data were accurately recorded and later processed, the flexural strength test was also carried out with the modified hydraulic press, they were retested. collect the data of said test and then evaluate and compare each of the percentages worked.

The results were processed, reaching the conclusion that there is a positive influence of the percentage of expanded polystyrene added on the flexural strength and density of panels for partition walls reinforced with nylon, as well as the percentage of expanded polystyrene with which there is a greater flexural strength in the nylon-reinforced panels is 0.5%, while 2% of expanded polystyrene was the one that performed the best in terms of density in the panels; Finally, it was determined that there is a positive non-linear correlation between the flexural strength and the density of the evaluated panels, adjusting their behavior to a grade 2 polynomial model.

**Keywords:** Expanded polystyrene, flexural strength, density, panel, partitioning, nylon

# CAPITULO I

## PROBLEMA DE LA INVESTIGACION

### 1.1. Planteamiento del problema

El ser humano siempre ha tenido la necesidad de refugiarse en una vivienda ya sea natural o artificial, dado que esta simboliza un lugar de protección, cuidado y convivencia con sus familias. Todos tenemos el anhelo de construir o contar con una vivienda propia pero muchas veces el costo de este bien es elevado, de ahí el que muchas familias de escasos recursos económicos vivan en situaciones precarias, alquilen espacios inadecuados o construyan sus viviendas con materiales y mano de obra deficientes. Según el Banco Interamericano de Desarrollo [BID] (2018) el principal déficit de las viviendas en América Latina no es la cantidad que se necesita para albergar a millones de familias sino su calidad.

En el Perú, tres de cada cuatro viviendas construidas se realizan de manera informal, en condiciones de habitabilidad inadecuadas, con materiales de baja calidad y sin la asesoría de un especialista, muchas de estas autoconstrucciones se realizan mediante el sistema constructivo de albañilería confinada, que si bien tiene una serie de ventajas también cuenta con ciertas limitaciones; por otro lado, existen otros sistemas de edificación en nuestro país, por ejemplo, en los últimos años se ha venido implementando y popularizando el sistema en seco o comúnmente llamado drywall, el cual aporta un sin número de beneficios debido a su fácil y rápida instalación.

Un informe presentado en la Revista Perú Construye (2019) nos dice que este sistema empezó a emplearse desde el año 1997 pero que no fue hasta el año 2015 que se aprobó la ley para su uso adecuado. Actualmente en el Perú el consumo por habitante del sistema en seco es de 0.3 m<sup>2</sup>, es decir 10 millones de m<sup>2</sup> al año, pero esta cantidad está limitada dado que solo es empleado en ciertos sectores. La población en general aun mira con perjuicios este sistema, ya que para ellos los paneles con los que se trabaja no cuentan con las características que ellos buscan o perciben en el sistema convencional, aun cuando este tiene un costo elevado y un tiempo de ejecución mayor.

Esto conlleva a que la población con escasos recursos económicos siga viviendo en condiciones de vulnerabilidad y esto se demuestra con los resultados del último censo nacional los cuales arrojan que más 7 mil 803 viviendas en La Libertad están construidas

con materiales precarios (Instituto Nacional de Estadísticas e Informática [INEI], 2017). Es por ello que, una alternativa para contrarrestar esta realidad sería utilizar materiales que puedan reemplazar a los paneles que se emplean en este sistema y es por esto que en esta investigación se propuso elaborar paneles para tabiquería reutilizando el poliestireno expandido, así como el nylon y de esta manera cuenten con propiedades mejores a la de los paneles existentes en el mercado.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema General**

¿Cuál es la influencia del porcentaje de poliestireno expandido adicionado sobre propiedades de paneles para tabiquería reforzados con nylon?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

- ¿Cuál es el porcentaje de poliestireno expandido con el que se obtiene la mayor resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon?
- ¿Cuál es el porcentaje de poliestireno expandido con el que se obtiene la menor densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon?
- ¿Cómo varía la resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado?
- ¿Cómo varía de la densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado?
- ¿Existe correlación entre la resistencia a la flexión y la densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon?

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Determinar la influencia del porcentaje de poliestireno expandido adicionado sobre las propiedades de paneles para tabiquería reforzados con nylon.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Calcular el porcentaje de poliestireno expandido con el que se obtiene la mayor resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon.
- Calcular el porcentaje de poliestireno expandido con el que se obtiene la menor densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon.
- Analizar la variación de la resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado.
- Analizar la variación de la densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado.
- Evaluar la correlación existente entre la resistencia a la flexión y la densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon.

### **1.4. Justificación de la investigación**

#### **1.4.1. Justificación económica**

Al crear un nuevo material reutilizando el poliestireno expandido, así como fibras poliméricas (en este caso Nylon) estamos dando un valor agregado a los residuos sólidos, por lo tanto, al elaborar estos paneles para tabiquería con materiales reciclados se reduce el costo y se hace más accesible para la población, a la vez el uso estos nuevos paneles en el sistema de construcción en seco reduciría significativamente el costo de una vivienda en comparación con el sistema de construcción convencional.

#### **1.4.2. Justificación tecnológica**

Se ha desarrollado un nuevo material, el cual cumple con los estándares de calidad del mercado, pudiendo usar este panel para tabiquería en las nuevas habilitaciones urbanas de zonas rurales, ya que es de fácil manejo y ensamblaje, al mismo tiempo por ser un material muy versátil se puede crear nuevas tecnologías en los sistemas de construcción en seco con estos paneles.

#### **1.4.3. Justificación social - ambiental**

Con la elaboración de este nuevo material, el cual lleva materiales poliméricos reciclados dentro de sus componentes, convierte a los paneles en amigables con el medio ambiente, de esta manera se puede dar un valor agregado a los desechos y mitigar la contaminación ambiental producida por plásticos.

Por otro lado, los paneles elaborados poseen propiedades adecuadas para la construcción, esto, sumado al bajo precio en comparación con los encontrados en el mercado, hacen que mayor cantidad de familias puedan adquirir estos materiales y de esta manera puedan tener una vivienda digna, resolviendo de esta forma uno de los mayores problemas en la actualidad de nuestra región, la necesidad de viviendas de interés social (Carrillo et. al., 2015)

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO CONCEPTUAL

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

- Alonso et al. (2020) en su investigación titulada “Estudio técnico para el uso de paneles de concreto ligero de EPS reciclado para sistemas de losa” realizada en la ciudad de México, utilizan el poliestireno expandido (EPS) reciclado como material aligerante para realizar paneles que cumplan con los requerimientos mínimos del sistema de losas aligeradas. El diseño de mezcla que utilizaron fue de un concreto ligero con resistencia de  $150 \text{ kg/cm}^2$ , se realizaron paneles ligeros con dimensiones de  $110 \times 60 \times 4 \text{ cm}$  reforzadas con malla de gallinero los cuales fueron ensayados mediante la aplicación de cargas cilíndricas, dichos resultados arrojaron una resistencia de  $300 \text{ kg/cm}^2$ , superior a la del reglamento de construcciones para sistemas de losa de entepiso la cual es de  $190 \text{ kg/cm}^2$ .
- Reyes y Torres (2020) en su tesis titulada “Mortero modificado con poliestireno como aislante térmico, para revestimiento de muros”, tuvieron como objetivo principal determinar el comportamiento del mortero modificado con poliestireno expandido. En su investigación realizaron un diseño de mezcla utilizando una proporción de 1:4 y agregando el poliestireno en porcentajes de 3, 5 y 7%. Finalmente, el ensayo a la compresión revelo que las muestras realizadas con el 3% de EPS alcanzo una resistencia de  $153.24 \text{ kg/cm}^2$ , mientras que con los porcentajes de 5% y 7% se obtuvo una resistencia de  $70.09 \text{ kg/cm}^2$  y  $29.31 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente, llegando a la conclusión que al aumentar la proporción de EPS disminuía la resistencia a la compresión del mortero.
- Álvarez y Meca (2019) en su tesis “Diseño de unidades de albañilería de concreto liviano a base de poliestireno expandido, Piura- 2018”, realizaron el diseño de mezcla para un concreto liviano para unidades de albañilería con un peso unitario de  $1720 \text{ Kg/m}^3$ , para cumplir con los ensayos correspondientes elaboraron unidades con dimensiones de  $09 \times 14 \times 24 \text{ cm}$ , los cuales fueron ensayados a los 7, 14

y 28 días obteniendo una resistencia a la compresión de 49.25 Kg/m<sup>2</sup>, 60.60 Kg/m<sup>2</sup> y 69.75 Kg/m<sup>2</sup>; También se calcularon la absorción promedio que fue de 5.792% y el peso promedio del concreto en estado endurecido fue de 1679.01 Kg/m<sup>3</sup>. Otro de sus objetivos fue comparar el costo de las unidades de albañilería elaborados con concreto ligero y con concreto tradicional, siendo el de concreto liviano más económico en un S/. 0.39.

- Ñaupá (2018) en su tesis titulada “Evaluación de la calidad y costo de bloques de cemento con perlitas de poliestireno como alternativa en muros de albañilería en viviendas multifamiliares de la ciudad de Ayacucho”, tuvo como propósito evaluar la resistencia a la compresión de los bloques de cemento para albañilería con perlitas de poliestireno. Se realizaron especímenes cúbicos de 5x5x5cm, el poliestireno expandido se adiciono en porcentajes de 15,25,35 y 40% y se utilizaron tres proporciones 1:3, 1:4 y 1:5. Este autor llego a la conclusión según sus resultados de densidad de 1655.49 kg/cm<sup>3</sup> y una resistencia a la compresión de 32.14 kg/cm<sup>2</sup> que el diseño óptimo de proporción es 1:5 con la adición del 40% de poliestireno expandido.
- Rodríguez (2017) en su tesis “Concreto liviano a base de poliestireno expandido para la prefabricación de unidades de albañilería no estructural – Cajamarca”, analizo las propiedades físicas y mecánicas de los concretos livianos diseñados para las densidades de: 1200, 1400 y 1600 Kg/m<sup>3</sup>. De los cuales se ensayaron en probetas de 10x10x10 cm para compresión y de 09x19x39 cm para flexión, los ensayos se realizaron a los 7, 14 y 28 días según las Normas Técnicas Peruanas (NTP), de estos concretos a los 28 días el que sobre salió más fue el de 1600 Kg/m<sup>3</sup> con una resistencia a la compresión de 6.15 MPa (62.75 Kg/cm<sup>2</sup>), resistencia a la flexión estática de 3.14 MPa (32.03 Kg/cm<sup>2</sup>) y con un grado absorción de 7.70%, al mismo tiempo determino el contenido de aire siendo de 44.36 %, 36.13% y 26.31% en los concretos de 1200, 1400 y 1600 Kg/m<sup>3</sup> respectivamente.

- Severio et. al. (2015) en su investigación titulada “Fibras de nylon recicladas como refuerzo de mortero de cemento”, analizaron el comportamiento de morteros reforzados con fibras de nylon recicladas de redes de pesca, para el cual realizaron ensayos de compresión en moldes de 4 x 4 x 4 cm y también el de flexión en tres puntos en moldes de 4 x 4 x 16 cm. Los ensayos se realizaron a los 28 días concluyendo que la resistencia a la compresión aumento hasta un 35% y además mostro una tenacidad 13 veces mayor con respecto al material no reforzado. Estos resultados impulsaron la investigación por el alto potencial ambiental y mecánico que tienen dichas fibras.

## **2.2. Bases teórico-científicas**

### **2.2.1. Concreto**

El concreto es un material artificial que consiste en la mezcla de cemento portland, agregado fino, agregado grueso, aire, agua y ocasionalmente aditivos especiales, que al endurecerse producen un sólido macizo capaz de resistir grandes fuerzas compresivas (Osorio, 2004). Las proporciones adecuadas y las características físico-químicas de estos componentes determinan las propiedades fundamentales de este elemento.

El concreto se ha convertido en el material más empleado en los proyectos de infraestructura dado a las múltiples aplicaciones que se pueden realizar con él. La resistencia a la compresión, la facilidad de adoptar diversas formas, la durabilidad, la capacidad de resistir condiciones ambientales, la versatilidad y entre otras propiedades hacen de este material un elemento imprescindible para la industria de la construcción. No obstante, existen otros seis aspectos que influyen en la calidad final de este material como su naturaleza, la selección de las proporciones a utilizar, el proceso de puesta en obra, sus componentes, el control de calidad y el mantenimiento que se le realice a lo largo del tiempo (Riva, 2004).

Otro de los beneficios del concreto es el impacto que tiene en la sociedad, todo lo que podemos percibir en nuestro entorno colegios, viviendas, hospitales, edificios, puentes, pavimentos, presas, túneles, etc., son construidos con este material que innegablemente interviene en el desarrollo económico y moderno de todo un país (Asociación de Productores de Cemento [ASOCEM], 2015). Actualmente son muchos los avances tecnológicos que ha tenido, sin embargo, en un futuro no muy lejano seguirá siendo la forma más común de

edificar el mundo debido a que logrará solventar las necesidades de una humanidad más compleja.

## Componentes del concreto

Pasquel (1998) nos indica que la tecnología del concreto moderna define para este material cuatro componentes fundamentales: cemento portland, agregados, agua y aditivos.

### a) **Cemento portland**

Es un aglomerante hidráulico que permite la unión de fragmentos minerales entre sí gracias a las propiedades de cohesión y adherencia que este presenta (Osorio, 2004). Este material tiende a fraguar rápidamente y a endurecerse al reaccionar químicamente con el agua o al entrar en contacto con el aire (Torre, 2004).

El Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto (ICCYC, 2009) señala que la clasificación de un cemento se realiza en función de la naturaleza de sus componentes, la resistencia que pueda llegar a alcanzar o por sus características especiales. Sin embargo, la Norma Técnica Peruana (NTP 334.009, 2016) ampara cinco tipos de cementos de acuerdo a las necesidades del proyecto:

- **Tipo I:** Utilizado para usos generales.
- **Tipo II:** De uso general, pero específicamente cuando se desea moderar la resistencia a los sulfatos o el calor de hidratación.
- **Tipo III:** Cuando se necesite una alta resistencia inicial.
- **Tipo IV:** En caso se requiera bajar el calor de hidratación.
- **Tipo V:** Para alta resistencia a los sulfatos.

Pero generalmente estos tipos de cementos no son los más utilizados en las construcciones de nuestro país dado que las industrias producen otro tipo de cementos adicionados y especiales que están reglamentados según las normas NTP 334.090 (2013) y NPT 334.082(2008), entre los que se encuentran el Tipo Ico (cemento portland compuesto), Tipo GU (para construcciones generales), Tipo MS (de moderada resistencia a los sulfatos), Tipo HS (de alta resistencia a los sulfatos), entre otros.

## **b) Agregados**

Son partículas incorporadas al concreto que en combinación con el agua y el cemento proporcionan una estructura resistente y densa a la mezcla. Torres (2004) indica que estos agregados comprenden el mayor porcentaje de volumen dentro de una unidad cubica de concreto por lo que sus características físicas y químicas deben ser controladas por medio de ensayos y estudios previos a su aplicación.

La calidad de los agregados está determinada por su origen natural o artificial, por su distribución granulométrica, su densidad, absorción, forma y textura. La mayor parte de estos materiales suelen ser inertes y deben contar con una superficie libre de impurezas como arcillas, limos o materia orgánica para lograr un óptimo enlace con la pasta del cemento (Abanto, 2009). Existen diversas formas de clasificar estos áridos siendo la más utilizada el tamaño de sus partículas, la norma NTP 400.011 (2008) contempla dos tipos de agregados: grueso y finos.

Los agregados gruesos son aquellos que proceden de la desintegración de las rocas o gravas y que por lo general el 100% sus partículas quedan retenidas en el tamiz N°4 (4.75mm), la principal función de este agregado es dar volumen y aportar su propia resistencia al material. Mientras que para el agregado fino se considera a la arena o piedra materialmente triturada que pasa por el tamiz 3/8" y que cumple con los requisitos establecidos en la NTP 400.037 (2014), este árido actúa como lubricante del agregado grueso, ayudándolo a distribuir sus partículas de manera compacta y homogénea dentro de la mezcla.

Torres (2004) señala que ambos agregados cumplen con ciertas funciones para proporcionar estabilidad volumétrica y durabilidad al concreto, sin embargo, manifiesta tres objetivos principales en su investigación:

- Sirven como armadura o relleno adecuado para la pasta ligante que se forma con el agua y cemento.
- Proporciona un conjunto de partículas que son capaces de soportar acciones mecánicas de intemperie y desgaste.
- Disminuye los cambios drásticos de volúmenes que se realizan durante el proceso de fraguado y endurecimiento del concreto.

### **c) Agua**

Es un elemento esencial en la fabricación del concreto ya que desempeña tres funciones importantes dentro de la mezcla: reacciona químicamente con el cemento durante el proceso de hidratación, actúa como lubricante para contribuir a la trabajabilidad de este material y por último evita que las estructuras generen vacíos durante el proceso de fraguado (Pasquel, 1998).

El agua a utilizar puede ser potable o todas aquellas que no tengan sabores, olores o impurezas que alteren el comportamiento de la mezcla en estado fresco o endurecido. Abanto (2009) expresa que las normas nacionales e internacionales no apampan requisitos especiales para el uso del agua en el concreto, sin embargo, previamente a su empleo se debe realizar una serie de investigaciones para verificar la calidad y los valores máximos admisibles de este elemento.

### **d) Aditivos**

Es un componente químico que se agrega en porcentajes menores al 5% en relación a la masa del cemento, este es muy diferente a los agregados finos y gruesos, al agua y del mismo cemento. Se agrega durante el proceso de mezclado de pastas, morteros o del concreto para modificar las propiedades físicas según sea las necesidades de la obra o del constructor (Rivera, 2013). Las mezclas con los aditivos pueden tener las siguientes características tanto en el concreto plástico como endurecido:

#### **Concreto plástico**

- Aumenta el asentamiento de la mezcla o la trabajabilidad.
- Reduce el volumen de agua en la mezcla.
- Retarda o acelera el tiempo que demora la mezcla en fraguar.

#### **Concreto endurecido**

- Reduce o retarda el flujo de calor el cual humedece durante el fraguado del concreto.
- Mejora la dureza del concreto en condiciones de exposición.
- Aumenta la adherencia del concreto al acero.

### **2.2.2. Concreto ligero**

Usado en la industria de los prefabricados o donde se requiera disminuir cargas muertas, generalmente este concreto cuenta con densidades menores a  $1900\text{kg/m}^3$ . Los agregados que se utilizan para el diseño de mezcla de este concreto son áridos ligeros, que en su mayoría son de origen volcánico y algunos producido comercialmente en hornos giratorios (Valdez et al., 2010).

Para la Portland Cement Association (PCA, 2004) el concreto ligero se clasifica según sus propiedades y según los materiales que lo integran.

#### **a) Según sus propiedades**

##### **Concreto ligero de resistencia estructural**

Es un concreto con características similares al concreto convencional, excepto que tiene una densidad menor. Se considera que un concreto ligero estructural debe poseer una densidad aparente entre  $1350 - 1850\text{ kg/m}^3$  y además que a los 28 días debe alcanzar una resistencia a la compresión mínima de  $175\text{ kg/cm}^2$ . La elaboración de este concreto se realiza mediante la combinación de agregados livianos gruesos y finos o combinando un agregado liviano con uno de peso normal (Instituto Americano del Concreto [ACI], 2003).

Este concreto cuenta con sus propios agregados ligeros estructurales y estos se encuentran contemplados en la American Society of Testing Materials [ASTM] C-330 (2011) la cual incluye a las arcillas, pizarras, cenizas volantes, escorias expandidas, piedra pómez, entre otros. La densidad de estos agregados oscila entre los  $560\text{ kg/m}^3$  y  $1120\text{ kg/m}^3$  y además pueden llegar a absorber de 5% a 20% de agua por peso de material seco (PCA, 2004).

##### **Concreto ligero de resistencia moderada**

Este concreto a los 28 días logra una resistencia a la compresión no menor de  $70\text{ kg/cm}^2$  y un peso unitario que varía entre  $800\text{ kg/m}^3$  a  $1440\text{ kg/m}^3$ . Se utiliza generalmente como aislante térmico y en la confección de elementos prefabricados (Cemex, 2018). El concreto ligero de modera resistencia suele utilizar otro tipo de

agregados tales como perlitas, vermiculitas, poliestireno expandido, escoria de alto horno, diatomita, tufa, entre otros (PCA, 2004).

En cuanto a las proporciones y el diseño de mezcla este concreto puede llegar a tener un contenido de aire entre 25% y 35%, esto producto del agregado ligero. Por otro lado, la cantidad de agua para concreto ligero de resistencia moderada varía considerablemente, ya que va a depender de las características de los agregados, el aire incluido y la proporción de mezcla. Generalmente, las proporciones de mezclas se basan en volumen de materiales secos y sueltos, dichas proporciones pueden variar considerablemente para diferentes agregados o combinaciones agregados como lo podemos observar en la Tabla N°01 (PCA, 2004).

**Tabla N° 01**  
*Ejemplo de mezclas de concreto ligero.*

<b>Tipo de concreto</b>	<b>Relación cemento - agregado en volumen</b>	<b>Densidad seca en el horno, kg/cm<sup>3</sup></b>	<b>Relación agua-cemento en masa</b>	<b>Resistencia a la compresión, kg/cm<sup>2</sup></b>
Perlita	1:4	480 a 608	0.94	28.1
	1:5	416 a 576	1.12	22.9
	1:6	352 a 545	1.24	15.5
	1:8	320 a 512	1.72	14.1
Vermiculita	1:4	496 a 593	0.98	21.1
	1:5	448 a 496	1.30	12.0
	1:6	368 a 464	1.60	9.1
	1:8	320 a 336	2.08	5.6
Poliestireno	1:3.4	545 ± 34	0.40	22.9
	1:3.1	625 ± 39	0.40	28.1
	1:2.9	725 ± 44	0.40	33.4
	1:2.5	769 ± 48	0.40	38.7

*Nota:* Extraída del libro de Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Fuente: PCA, 2014.

## **b) Según sus propiedades**

### **Concreto ligero con áridos de baja densidad**

Aquellos concretos que emplean agregados de densidades inferiores a 2 g/cm<sup>3</sup>. Algunos de estos agregados son naturales como la piedra pómez la cual posee una densidad promedio de 1.07 g/cm<sup>3</sup> y otros son artificiales como el poliestireno expandido

que cuenta con una densidad real de  $0.015 \text{ g/cm}^3$ , siendo este último utilizado para la elaboración de concretos de estructura cerrada los cuales pueden llegar a resistencias a la compresión entre  $200 \text{ y } 800 \text{ kg/cm}^2$  (Fernández, 2012).

Los concretos realizados con agregados de baja densidad se suele emplear para elementos constructivos portantes, pero deben satisfacer tres condiciones básicas: poseer granos de formas redondeadas, no tener elementos nocivos para el cemento o para el acero y ser resistentes a los factores climáticos. Aunque gran parte de los áridos que se pueden observar en la Tabla N° 02 presentan formas angulares que dificultan la trabajabilidad del concreto y su acabado final, por lo que muchas veces se utiliza mayores proporciones de cemento, aditivos plastificantes e incorporadores de aire (Fernández, 2012).

**Tabla N° 02**

*Áridos de baja densidad*

<b>Árido</b>	<b>Densidad (kg/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Absorción de agua (%)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
Piedra pómez	0.48 - 1.65	20 - 30	50 - 150
Escoria expandida de horno alto	0.40 - 2.00	08 - 15	100 - 450
Perlita expandida	0.05 - 0.13	10 - 30	12 - 30
Vermiculita expandida	0.05 - 0.15	10 - 30	02 - 30
Arcilla y pizarra expandida	0.60 - 1.90	02 - 15	100 - 800
Cenizas volantes sinterizadas	1.30 - 2.10	14 - 24	30 - 50
Aserrín de madera	1.28 - 3.20	10 - 35	-
Poliestireno expandido	0.01 - 0.02	Aprox. 50	-

*Nota:* Extraído de Fernández, 2012

### **Concreto ligero con eliminación de finos**

Consiste en reemplazar el volumen que ocupa el agregado fino por aire. La resistencia a la compresión de estos concretos depende del tipo de cemento que se empleara y de la relación agua/cemento. El agregado grueso a utilizar debe tener una granulometría uniforme dado que solo quedaran cubiertos por una delgada capa de cemento y la unión entre estos agregados será puntual (IMCYV, 2007). Este concreto es utilizado en muchos países europeos para la construcción de muros portantes in situ, así como para la elaboración

elementos prefabricados. Sin embargo, este material presenta un gran inconveniente dado que su estructura posee una serie de vacíos que permite que el agua pase de manera directa.

### **Concreto ligero con incorporación de gas o aire**

Por medio de métodos físicos o químicos se le incorpora cierta cantidad de burbujas de gas o aire a la mezcla hecha a base de cemento, arena fina y agua (Cervantes, 2008). A este tipo de concretos se le conoce como celulares y revolucionaron la industria de la construcción desde el año 1929 debido a que su densidad oscila entre 200 y 700 kg/m<sup>3</sup>. Se contemplan dos tipos relevantes de este material: los gaseados y los espumados (Fernández, 2012).

El concreto celular gaseado reacciona directamente con el cemento produciendo así la liberación repentina de una gran cantidad de burbujas de gas que quedan estables y uniformes dentro de la mezcla. Generalmente estos concretos se obtienen por medio de procesos industriales rigurosos y controlados. Por otro lado, el concreto celular espumado es aquel que se genera mediante la penetración de una sustancia espumosa que produce cierta cantidad de aire en el concreto. A diferencia del gaseado este concreto puede ser preparado in situ o en por medio de procesos industriales siempre y cuando los productos espumantes que se utilicen sean neutros y estables para que no tenga repercusiones sobre la propiedades físicas y mecánicas de este material (Fernández, 2012).

### **Aplicaciones del concreto ligero**

Este concreto ha hecho posible que se realicen una serie de diseños que en el algún momento se han pretendido abandonar por razones de peso. Cervantes (2008) señala que este material puede ser utilizado en elementos estructurales de bajos requerimientos como:

- Divisiones en edificaciones
- Nivelación de pisos o losas
- Construcción de viviendas en serie o monolíticas.
- Elementos prefabricados para usos decorativos
- Aislante térmico
- Elementos que no estén expuestos a ataques químicos o ambientales.

Mientras que la National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA, 2003) en su investigación “Structural lightweight concrete” indica que este concreto puede llegar alcanzar resistencias similares al concreto convencional, por ende, se pueden diseñar elementos estructurales más eficientes por su coeficiente de resistencia-peso. Entre las aplicaciones de este concreto tenemos cubiertas de puentes, pilares, vigas, losas, muros portantes, estructuras de parqueo y losas de cubiertas.

### **Ventajas y desventajas del concreto ligero**

Este material ha revolucionado la industria de la construcción y muestra una serie de características favorables para su aplicación (Dificonsas,2015):

#### **Ventajas**

- Permite disminuir el peso y la sección de las estructuras.
- Su colocación y acabado son más versátiles.
- Óptimas propiedades térmicas y acústicas.
- Capacidad de fluir sin segregarse.
- Resistente al fuego.
- No requiere vibrado ni compactación adicional.
- Reducción de refuerzos secundarios (acero).
- Capacidad de resistir impactos, entre otros.

#### **Desventajas**

- Pose un bajo módulo de elasticidad que produce mayores deformaciones que el concreto convencional
- Es más costoso puesto que los agregados ligeros no son muy accesibles.
- No se puede hallar una relación agua-cemento específica debido a la absorción de sus componentes.
- Las dosificaciones y manejo de los agregados requieren ser más precisas.

## **Diseño de mezcla del concreto ligero**

Para realizar las dosificaciones de este concreto es necesario conocer principalmente las condiciones para las cuales se le necesita. La resistencia a la compresión, densidad y consistencia son las características fundamentales que se deben considerar para iniciar este diseño.

Respecto a los agregados se debe tener en cuenta la forma y la cantidad de poros que poseen, según Fernández (2012) las características superficiales de los áridos hacen que el agua considerada para alcanzar una consistencia determinada varíe dentro de amplios rangos de manera que la trabajabilidad del concreto se ve afectada. Otro problema que presenta este concreto respecto a la relación agua-cemento es la absorción de agua que tienen estos áridos por lo que conviene, en muchas ocasiones, saturarlos antes de agregarlos en el concreto.

Por otro lado, el diseño de mezcla se puede basar también en experiencia prácticas de otros proyectos de proporciones similares a los que se emplearan. Mas (2012) señala que para aceptar una dosificación ya establecida es necesario realizar pruebas y ensayos previos al estudio, de manera que los resultados demuestren las características requeridas para el concreto que se desea elaborar.

### **2.2.3. Poliestireno expandido (EPS)**

El poliestireno expandido o EPS (abreviatura en inglés) es un material sintético igual que los plásticos y para su elaboración la materia prima es el estireno un derivado del petróleo. La mezcla de estireno con agua y un agente expansor como el pentano ( $C_5H_{12}$ ) a una temperatura entre  $90^{\circ}C$  a  $105^{\circ}C$  da origen al poliestireno expandido, esta mezcla aumenta su volumen hasta 50 veces esto gracias al agente expansor, es así que se forma la perlita de poliestireno que usamos como agregado liviano en los concretos (Aramayo et al., 2003).

#### **Propiedades físicas del EPS**

##### **a. Aislamiento térmico**

El poliestireno expandido tiene una excelente capacidad de aislamiento térmico frente al calor y al frío cuando se encuentran en paneles, esto se debe a que su estructura es celular y rígida. Su composición es de aproximadamente 98% aire y 2% poliestireno, el contenido de aire es clave para el óptimo aislamiento térmico y este permanece en las

células, manteniéndose el aislamiento térmico constante por un largo tiempo EPS Construction Technologies ECOTEC] (2019). El aislamiento térmico se caracteriza por el coeficiente de conductividad térmica ( $\lambda$ ), este depende directamente de la densidad del poliestireno mientras más bajo sea la densidad de este como se muestra en la Tabla N° 03, la conductividad térmica también será baja, entonces el aislamiento térmico del EPS será mucho mejor (Liyuma y Zhunio, 2015).

**Tabla N° 03**

*Coefficiente de conductividad térmica para varias densidades.*

Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Conductividad térmica $\lambda$ (W/mK)
10	0.043
20	0.035
40	0.033
50	0.033
60	0.034

*Nota:* Liyuma y Zhunio, 2015

### **b. Densidad**

La característica más resaltante del poliestireno expandido es su bajo peso para su volumen esto se debe a su baja densidad, ya que aproximadamente 2% es poliestireno y el porcentaje restante es aire. Esta propiedad del EPS se determina al momento de su producción por el tiempo y temperatura de expansión del poliestireno, antes de la producción la materia prima del poliestireno tiene una densidad aproximada de 1050 kg/m<sup>3</sup> y después esta densidad varía de 10 a 50 kg/m<sup>3</sup> (Chuquilin, 2018). La norma internacional ASTM C 578-95 con la finalidad de estandarizar los rangos de las densidades del poliestireno expandido, hace una clasificación de doce tipos de poliestireno expandido de acuerdo a su densidad mínima, pero cabe recalcar que el tipo tres (III) ya no está disponible como se observa en la Tabla N° 04.

**Tabla N° 04***Clasificación del EPS según Norma ASTM.*

Tipo	Densidad mínima (kg/m <sup>3</sup> )
XI	12
I	15
VIII	18
XII	19
X	21
II	22
IV	26
IX	29
VI	29
VII	35
V	48

*Nota:* ASTM C 578-95.

#### **2.2.4. Fibras**

Las fibras han sido utilizadas desde hace siglos en la construcción, tomando gran importancia en los últimos 30 años el uso de fibras en concreto premezclado, concreto prefabricado y en el shotcrete. Las fibras más utilizadas tenemos a la de acero, plástico, vidrio y naturales además estas fibras la encuentras de gran variedad formas, tamaños y espesores (Kosmatka et al., 2004).

Las fibras se agregan al concreto en volúmenes menores al 1% frecuentemente y se ha observado un buen control de la fisuración por contracción en los concretos. Silva (como se citó en Shah, Weiss & Yang, 1998) “las fibras no alteran considerablemente la contracción libre de concreto y, si son empleadas en cantidades adecuadas, pueden aumentar la resistencia al agrietamiento y disminuir la abertura de las fisuras”.

#### **Clasificación del concreto con fibras**

En la NTP 339.204 hace una clasificación de cuatro tipos del concreto según el tipo de material de la fibra incorporada.

- **Tipo I Concreto reforzado con fibras de acero:** En su composición incluyen a las fibras acero inoxidable o al carbono que cumplan con las especificaciones ASTM A820/A820M.
- **Tipo II Concreto con fibras de vidrio:** Son los concretos reforzados con fibras de vidrio duraderas a los álcalis y que cumplan con las especificaciones de la ASTM C1666/C666M.
- **Tipo III Concreto reforzado con fibras sintéticas:** Se elaboran con fibras sintéticas como las de polipropileno, polietileno, nylon, carbono. Estas fibras tienen que ser resistentes a la humedad o a los álcalis presentes en el cemento. En caso de las fibras de poliolefina deben cumplir las especificaciones de la ASTM D7508/D7508M.
- **Tipo IV Concreto reforzado con fibras naturales:** Para este concreto las fibras deben ser resistentes al deterioro por la humedad o los álcalis que existen en el cemento y otras sustancias presentes en la mezcla del concreto para la vida útil esperada de la estructura. En el caso de que las fibras sean de celulosa deben cumplir las especificaciones de la ASTM D7357.

### **Fibra de nylon**

Es un polímero sintético y pertenece a la categoría de poliamidas. Está formado por la reacción de policondensación de un diácido y una diamina. El número de átomos de carbono en que se encuentran las cadenas de amina y ácido puede indicarse después de las iniciales de la poliamida de partida, el más famoso es PA6.6. El nylon 6 se sintetiza a base de caprolactona y el nylon 6,6 se sintetiza a partir de ácido adípico (Romero, 2018).

Por razones prácticas, no se prepara a partir de ácidos y aminas, sino a partir de soluciones de aminas y cloruros de diácido. Entre las dos fases, se forma un polímero que puede hincharse para formar hilos de nylon. Durante el proceso de fabricación, las fibras de nylon se exprimen, deforman e hilan en frío hasta que alcanzan aproximadamente 4 veces su longitud original, este proceso hace que aumenta su cristalinidad y también su resistencia a la tracción que es su principal característica. (Romero, 2018).

### **2.2.5. Sistemas constructivos**

Se define como un conjunto de materiales y componentes de diversa complejidad, combinados entre si bajo ciertas especificaciones técnicas que permite construir un tipo de edificación en particular (Orozco, 2008). Los sistemas constructivos se diseñan según la necesidad de cada edificación ya que esta determina la funcionalidad que va a cumplir y las acciones exteriores que se desean mitigar, además se tiene en cuenta la resistencia y la vulnerabilidad de cada sistema (Quesquén, 2019).

Un sistema constructivo esta constituidos por unidades, y estas por elementos, y estos a su vez constituyen materiales, los cuales a través del tiempo han evolucionado tanto como los diseños y la correcta ejecución de estos (Monjo, 2005).

#### **Sistema constructivo convencional**

También llamado sistema constructivo tradicional es aquel conjunto de procesos de diseño, organización y ejecución que un país o región en específico utiliza usualmente para construir sus edificaciones durante un determinado tiempo (Orozco, 2008). Los métodos de construcción de este sistema convencional son comúnmente manuales y casi siempre ha estado constituido por muros portantes, que además de tener la función de sostener estructuralmente la cubierta tiene la función de simple tabiquería. Estos muros suelen estar constituidos por diversos elementos como los ladrillos, adobes, piedra, entre otros; los cuales le brindan solidez a la edificación (Saavedra, 2016).

Este tipo de construcción es en húmedo, el cual significa que el agua está presente en su proceso constructivo haciéndolo un sistema lento y costoso. Pero también cuenta con innumerables ventajas como eficacia, durabilidad, resistencia, entre otras, por lo cual en nuestro país es el sistema más utilizado para realizar las construcciones de viviendas edificios, escuelas, hospitales, etc.

#### **Sistema constructivo no convencionales**

Según el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO, 2020) lo define como el sistema de edificación que emplea materiales y/o procesos constructivos que no están reglamentados por las normas nacionales. Este sistema utiliza materia prima industrializada y procesos constructivos modernos la cual lo hace

diferente al sistema constructivo tradicional. Nuestro país aprueba una serie de sistemas constructivos no convencionales como el superwall, sistema llaxta, sistema de construcción en seco Eternit, sistema betondecken, entre otros.

### **Sistema de construcción en seco**

Es un sistema constructivo en el cual los materiales no requieren conglomerantes húmedos dentro de su proceso. Según El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS, 20003) este sistema se encuentra formado por una estructura de acero galvanizado el cual cumple la función de esqueleto y puede ser recubierto con paneles de yeso o fibrocemento que se colocan por ambas caras, la elección de estos paneles depende los requerimientos técnicos del proyecto a realizar. Los paneles se unen a los perfiles de acero mediante el empleo de tornillos autoroscantes que resisten apropiadamente las cargas y los esfuerzos producidos por la intemperie y la naturaleza,

El sistema de construcción en seco vio la luz a fines de la primera guerra mundial, debido a la situación económica en la que se vivía y la falta de viviendas de muchos hogares americanos, es allí donde se creó una nueva tecnología constructiva mucho más rápida, ligera y económica que permitió brindar confort a tantas personas dignificadas por aquella catástrofe. Por el año 1916 la empresa Americana United States Gypsum Company, fabrica las primeras placas de yeso que en un inicio se utilizaban con un marco de madera. Este sistema es conocido popularmente en nuestro país “drywall” y llegó a finales de la década de los 80, utilizándose en la construcción espacios privados como centros comerciales, bancos, entre otros (Roca, 2009).

El sistema en seco no está considerado dentro del Reglamento Nacional de Edificaciones, sin embargo, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento a partir del año 2003 aprueba el uso correcto de este proceso constructivo considerándolo no convencional. La popularidad de este sistema incremento de una forma inesperada que la empresa Eternit decidió dejar de comprar los paneles de yeso y de fibrocemento del extranjero para producir sus propios paneles a partir del año 2005 (Revista Construye Perú, 2019).

## Características del sistema en seco

Según Roca (2009) las principales características del sistema en seco son:

- **Versátil:** Son flexibles a requerimientos especiales para desarrollar una serie de proyectos arquitectónicos.
- **Ligero:** El peso del panel de drywall es de 25 kg/m<sup>2</sup> 10 veces menor al muro de albañilería confinada que es 182 kg/cm<sup>2</sup>.
- **Fácil instalación:** Este sistema reduce los vicios ocultos que existen en la ejecución de una obra debido a que su instalación es muy sencilla.
- **Rapidez en la ejecución:** El plazo de ejecución de la obra disminuye considerablemente respecto al sistema convencional debido a que se pueden realizar una serie de partidas simultáneamente.
- **Costos y tiempos:** Los costos directos, así como los tiempos del proyecto se reducen debido a que la cantidad de cargas muertas son menores puesto que los paneles cuentan con menor densidad y en su proceso constructivo no interviene el agua.
- **Durabilidad:** Debido a que sus componentes e insumos tiene una vida útil de más de 15 años, concediéndole a todo el sistema una durabilidad de 15 a 20 años en condiciones normales.
- **Recuperable:** Los elementos de este sistema se pueden recuperar hasta el 80% del material para ser usado en un nuevo proyecto.

### 2.2.6. Tabiquería

En el rubro de la construcción civil, los tabiques son muros de características no portantes con los cuales se realiza subdivisiones de ambientes o para la elaboración de cercos perimétricos (Reglamento Nacional de Edificaciones [RNE], 2006 E-070).

Los tabiques son elementos verticales que forman parte de un subsistema de división de los ambientes en las edificaciones, separando las distintas habitaciones entre sí. Debido a lo cual, no cumplen una función estructural en la edificación y, por lo tanto, solo se desempeñan como separadores de espacios interiores, en ocasiones los podemos encontrar desempeñando una función estructural y pasan a formar parte del sistema de muros de carga y por ende dejarían de ser simples tabiques (Collado, 2005).

Las tabiquerías son parte de la arquitectura, que fácilmente las podemos encontrar en cualquier tipo de edificación; ya que, gracias a sus diferentes características, propiedades y materiales, son empleados en diversos trabajos que pueden ir como elementos de división o estéticos, hasta proporcionar confort y seguridad a la edificación y también a las personas, debido a que brinda aislamiento térmico, acústico y sobre todo resistencia al fuego (Avaria, 2015).

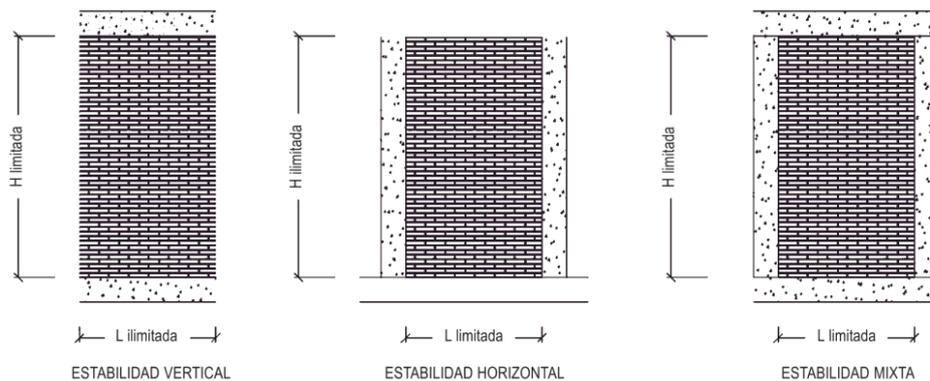
### **Requerimientos que deben cumplir las tabiquerías**

#### **a) Estabilidad**

Los tabiques los no solo cumplen la función de elementos de división sin carga estructural, sino también tienen que tener cierta capacidad portante que se utiliza para la estabilidad del sistema (Collado, 2005), este autor presenta tres tipos de estabilidad para los tabiques.

- **Estabilidad Vertical:** Esta se presenta cuando la estabilidad del conjunto se garantiza con la unión del suelo y el techo, por lo cual la altura de la tabiquería queda restringida.
- **Estabilidad Horizontal:** Se da cuando los límites son las uniones laterales y estas aseguran la estabilidad del sistema, pueden ser columnas, muros u otros tabiques y en este caso la longitud es limitada y la altura no.
- **Estabilidad Mixta:** Esta se da con la combinación de los dos sistemas anteriores y es el sistema que más se utiliza en las construcciones, estos tabiques tienen un límite en ambos sentidos, longitud y altura.

**Figura N° 01**  
*Tabiques. Tipos de Estabilidad*



*Nota:* La figura muestra los diferentes tipos de estabilidad. Fuente: Collado, 2005.

### **b) Resistencia al fuego**

Al ocurrir un incendio en una edificación las tabiquerías deben brindar protección contra el fuego esto depende de los materiales que con los que están contruidos, al mismo tiempo deben impedir la propagación de las llamas, humo y de gases tóxicos. Entonces los tabiques deben cumplir con una Resistencia al Fuego (RF) en función a las normativas de internacionales o de cada país, para que estas permitan la evacuación y mantenga sus propiedades durante un tiempo (Collado, 2005).

### **c) Aislamiento térmico**

En las normativas no existen exigencias en lo que respecta a la protección térmica que nos brindan las taquerías, sin embargo, un tabique que cuente con un excelente aislamiento térmico entre los ambientes cálidos y no cálidos siempre tendrán una ventaja. Esto depende mucho de los materiales con los que son contruidos, un material poroso brinda un buen aislamiento térmico, a la vez un tabique que cuente con varias capas siempre tendrá un buen aislamiento térmico como acústico (Schmitt, 1978).

#### **d) Aislamiento acústico**

Las paredes divisorias de las edificaciones siempre están sometida a la amortiguación acústica, sin embargo, hay que tratar que el aislamiento acústico sea lo más moderado posible, entonces las tabiquerías cumplen un papel determinante en su capacidad de aislar los ambientes según las normativas (Schmitt, 1978).

#### **e) Posibilidad de colocar instalaciones**

Casi todos los muros tienen algún elemento dentro de ellas que forman parte de alguna instalación, que pueden ser de instalaciones eléctrica o instalaciones sanitarias que por lo general van empotradas en las paredes divisoras, cuando se hacen instalaciones en tabiques macizos estos generan un costo adicional a causa de que tienen que ser cortadas para colocar las instalaciones y luego selladas. Por lo tanto, las tabiquerías que cuentan con dos o más capas en su construcción brindan importantes ventajas en lo que se refiere a instalaciones, ya que los conductos se pueden colocar dentro de las paredes con mucha facilidad (Schmitt, 1978).

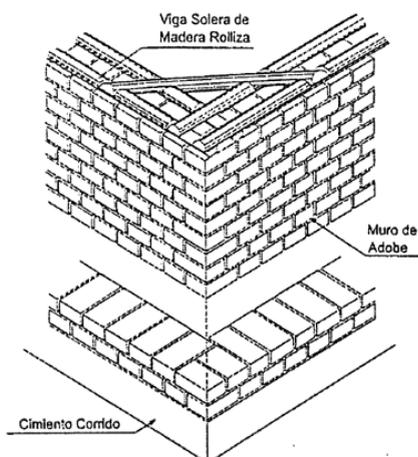
### **Sistemas constructivos más utilizados en el Perú**

#### **a) Muro con albañilería simple con adobes**

Este tipo de sistema constructivo permite que los muros sean portantes, tiene como elemento principal al adobe tradicional de 40x20x10 cm. Estos están elaborados a partir de la mezcla de barro y fibras vegetales (paja de arroz, trigo, ichu, etc), estos bloques se unen con un mortero de tierra (arena, limos y arcilla) y agua, los cuales se colocan en una cimentación corrida, para la formar las puertas y ventanas se emplean dinteles de madera. La estructura de este sistema se hace a través de muros portantes los mismos que se arriostran con otros muros transversales logrando así la estabilización (De Olarte et.al., 2003).

## Figura N° 02

### Sistema de construcción con muros de adobe



*Nota:* En esta figura se muestra una isometría de un muro de adobe. Fuente: De Olarte et.al., 2003.

## Tabla N° 05

### Ventajas y Desventajas del muro de adobe

Ventajas	Desventajas
Bajo costo de producción y edificación. Para su manufactura no requiere energía (electricidad, combustibles, etc.)	Poca resistencia a cargas laterales por sismos. Los muros se degradan rápidamente con el contacto con el agua.
No requiere mano de obra calificada.	El proceso de construcción es lento.
Gran capacidad de aislante térmico y acústico.	Requiere mantenimiento constante.
· La mayoría de procesos de obra se puede realizar en el lugar.	Es susceptible al deterioro mecánico por efecto de agentes biológicos.

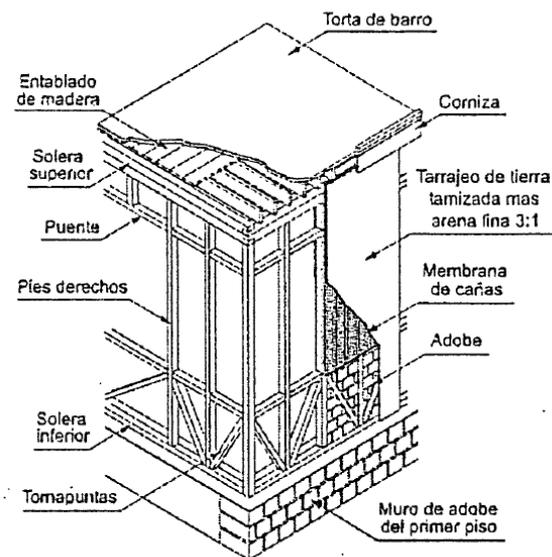
*Nota:* obtenido de la Base de datos de sistemas constructivos para edificaciones que se utilizan en el Perú. Fuente: De Olarte et.al., 2003.

## b) Muro entramado de madera con quincha

Este sistema constructivo tiene un armazón de madera, tejido de carrizo o caña brava y un enlucido interior y exterior. El uso más común de este sistema es para reducir el peso del segundo piso en las construcciones con un primer piso de adobe. Para la estructura principal se emplean piezas de madera aserrada en soleras, vigas, pies derechos y arriostres diagonales, la membrana se arma con la colocación de cañas a una o ambas caras y por último el revestimiento se hace con proporción 3:1 (barro, arena) para disminuir el agrietamiento. Este muro tiene resistencia horizontal a sismos gracias al armazón de madera que brinda una buena estabilidad y resistencia flexión (De Olarte et.al., 2003).

**Figura N° 03**

*Muro de madera con Quincha tradicional*



*Nota:* En la figura se muestra una isometría de un muro con quincha tradicional. Fuente: De Olarte et.al., 2003.

**Tabla N° 06***Ventajas y Desventajas del muro de madera con quincha tradicional*

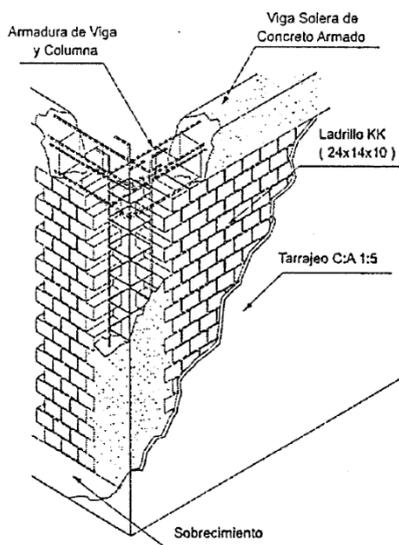
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
El grosor de los muros es reducido por lo que se ahorra espacio útil.	No permite la construcción de más de tres pisos en zonas sísmicas.
Para su manufactura se requiere herramientas simples.	Los muros se degradan rápidamente con el contacto con el agua.
No requiere mano de obra calificada.	Es poco resistente al fuego por lo que se deberá tratar a la madera y caña previamente.
Las estructuras son ligeras y flexibles.	Requiere mantenimiento constante.
Tienen buen comportamiento estructural ante cargas laterales por sismos.	Es poco resistente al impacto.

*Nota:* Obtenido de la Base de datos de sistemas constructivos para edificaciones que se utilizan en el Perú. Fuente: De Olarte et.al., 2003.

### **c) Muro de la albañilería confinada con ladrillos de arcilla King Kong 18 huecos**

La unidad básica de este sistema es ladrillo cerámico tipo King Kong de 18 huecos con medidas 24x14x10 cm. Los muros son portantes siempre y cuando las unidades de albañilería estén asentadas de cabeza en sobrecimiento de concreto ciclópeo, el mortero debe de tener una junta de 1.5 cm de espesor. Este sistema también se conoce como muros confinados compuesto de muros de carga, columnas y vigas de amarre, además el acero de las columnas y vigas mejoran el esfuerzo de la cortante producidas por fuerzas laterales producidas por los sismos (De Olarte et.al., 2003).

**Figura N° 04**  
Albañilería confinada



*Nota:* La figura muestra una isometría de albañilería con ladrillos King Kong. Fuente: De Olarte et.al., 2003.

**Tabla N° 07**  
*Ventajas y Desventajas del muro con ladrillo King Kong*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Alta resistencia al fuego debido a que utiliza materiales incombustibles.	Debido a que los muros son de carga, existen restricciones para la distribución de los espacios.
Es la técnica más difundida en nuestro medio tanto en el ámbito formal como informal.	Son limitadas las posibilidades de realizar modificaciones futuras (apertura de nuevos vanos).
Es fácil conseguir mano de obra que conozca el sistema constructivo.	No se puede construir más de 1.20 m de altura de muro por jornada.
Buenas propiedades térmicas y acústicas.	Todos los materiales son producidos industrialmente, y son poco accesible en zonas alejadas (rurales).
Es sismorresistente y se puede construir hasta cinco pisos en zonas de alto riesgo sísmico.	

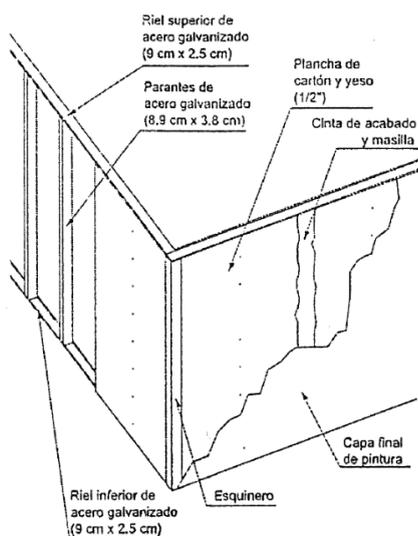
*Nota:* obtenido de la Base de datos de sistemas constructivos para edificaciones que se utilizan en el Perú. Fuente: De Olarte et.al., 2003.

#### d) Tabique con planchas multicapa de cartón – yeso

Este sistema está conformado por una estructura metálica que soporta a las planchas de cartón-yeso por las dos caras de la tabiquería. Las planchas están elaboradas con un núcleo de yeso bi-hidratado y cubiertas por ambos lados con una lámina de papel de fibra resistente, con acabado liso y parejo. Estos paneles son resistentes al fuego y con tamaño de 120 x 240 cm. La estructura está constituida por elementos de acero galvanizado conformados por rieles, parantes y perfiles. Las tabiquerías se logran colocando las planchas a la estructura mediante tornillos, de acuerdo a la obra los muros deben tener ciertas exigencias para el aislamiento térmico, acústico, la humedad y el fuego (De Olarte et.al., 2003).

#### Figura N° 05

*Tabique con planchas multicapa de cartón– yeso*



*Nota:* La figura muestra una isometría de un tabique con planchas multicapa de cartón – yeso.

Fuente: De Olarte et.al., 2003.

**Tabla N° 08***Ventajas y Desventajas del tabique con planchas multicapa de cartón – yeso*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
El proceso constructivo de los tabiques es rápido.	Requiere de un sistema estructural principal de concreto armado, metal u otro similar.
La construcción es seca, limpia y se reducen los desperdicios.	Limitada resistencia a las fuerzas laterales e impacto directo.
Pueden utilizarse para la construcción de muros interiores y exteriores sin requerís empaste.	Poco nivel de aislamiento acústico entre avientes continuos.
Por su versatilidad se pueden obtener muros de diversas formas (curvos, ángulos, etc.)	Necesita una estructuración adicional (interior) para soportar estantes.
Los muros delgados permiten el uso de mayor espacio útil.	Para el montaje de los tabiques se requiere mano de obra especializada.

*Nota:* obtenido de la Base de datos de sistemas constructivos para edificaciones que se utilizan en el Perú. Fuente: De Olarte et.al., 2003.

### **2.2.7. Paneles**

Los paneles son productos prefabricados que se emplean para cerramiento exteriores o interiores en las obras de construcción y se utilizan de acuerdo a los requerimientos técnicos del proyecto, estos paneles suelen ser de madera, yeso, metálicos, concreto, vidrio, entre otros materiales (Novas, 2010).

Los paneles simbolizan una serie de ventajas dentro de un proceso constructivo debido a su rápida instalación y montaje dentro del proyecto, además presenta una serie de características idóneas como resistencia al fuego, resistencia a la compresión y tracción, aislante termo-acústico. Este material es utilizado dentro de viviendas, edificios, hoteles, hospitales, centros comerciales, etc. Asimismo, la funcionabilidad de estos paneles no es solo como tabiquería sino también como revestimiento en paredes, como suelos, cubiertas y cielo rasos (Girón, 2014).

### **2.2.8. Resistencia a la flexión**

Es aquella deformación que presenta un elemento alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. “Alargado” significa una dimensión dominante frente a las otras, un caso típico en ingeniería son las vigas, las cuales están diseñadas para

trabajar a flexión. Asimismo, esta resistencia se extiende a otros elementos superficiales como paneles o laminas (Rocha et. al, 2005).

Un elemento se encuentra sometido a flexión simple cuando sus secciones están sujetas por un momento flector variable y en consecuencia de ello se produce un esfuerzo cortante. Por otro lado, se dice que una sección es sometida a flexión compuesta cuando sobre ella actúa un momento flector y un esfuerzo axial (Cervera y Blanco, 2001)

Según Rocha (2005) el ensayo de resistencia a la flexión evalúa el comportamiento de esfuerzo-deformación de un material, dicho ensayo se realiza cuando el material es demasiado frágil para ser ensayado por deformación. Asimismo, la característica que más destaca en un objeto sometido a flexión es su superficie de puntos llamada fibra neutral.

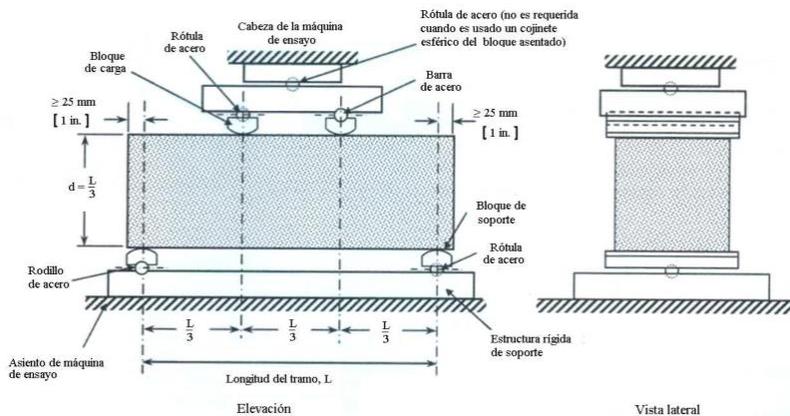
La resistencia a la flexión se expresa como el Módulo de Rotura (MR) y se mide en MPa (lb/in<sup>2</sup>), este módulo de rotura está en relación del 10% y 20% de la resistencia a la compresión. Existen dos métodos por el cual se puede realizar este ensayo, el primero, es el apoyados con dos cargas a los tercios del tramo y el segundo, apoyado con cargas en el centro del tramo (NRMCA, 2017).

- **Método apoyado con dos cargas a los tercios del tramo**

Este método consiste en emplear una carga en los tercios de la luz del material hasta que ocurra la falla. EL MR se calculará, según la ubicación de la falla que puede ser dentro del tercio medio o a una distancia no mayor del 5% de este. Asimismo, la resistencia varía según el tamaño del espécimen, su preparación, condiciones de humedad o las medidas que tengan dichos especímenes (NTP 339.078, 2012).

## Figura N° 06

### Ensayo de flexión de vigas con cargas a los tercios



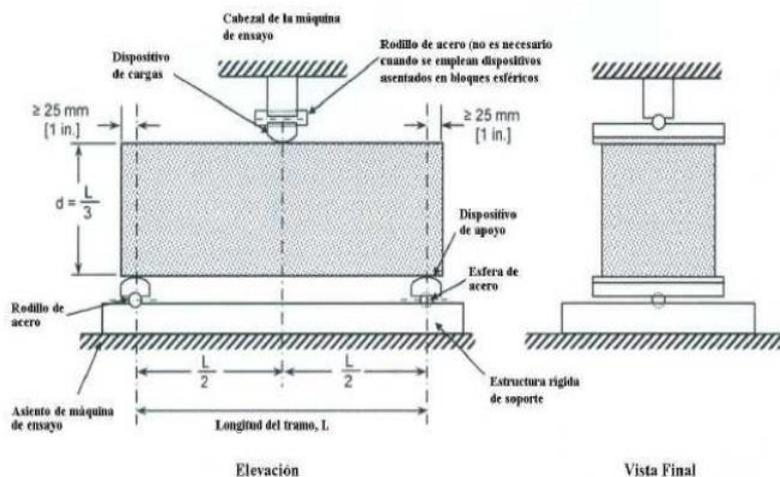
*Nota:* La figura muestra el diagrama de un dispositivo adecuado para realizar el ensayo de flexión de vigas con cargas a los tercios. Fuente: NTP 339.078 (2012)

- **Método apoyado cargas en el centro del tramo**

Este método consiste en utilizar una carga en el centro del tramo hasta que ocurra la falla, la carga deberá aplicarse perpendicularmente a la cara superior del espécimen de modo que se pueda evitar toda excentricidad. Asimismo, durante en el ensayo la carga se aplica a una velocidad constante hasta que se llegue al punto de ruptura (NTP 339.079, 2012).

## Figura N° 07

### Ensayo de flexión de vigas con carga en el centro del tramo



*Nota:* La figura muestra el diagrama de un dispositivo adecuado para realizar el ensayo de flexión de vigas con carga en el punto medio. Fuente: NTP 339.078 (2012).

### 2.2.9. Densidad

Es una propiedad elemental de los materiales, está asociada con la naturaleza de sus componentes y la presencia de espacios vacíos entre ellos. Por esta razón, se define la densidad como la masa por unidad de volumen, normalmente se mide en  $\text{kg/m}^3$  o  $\text{g/cm}^3$ . La densidad es además una propiedad física de la materia y puede observarse en sus tres estados: sólido, líquido y gaseoso, siendo el sólido el que mayor densidad posee (Alonso, 2010). Existen 4 tipos de densidades:

- **Densidad absoluta**

Es la relación entre la masa sólida del material y el volumen de una sustancia, en esta densidad se suprime los vacíos que existen entre las partículas y los poros permeables (Coro, 2014)

- **Densidad relativa**

Se define como la relación que existe entre la densidad de una sustancia y la densidad de otra sustancia que se toma como referencia, pero considerado que ambas densidades se expresen en las mismas unidades y se encuentren en igualdad de condiciones tanto de temperatura como presión. También se le conoce como gravedad específica y la densidad que se toma como referente es la del agua a una temperatura de  $4^\circ\text{C}$  (Gonzales, 2006).

- **Densidad aparente**

Esta densidad se aplica en materiales porosos y heterogéneos, como el suelo u otros materiales de características minerales. Se define como el peso en seco del suelo por el volumen total que ocupa el suelo, este volumen incluye su emplazamiento natural y su espacio poroso (Rubio, 2010)

## 2.3. Definición de términos básicos

- **Poliestireno expandido**

Según la empresa ECOTEC (2019) define al EPS como una terminología para los polímeros de estireno con forma esférica y con un aditivo expansor como el pentano en su parte interna. Obteniendo un material plástico con una estructura esférica celular y de baja densidad.

- **Resistencia a la flexión**

Es la capacidad que tiene los materiales de soportar fuerzas máximas perpendiculares a su eje longitudinal. Este ensayo tiene como objetivo medir la rigidez y determinar la resistencia de ciertos elementos (Lara, 2009).

- **Densidad**

Es una propiedad del concreto que se determina por la relación de la cantidad de masa y el volumen que existe en este, la densidad del concreto convencional oscila entre 2000 y 2400 kg/m<sup>3</sup> (Silva, 2016).

- **Panel**

Es un elemento prefabricado que permite la división vertical dentro de una edificación. Posee una estructura de forma tridimensional que contiene en su interior material de cualidades térmicas como papel, cartón, plástico, poliestireno, entre otros (Pérez, 2013).

- **Nylon**

Es un polímero termoplástico con muy buena resistencia al desgaste. Estas fibras se utilizan aleatoriamente en el concreto como refuerzo secundario y con el fin de controlar las grietas por contracción plástica y de asentamiento (Antillón, 2016).

- **Tabiquería**

Las tabiquerías son muros de características no portantes con los cuales se realiza subdivisiones de ambientes o para la elaboración de cercos perimétricos (RNE, 2006 E-070).

## **2.4. Formulación de hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

- $H_0$ : No existe influencia significativa del porcentaje de poliestireno expandido adicionado sobre las propiedades de paneles para tabiquería reforzados con nylon.
- $H_1$ : Si existe influencia significativa y positiva del porcentaje de poliestireno expandido adicionado sobre las propiedades de paneles para tabiquería reforzados con nylon.

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

#### **Objetivo específico 1**

- $H_0$ : No existe un porcentaje con el que se obtiene la mayor resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon.
- $H_1$ : El porcentaje de poliestireno expandido con el que se obtiene la mayor resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon es 0.5%.

#### **Objetivo específico 2**

- $H_0$ : No existe un porcentaje con el que se obtiene la menor densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon.
- $H_1$ : El porcentaje de poliestireno expandido con el que se obtiene la menor densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon es 2%.

#### **Objetivo específico 3**

- $H_0$ : La variación de la resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado no es significativa.

- $H_1$ : La variación de la resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado es significativa.

#### **Objetivo específico 4**

- $H_0$ : La variación de la densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado no es significativa.
- $H_1$ : La variación de la densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado es significativa.

#### **Objetivo específico 5**

- $H_0$ : No existe correlación entre la resistencia a la flexión y la densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon.
- $H_1$ : Si existe correlación entre la resistencia a la flexión y la densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon.

### **2.5. Operacionalización de variables**

#### **Variable independiente:**

Porcentaje de poliestireno expandido

#### **Variable dependiente:**

Propiedades

**Tabla N° 09**  
Operacionalización de variables

Problema	Variable	Dimensión	Indicador	Fórmula
<b>¿Cuál es la influencia del porcentaje de poliestireno expandido adicionado sobre la resistencia a la flexión y densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon?</b>	Porcentaje de poliestireno expandido	Cantidad de material	Proporción en volumen	$V = \frac{V_i}{\sum_1^n V_i}$
		Propiedad mecánica	Resistencia a la flexión	$R_{f_c} = R_{f_m} \cdot V_m + R_{f_p} \cdot V_p$
	Propiedades	Propiedad física	Densidad	$\rho_c = \rho_m \cdot V_m + \rho_p \cdot V_p$

*Nota:* La tabla nos resume de forma detalla de las variables y como se va a medir. Fuente:  
Elaboración propia (2020)

## CAPITULO III METODOLOGIA

### **3.1. Tipo de investigación**

Esta investigación de índole aplicada, dado que fomenta el uso de conocimientos teóricos y prácticos, obtenidos con anterioridad, al mismo tiempo promueve soluciones tecnológicas y científicas que existen en nuestro entorno.

A la vez, esta investigación es de carácter cuantitativa debido a que los resultados se pueden expresar numéricamente y además nos ayuda a facilitar el manejo de datos y resultados.

Finalmente es experimental dado que se manipulará intencionalmente la variable independiente y se observará el efecto que esta tiene sobre la variable dependiente.

### **3.2. Diseño de investigación**

El diseño de investigación es experimental, siendo más específico es un diseño con post-test únicamente a causa de que se trabaja con grupos de datos y sólo se aplica post-test.

### **3.3. Población y muestra**

#### **3.3.1. Población**

Nuestra población estuvo conformada por 75 especímenes de paneles de 30x30x1.27 cm, con respecto a norma ASTM D3043-17, de las cuales se dividieron en 5 grupos con 15 paneles por cada porcentaje a estudiar.

#### **3.3.2. Muestra**

Nuestra muestra son los paneles, los mismos que constituyen a la población, pero con un tamaño reducido, debido a que se distribuyó en los distintos porcentajes, como se muestra a continuación:

- 0% de EPS (15 paneles)
- 0.5% de EPS (15 paneles)

- 1.0 % de EPS (15 paneles)
- 1.5% de EPS (15 paneles)
- 2.0% de EPS (15 paneles)

Esto hizo un total de 75 especímenes, con los cuales nos permitieron realizar el ensayo de resistencia a la flexión y densidad.

### **3.4.Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

En esta investigación se utilizó la técnica de la observación para la toma de datos, los cuales fueron apuntados en una libreta para un mejor control. Estos datos fueron procesados y almacenados mediante los programas: Ms Excel, IBM SPSS 25, el CES Edupack 10, que nos fueron de gran utilidad para el procesamiento estadístico, para la obtener los datos de los materiales y la optimización de los modelos matemáticos. La investigación en su totalidad se realizó en las instalaciones de la Universidad Católica de Trujillo “Benedicto XVI” utilizando el Laboratorio de Materiales y Operaciones para la elaboración de las muestras y ensayos, bajo la supervisión del asesor.

### **3.5.Métodos y técnicas de recolección de datos**

El objetivo principal de esta investigación es determinar la influencia del porcentaje de poliestireno expandido adicionado sobre las propiedades de paneles para tabiquería reforzados con nylon, para ellos se realizaron un total de 75 probetas utilizando los moldes especificados anteriormente, los cuales se distribuyeron en partes iguales para los porcentajes de 0%, 0.5%, 1%, 1.5% y 2% de Poliestireno Expandido (EPS), dichos porcentajes se adicionaron a la mezcla en relación al peso de la arena.

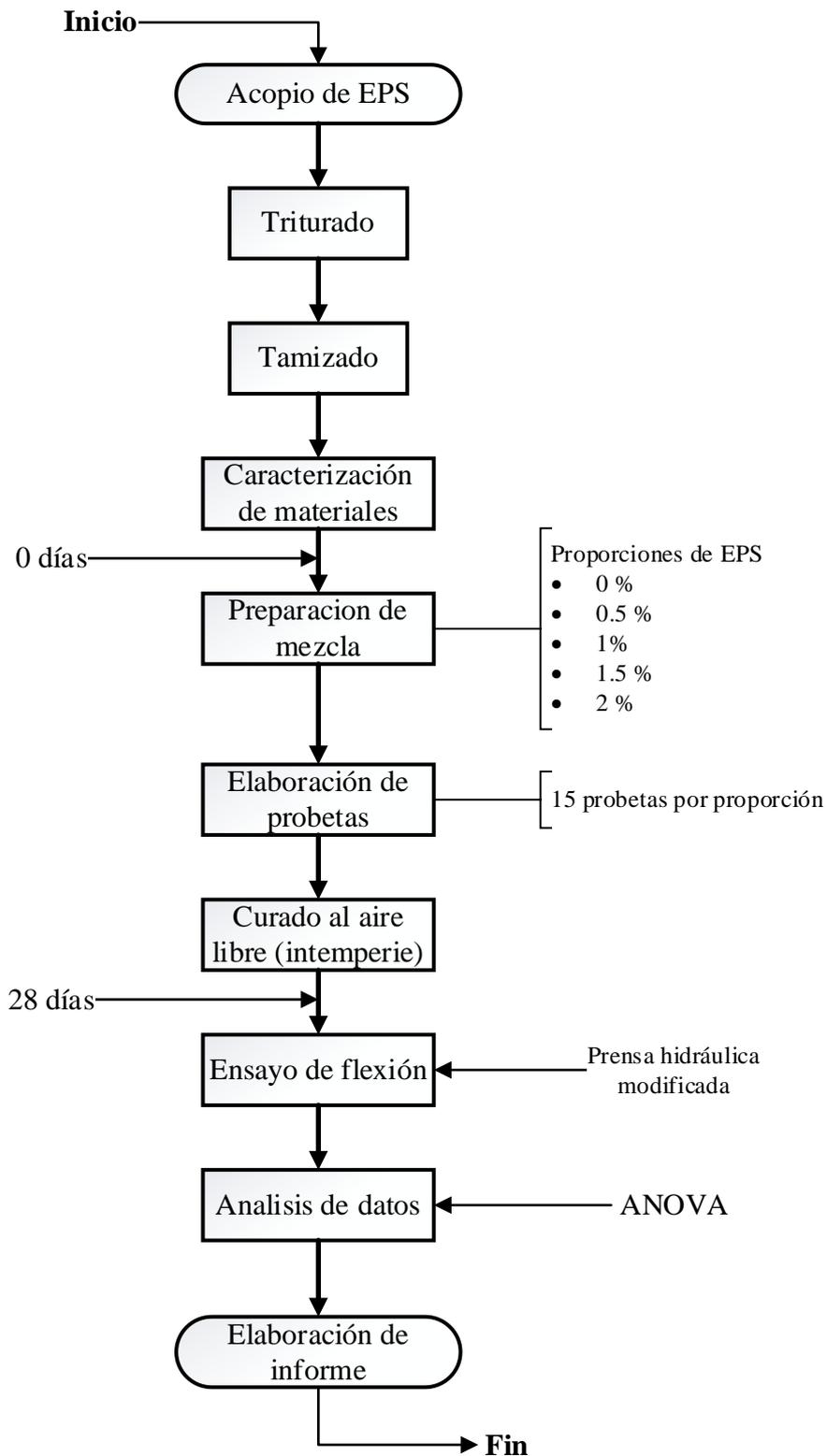
Para obtener el EPS fue necesario caracterizarlo en un solo tamaño para no tener inconvenientes con los demás agregados y que logre una mejor trabajabilidad, además para la elaboración de la mezcla utilizamos una proporción de 1:1.65 (cemento, arena) respecto al volumen de la probeta y a las densidades de los agregados finos. A su vez la relación agua/cemento que utilizamos fue de 0.55 a 0.68 dado que al aumentar el porcentaje de EPS se tuvo que aumentar la cantidad de agua.

Después de que la mezcla este totalmente homogeneizada se le agrego aleatoriamente la fibra de nylon hasta que quede adherida a esta. Por otro lado, antes de realizarse el vaciado de la mezcla a cada una de las probetas se tuvo que verificar que esté limpios y libre de partículas extrañas para luego ser cubiertos con un desmoldante. Se inicio el llenado de las probetas con 2 o 3 capas, después de ello se hizo un vibrado especial para no dejar ni un espacio vacío. Al finalizar el proceso de vibrado de los paneles se tuvo en cuenta que la superficie quede totalmente alisada.

Asimismo, todas las probetas se retiraron de los moldes después de 24 horas +/- ½ hora y permanecieron a la intemperie por 28 días para su respectivo curado en el Laboratorio de Materiales y Operaciones de la Universidad Católica De Trujillo “Benedicto XVI”. Después de este tiempo, se realizó el ensayo de flexión con carga a los tercios de la probeta con la ayuda de la prensa hidráulica. Además, se realizó el cálculo de la densidad de los especímenes con la ayuda de una báscula de precisión para que los cálculos sean los más preciso posible con el fin que el margen de error sea mínimo, los resultados obtenidos fueron procesados, evaluados y comparados con los paneles comerciales.

Para un mejor entendimiento del proceso realizado, se elaboró el siguiente diagrama de flujo del proceso:

**Figura N° 08**  
*Diagrama de flujo del proceso*



*Nota:* La figura nos indica el proceso de la investigación. Fuente: Elaboración propia (2020)

Finalmente, para el procesamiento de los resultados se procesaron con ayuda de los programas: Ms Excel, IBM SPSS 25, el CES Edupack 10 y Solver de Ms Excel los cuales nos facilitaron la obtención de los datos, el almacenamiento de estos en hojas de cálculo, el modelo matemático y el análisis estadístico se realizó mediante Análisis de Varianza (ANOVA) unidireccional.

### **3.6. Ética investigativa**

Se efectuaron todos los ensayos y la toma de datos de la manera más verídica posible, sin modificar ningún dato y respetando las normas éticas de la investigación.

## CAPITULO IV RESULTADOS

### 4.1. Presentación y análisis de resultados

#### 4.1.1. Cálculo del porcentaje de poliestireno expandido que optimice la resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon

Para obtener el porcentaje de poliestireno expandido que posea la mayor resistencia a la flexión de estos paneles, se tiene que realizar una maximización, para esto se procedió a utilizar la regla de mezclas de los materiales compuestos (Askeland y Wright, 2016), la cual podemos ver en la ecuación 01:

$$R_{f_c} = R_{f_m} \cdot V_m + R_{f_p} \cdot V_p \quad \dots \text{Ecuación 01}$$

Donde:

$R_{f_c}$  = Resistencia a la flexión del compuesto

$R_{f_m}$  = Resistencia a la flexión de la matriz

$R_{f_p}$  = Resistencia a la flexión del refuerzo

$V_m$  = Fracción en volumen de la matriz

$V_p$  = Fracción en volumen del refuerzo

En este caso se tuvieron que realizar modificaciones a la ecuación ya que está diseñada para aplicar con una matriz y un refuerzo, es por esta razón que se analizó el comportamiento de los diferentes componentes del material y según esto se hizo una triple optimización, la primera se refirió a trabajar el cemento y la arena, en este caso el cemento funciona como matriz y la arena como refuerzo, el conjunto de estos forma el mortero (nueva matriz). A continuación, tenemos el modelo matemático aplicado en la primera optimización:

### Optimización 1:

Función Objetivo: Maximizar  $R_{f_{mortero}} = R_{f_{ce}} \cdot V_{ce} + R_{f_{ar}} \cdot V_{ar}$

Sujeto a:

Restricción 1:  $250.8 \leq \text{Volumen cemento} \leq 308.68$

Restricción 2:  $233.07 \leq \text{Volumen arena} \leq 286.85$

Restricción 3:  $V_{cemento} + V_{arena} = 1$

Para todo:  $V = \frac{\text{Volumen}_i}{\sum_1^n \text{Volumen}_i}$

$V_{cemento}, V_{arena} \geq 0$

Luego de esto se realizó la segunda optimización teniendo en cuenta la nueva matriz ya obtenida (mortero), la cual está conformada por el cemento y la arena, y se le adicionó el poliestireno expandido, todo esto formó la matriz del material compuesto tal como se aprecia en el siguiente modelo matemático:

### Optimización 2:

Función Objetivo: Maximizar  $R_{f_{matriz}} = R_{f_{mortero}} \cdot V_{mortero} + R_{f_{pe}} \cdot V_{pe}$

Sujeto a:

Restricción 1:  $250.8 \leq \text{Volumen cemento} \leq 308.68$

Restricción 2:  $233.07 \leq \text{Volumen arena} \leq 286.85$

Restricción 3:  $266.67 \leq \text{Volumen poliestireno} \leq 866.67$

Restricción 4:  $V_{mortero} = V_{cemento} + V_{arena}$

Restricción 5:  $V_{mortero} + V_{poliestireno} = 1$

Para todo:  $V = \frac{\text{Volumen}_i}{\sum_1^n \text{Volumen}_i}$

$V_{cemento}, V_{arena}, V_{poliestireno} \geq 0$

Finalmente se realizó la tercera optimización utilizando la fibra de nylon como refuerzo debido a que lo que se quiere optimizar es la resistencia a la flexión, para esto se procedió a utilizar la regla de mezclas con una variación ya que se tomó el refuerzo en forma de fibra orientada al azar y uniformemente distribuidas en un plano específico, para

esto se utilizó un  $k = 3/8$  (Krenchel, 1964), así mismo se tomó la matriz final (mortero con poliestireno expandido)

### Optimización 3:

Función Objetivo: Maximizar  $R_{f_c} = R_{f_{matriz}} \cdot V_{matriz} + \frac{3}{8} R_{f_n} \cdot V_n$

Sujeto a:

Restricción 1:  $250.8 \leq \text{Volumen cemento} \leq 308.68$

Restricción 2:  $233.07 \leq \text{Volumen arena} \leq 286.85$

Restricción 3:  $266.67 \leq \text{Volumen poliestireno} \leq 866.67$

Restricción 4:  $0.67 \leq \text{Volumen nylon} \leq 2.67$

Restricción 5:  $V_{mortero} = V_{arena} + V_{cemento}$

Restricción 6:  $V_{matriz} = V_{mortero} + V_{poliestireno}$

Restricción 7:  $V_{matriz} + V_{nylon} = 1$  ento

Para todo:  $V = \frac{Volumen_i}{\sum_1^n Volumen_i}$

$V_{cemento}, V_{arena}, V_{poliestireno}, V_{nylon} \geq 0$

Luego de tener la nueva fórmula desarrollada, se procedió a ingresar los datos en el Ms. Excel donde mediante la herramienta Solver se realizó la optimización del resultado permitiendo sacar las cantidades de material con las que se obtiene la mayor resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon, cabe mencionar que los datos ingresados en el programa fueron obtenidos del software CES Edupack 10 teniendo que hacer las conversiones de [MPa] a [kgf/cm<sup>2</sup>] y tomando que el poliestireno se trata de espuma de poliestireno de celdas cerradas con 0.020 de gravedad específica y en el caso del nylon se utilizó poliamida tipo 66 con 30-33% de fibra de vidrio, vale la pena mencionar que se tomaron estos materiales ya que son los más usados en la industria.

En la Figura N° 09 se observa la optimización realizada con el Solver de Ms. Excel, donde se aplicó el modelo matemático presentado con anterioridad, se puede observar que la mayor resistencia a la flexión se obtiene con volumen de 266.67 cm<sup>3</sup> de poliestireno expandido, lo cual representa al 0.5% de este.

**Figura N° 09**

*Resultados del cálculo de la resistencia a la flexión*

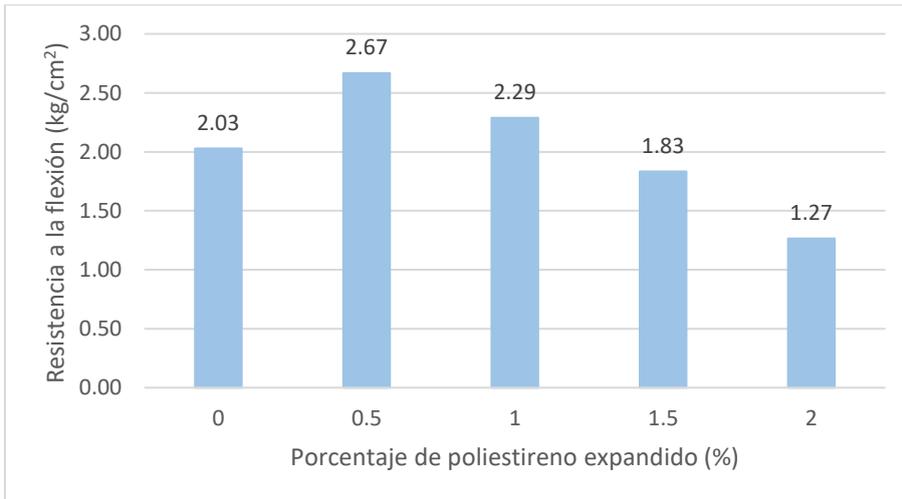
MATERIALES	RESISTENCIA FLEXIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	FRACCIÓN EN VOLUMEN	RESTRICCIONES	
				Mínimo	Máximo
Cemento	22.43	250.8	0.4665	250.8	308.68
Arena	40.79	286.85	0.5335	233.07	286.85
Poliestireno	1.53	266.67	0.3315	266.67	866.67
Nylon	2681.85	2.67	0.0033	0.67	2.67
Mortero	32.23		0.67		
Matriz final	22.05		0.9967		
			1.00	1	
Panel	25.30				

*Nota:* Datos obtenidos del software CES Edupack 2010. Elaboración propia (2020)

Por otro lado, en la Figura N° 10 se observa la resistencia a la flexión de los paneles con los diferentes porcentajes de poliestireno expandido obtenida experimentalmente, esta resistencia también se expresa en [kgf/cm<sup>2</sup>], aquí tenemos que las probetas correspondientes al 0.5% de poliestireno expandido obtuvieron los valores más altos, lo cual también corresponde a lo obtenido con la optimización mediante el Solver.

**Figura N° 10**

*Resistencia a la flexión vs porcentaje de poliestireno expandido*



*Nota:* Datos obtenidos experimentalmente. Elaboración propia (2020)

#### **4.1.2. Cálculo del porcentaje de poliestireno expandido con el que se obtiene la menor densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon.**

De igual manera que en el resultado anterior, se utilizó la regla de mezclas de los materiales compuestos, sólo que en este caso en la fórmula se cambió la resistencia a la flexión por la densidad tal como se ve en la ecuación 02:

$$\rho_c = \rho_m \cdot V_m + \rho_p \cdot V_p \quad \dots \text{Ecuación 02}$$

Donde:

$\rho_c$  = densidad del compuesto

$\rho_m$  = densidad de la matriz

$\rho_p$  = densidad del refuerzo

$V_m$  = Fracción en volumen de la matriz

$V_p$  = Fracción en volumen del refuerzo

Para obtener el porcentaje de poliestireno expandido con el que se obtiene la menor densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon se realizó una triple minimización, para esto primero se analizó el comportamiento de los componentes del panel, teniendo que la primera optimización se realizó para obtener la densidad del mortero (cemento y arena), luego se agregó la fibra de nylon, con estos tres componentes se tuvo la matriz del panel, el refuerzo en este caso es el poliestireno expandido, el cual se adicionó como partículas, logrando así la tercera minimización. Para realizar la triple optimización se aplicaron los siguientes modelos matemáticos:

### Optimización 1:

Función Objetivo: Minimizar  $\rho_{f_{mortero}} = \rho_{f_{ce}} \cdot V_{ce} + \rho_{f_{ar}} \cdot V_{ar}$

Sujeto a:

Restricción 1:  $250.8 \leq \text{Volumen cemento} \leq 308.68$

Restricción 2:  $233.07 \leq \text{Volumen arena} \leq 286.85$

Restricción 3:  $V_{cemento} + V_{arena} = 1$

Para todo:  $v = \frac{\text{Volumen}_i}{\sum_1^n \text{Volumen}_i}$

$V_{cemento}, V_{arena} \geq 0$

### Optimización 2:

Función Objetivo: Minimizar  $\rho_{f_{matriz}} = \rho_{f_{mortero}} \cdot V_{mortero} + \rho_{f_n} \cdot V_n$

Sujeto a:

Restricción 1:  $250.8 \leq \text{Volumen cemento} \leq 308.68$

Restricción 2:  $233.07 \leq \text{Volumen arena} \leq 286.85$

Restricción 3:  $0.67 \leq \text{Volumen nylon} \leq 2.67$

Restricción 4:  $V_{mortero} = V_{cemento} + V_{arena}$

Restricción 5:  $V_{mortero} + V_{nylon} = 1$

Para todo:  $v = \frac{\text{Volumen}_i}{\sum_1^n \text{Volumen}_i}$

$V_{cemento}, V_{arena}, V_{nylon} \geq 0$

### Optimización 3:

Función Objetivo: Minimizar  $\rho_{fc} = \rho_{f_{matriz}} \cdot V_{matriz} + \rho_{f_{pe}} \cdot V_{pe}$

Sujeto a:

Restricción 1:  $250.8 \leq \text{Volumen cemento} \leq 308.68$

Restricción 2:  $233.07 \leq \text{Volumen arena} \leq 286.85$

Restricción 3:  $0.67 \leq \text{Volumen nylon} \leq 2.67$

Restricción 4:  $266.67 \leq \text{Volumen poliestireno} \leq 866.67$

Restricción 5:  $V_{mortero} = V_{arena} + V_{cemento}$

Restricción 6:  $V_{matriz} = V_{mortero} + V_{nylon}$

Restricción 7:  $V_{matriz} + V_{poliestireno} = 1$

Para todo:  $V = \frac{Volumen_i}{\sum_1^n Volumen_i}$

$V_{cemento}, V_{arena}, V_{nylon}, V_{poliestireno} \geq 0$

La optimización realizada, en este caso minimización, se realizó teniendo en cuenta datos obtenidos del software CES Edupack 10 (poliestireno expandido y nylon), en el caso de la arena, la densidad fue calculada en el Laboratorio de Materiales y Operaciones de la Universidad Católica de Trujillo “Benedicto XVI” y para el cemento, se tomó en cuenta los datos de la ficha técnica del usado, cemento portland tipo I de Cementos Pacasmayo (2016). Todos los datos de densidad se trabajaron en  $[g/cm^3]$

En la Figura N° 11 se observa la optimización realizada con el Solver de Ms. Excel, donde se aplicó el modelo matemático anterior

**Figura N° 11**

*Resultados del cálculo de la densidad*

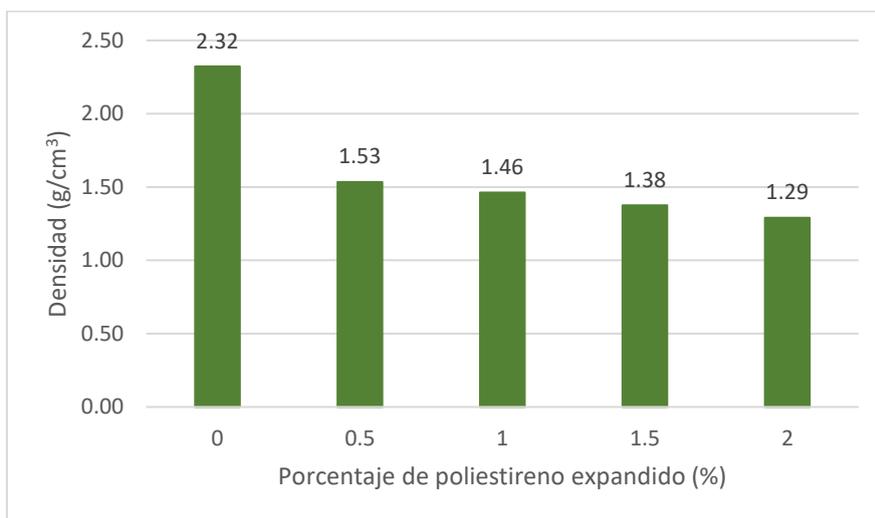
MATERIALES	DENSIDAD	VOLUMEN	FRACCIÓN EN	RESTRICCIONES	
	(g/cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	VOLUMEN	Mínimo	Máximo
Cemento	3.11	250.8	0.52	250.8	308.68
Arena	2.51	233.07	0.48	233.07	286.85
Nylon	1.35	2.67	0.01	0.67	2.67
Poliestireno	0.018	866.67	0.64	266.67	866.67
Mortero	2.82		0.99		
Matriz final	2.81		0.36		
			1.00	1	
Panel	1.02				

*Nota:* Datos obtenidos del software CES Edupack 2010, ficha técnica Cementos Pacasmayo y trabajo de laboratorio. Elaboración propia (2020)

A la vez, en la Figura N° 12 se observa la densidad de los paneles con diferentes porcentajes de poliestireno expandido, obtenidas de manera experimental, se puede observar que las probetas con un 2% de poliestireno expandido tienen los valores más bajos al igual que lo obtenido por el cálculo mediante el Solver de Ms. Excel.

**Figura N° 12**

*Densidad vs porcentaje de poliestireno expandido*



*Nota:* Datos obtenidos experimentalmente. Elaboración propia (2020)

#### **4.1.3. Análisis de la variación de la resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado.**

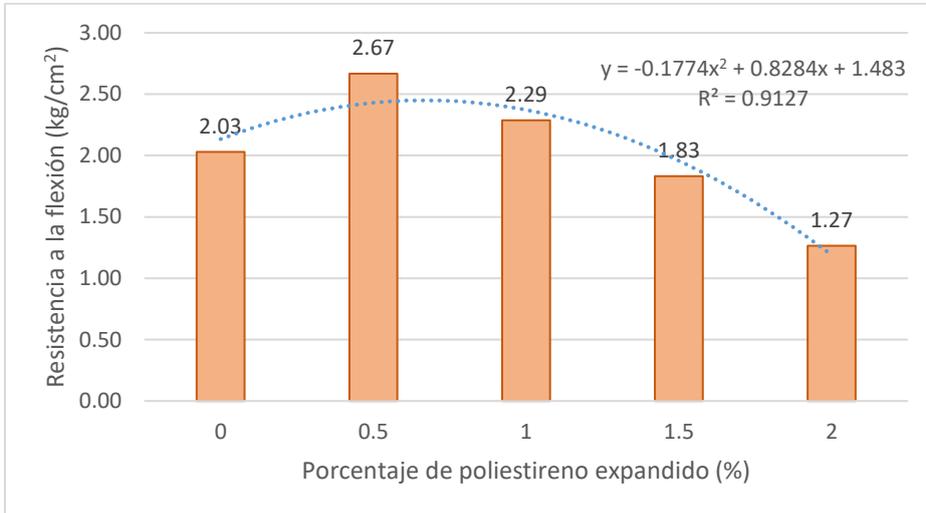
Para realizar el análisis de la variación de la resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado, se procedió a generar una gráfica y trazar la línea de tendencia con la respectiva ecuación que rigen el comportamiento del promedio de los datos obtenidos, a la vez se obtuvo el valor de  $R^2$ , siendo este mayor a 0.9 con lo que se demuestra que los datos obtenidos son cercanos a la línea de regresión generada, esto lo podemos observar en la figura N° 13.

La línea de tendencia generada se rige al comportamiento que presentan los materiales compuestos, se eleva hasta llegar a un punto donde se tiene la mayor propiedad

y luego de eso la propiedad decrece conforme va aumentando el porcentaje de material de refuerzo.

**Figura N° 13**

*Línea de tendencia: resistencia a la flexión vs porcentaje de poliestireno expandido*

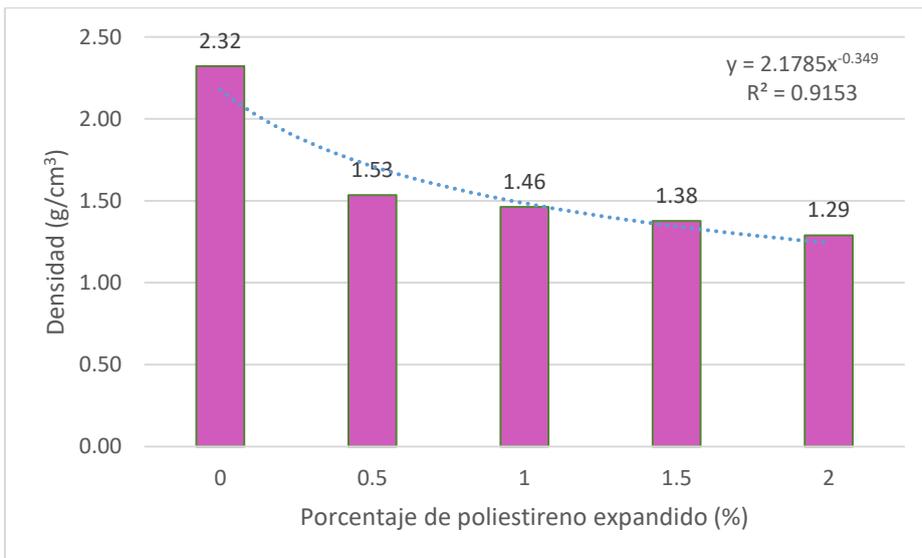


*Nota:* Datos obtenidos experimentalmente. Elaboración propia (2020)

#### 4.1.4. Análisis de la variación de la densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado.

**Figura N° 14**

*Línea de tendencia: densidad vs porcentaje de poliestireno expandido*



*Nota:* Datos obtenidos experimentalmente. Elaboración propia (2020)

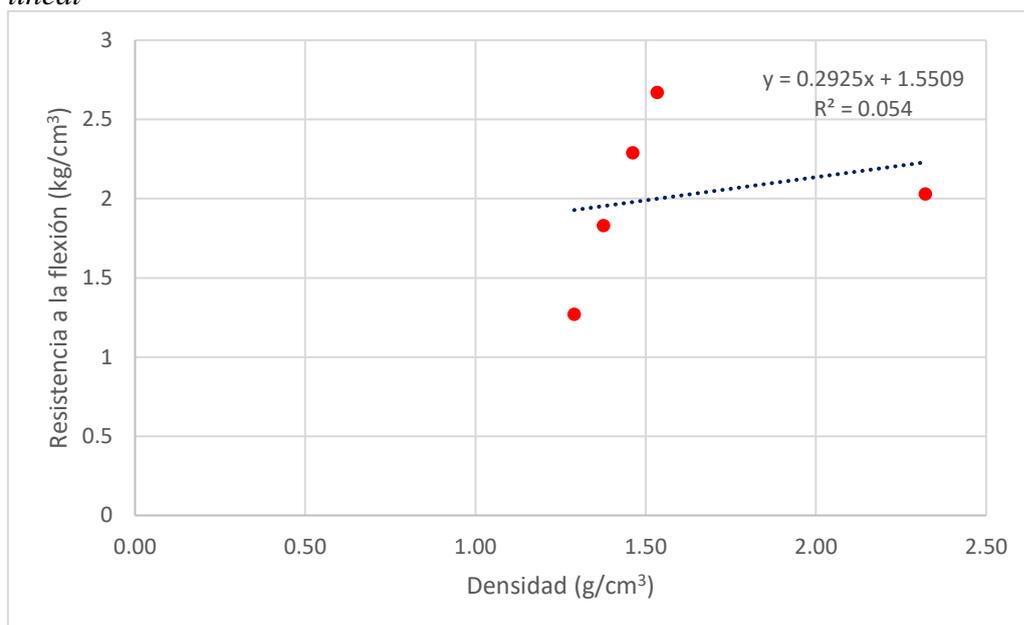
En la figura N° 14 se presenta, tal como se realizó con el resultado anterior, una gráfica con su respectiva línea de tendencia y ecuación, de esta forma se evalúa cómo varía la densidad de los paneles en función al porcentaje de poliestireno expandido adicionado. En este caso, el valor de  $R^2$  es mayor a 0.9 lo que afirma que los datos obtenidos se ajustan a la ecuación generada.

Se puede visibilizar también que conforme aumenta el porcentaje de poliestireno expandido adicionado, la densidad de los paneles disminuye, siendo este el comportamiento esperado ya que el poliestireno expandido es un material con baja densidad.

#### 4.1.5. Evaluación de la correlación existente entre la resistencia a la flexión y densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon

**Figura N°15**

*Relación entre la densidad y resistencia a la flexión de paneles para tabiquería. Tendencia lineal*



*Nota:* Datos obtenidos experimentalmente. Elaboración propia (2020)

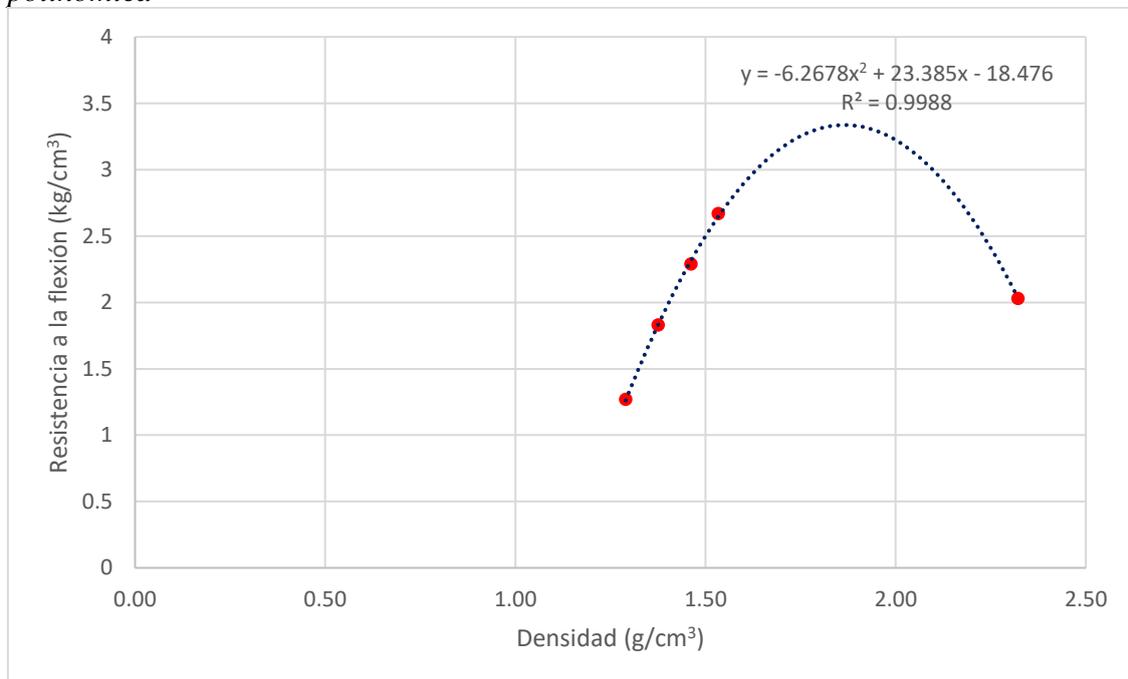
En la figura N° 15 se observa la gráfica generada entre la densidad y la resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon, se ha trazado una línea de tendencia con su respectiva ecuación, a la vez también se ha generado el valor de  $R^2$ , en este caso, el valor de  $R^2$  es un valor bajo (0.054), lo que indica que no existe una

correlación lineal entre la resistencia a la flexión y la densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon.

Por otro lado, en la figura N°16 se observa una línea de tendencia polinómica de grado 2 para el mismo conjunto de datos, acá se puede ver que el valor de  $R^2$  es muy cercano a 1 (0.9988) con lo que se puede decir que los puntos de la gráfica se ajustan perfectamente a la línea de tendencia generada y con esto se afirma que existe una correlación positiva casi perfecta no lineal entre la resistencia a la flexión y la densidad de los paneles evaluados.

### Figura N°16

*Relación entre la densidad y resistencia a la flexión de paneles para tabiquería. Tendencia polinómica*



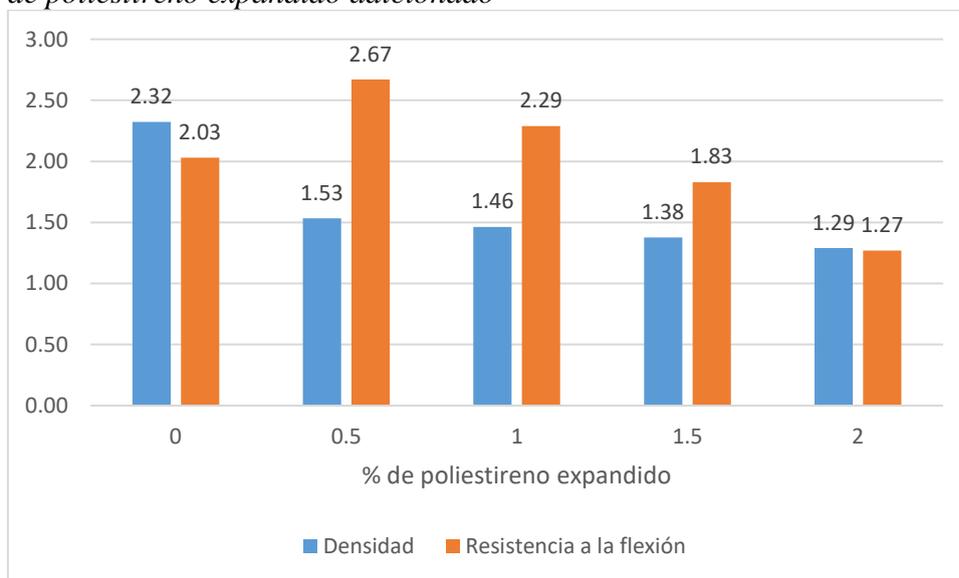
*Nota:* Datos obtenidos experimentalmente. Elaboración propia (2020)

Luego de analizar ambas figuras se tiene que los parámetros medidos no presentan un cambio proporcional en relación uno de otro, es decir que su comportamiento no presenta una tendencia lineal, siendo el modelo que mejor se aplica para describir la relación entre las dos propiedades el polinomial de grado 2.

#### 4.1.6. Determinación de la influencia del porcentaje de poliestireno expandido adicionado sobre las propiedades de paneles para tabiquería reforzados con nylon

**Figura N° 17**

*Densidad y resistencia a la flexión de paneles para tabiquería con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado*



*Nota:* Datos obtenidos experimentalmente. Elaboración propia (2020)

La figura N° 17 muestra las dos propiedades medidas, la resistencia a la flexión y la densidad, con el respectivo porcentaje de poliestireno expandido adicionado, esto nos sirve para poder determinar la influencia del porcentaje de poliestireno expandido adicionado sobre las propiedades ya mencionadas de paneles para tabiquería reforzados con nylon.

En el caso de la densidad se observa que conforme aumenta el porcentaje de poliestireno expandido adicionado, la densidad disminuye con lo que se tiene que es una influencia positiva debido a que lo que se quiere es que la densidad sea la menor posible, sin embargo en el caso de la resistencia a la flexión, inicialmente aumenta al aumentar el porcentaje de poliestireno expandido, llegando a un límite superior, posteriormente esta propiedad decrece conforme aumenta el porcentaje del poliestireno adicionado; por lo que se puede decir que si existe influencia positiva del porcentaje de poliestireno expandido hasta cierto porcentaje (porcentaje idóneo), luego de esto la influencia es negativa.

## **4.2. Prueba de hipótesis**

### **4.2.1. Cálculo del porcentaje de poliestireno expandido con el que se obtiene la mayor resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon.**

Luego de evaluar los resultados obtenidos al aplicar el modelo matemático de maximización y hacer la corrida en el Solver de Ms. Excel, obtenemos que el porcentaje de poliestireno expandido con el que se obtiene la mayor resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon es el 0.5% con una resistencia de 25.30 kg/cm<sup>2</sup>, de esta manera se acepta la hipótesis planteada donde se indicaba que el porcentaje ideal de poliestireno expandido con el que se obtiene la mayor resistencia a la resistencia a la flexión era 0.5%.

### **4.2.2. Cálculo del porcentaje de poliestireno expandido con el que se obtiene la menor densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon.**

Al igual que en el caso anterior, para este resultado no se necesita una prueba de hipótesis estadística ya que se realizó una minimización aplicando un modelo matemático con ayuda del Solver de Ms. Excel, se obtuvo que el porcentaje de poliestireno expandido con el que se obtiene la menor densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon es el 2%, con lo que se acepta la hipótesis planteada.

### **4.2.3. Análisis de la variación de la resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado.**

Para realizar la contrastación de hipótesis se realizó un ANOVA unidireccional para determinar que existe diferencia entre los distintos grupos evaluados y la prueba de Tukey al 0.05% de significancia con la que se puede determinar si la diferencia existente es significativa o no. Se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla N° 10**

*ANOVA para la resistencia a la flexión en kgf/cm<sup>2</sup> de paneles para tabiquería reforzados con nylon respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	16,288	4	4,072	280,927	0,000
Dentro de grupos	1,015	70	0,014		
Total	17,302	74			

*Nota:* tabla elaborada en IBM SPSS (2020)

**Tabla N° 11**

*Prueba de Tukey (medias) para la resistencia a la flexión en kgf/cm<sup>2</sup> de paneles para tabiquería reforzados con nylon respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado*

VAR00001	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
2%	15	1,2693				
1.5%	15		1,8347			
0%	15			2,0307		
1%	15				2,2873	
0.5%	15					2,6653
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 15.000.

*Nota:* tabla elaborada en IBM SPSS (2020)

En la Tabla N° 10 se puede observar los resultados del ANOVA realizado entre los 5 porcentajes de poliestireno expandido evaluados con respecto a la resistencia a la flexión de los paneles de tabiquería, en esta tabla se puede observar que el valor del estadístico F es de 280,927 y que la significancia (Sig.) obtenida es de 0.000% (valor p), siendo menor que la planteada inicialmente de 0,05% ( $\alpha$ ), los valores antes mencionados indican que los grupos (proporciones evaluadas) obtienen resultados diferentes entre sí.

En el caso de la Tabla N° 11 se observa la Prueba de Tukey para medias, esta prueba se realizó con las medias de la resistencia a la flexión obtenidas con los diferentes porcentajes de poliestireno expandido adicionado, se formaron 5 subconjuntos, uno con cada porcentaje.

Con lo antes expuesto se rechaza la hipótesis nula y por ende se acepta la hipótesis alterna, teniendo que, la variación de la resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado es significativa.

#### 4.2.4. Análisis de la variación de la densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado.

Al igual que en el caso anterior se realizó el ANOVA unidireccional para determinar que existe diferencia entre los distintos grupos evaluados, luego de esto, la prueba de Tukey al 0.05% de significancia para determinar si la diferencia existente es significativa o no, finalmente se tuvieron los siguientes resultados:

**Tabla N° 12**

*ANOVA para la densidad en g/cm<sup>3</sup> de paneles para tabiquería reforzados con nylon respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	10,364	4	2,591	339,251	,000
Dentro de grupos	,535	70	,008		
Total	10,898	74			

*Nota:* tabla elaborada en IBM SPSS (2020)

**Tabla N° 13**

*Prueba de Tukey (medias) para la densidad en g/cm<sup>3</sup> de paneles para tabiquería reforzados con nylon respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado*

VAR00001	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
2%	15	1,2900			
1.5%	15	1,3760	1,3760		
1%	15		1,4620	1,4620	
0.5%	15			1,5340	
0%	15				2,3220
Sig.		,065	,065	,172	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 15.000.

*Nota:* tabla elaborada en IBM SPSS (2020)

En la Tabla N° 12 se presentan los resultados del ANOVA realizado entre los 5 porcentajes de poliestireno expandido evaluados con respecto a la densidad de los paneles de tabiquería, aquí se puede observar que la significancia (Sig.) obtenida es de 0.000% (valor p), siendo menor que la planteada inicialmente de 0,05% ( $\alpha$ ), de igual manera se tiene un valor de estadístico F de 339,251, con lo que se comprueba que los grupos son diferentes entre si

En la Tabla N°13 se observa la prueba de Tukey para medias, esta prueba se realizó con las medias de las densidades obtenidas con los distintos porcentajes de poliestireno expandido adicionado, se formaron 4 subconjuntos, es decir, teniendo que 1 de los 4 grupos es diferente significativamente con respecto a los demás, por otro lado en los 3 restantes, cada uno de ellos tiene dos porcentajes que no son diferentes significativamente entre sí, sin embargo se puede decir que por lo menos 3 de los 5 porcentajes tienen valores de densidad significativamente diferentes uno con respecto del otro.

Con lo antes expuesto se rechaza la hipótesis nula, siendo que si existe diferencia significativa en la variación de la densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado

#### **4.2.5. Evaluación de la correlación existente entre la resistencia a la flexión y la densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon**

Para el caso de la evaluación de la correlación existente entre la resistencia a la flexión y la densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon se utilizaron dos pruebas estadísticas, correlación de Pearson y correlación de Spearman, la primera se utilizó para analizar la correlación lineal entre la resistencia a la flexión y la densidad de paneles y la segunda para analizar la correlación no lineal (monótona) entre los parámetros indicados.

En la Tabla N° 14 se puede observar los resultados del análisis de correlación de Pearson, se tiene como resultado que el valor de la correlación es 0.229 con lo que se demuestra que no existe una correlación lineal de los parámetros evaluados

**Tabla N° 14**

*Correlación de Pearson para la resistencia a la flexión y densidad de paneles de tabiquería reforzados con nylon*

		Densidad	Res_flex
Densidad	Correlación de Pearson	1	,229
	Sig. (unilateral)		,356
	N	5	5
Res_flex	Correlación de Pearson	,229	1
	Sig. (unilateral)	,356	
	N	5	5

*Nota:* tabla elaborada en IBM SPSS (2020)

En la Tabla N° 15 se tienen los resultados del análisis de correlación de Spearman, en este caso el valor de la correlación es de 0.700 con lo que se tiene una correlación positiva entre los parámetros evaluados, tener en cuenta que esta correlación es no lineal, es decir que los parámetros no presentan un cambio proporcional una en la otra, sin embargo al no ser un valor alto de correlación se tuvo que realizar el análisis gráfico (figura N°16) donde se obtuvo un valor de  $R^2$  alto (0.9988) con lo que se acepta que si existe una correlación positiva no lineal entre los parámetros medidos.

**Tabla N° 15**

*Correlación de Spearman para la resistencia a la flexión y densidad de paneles de tabiquería reforzados con nylon*

			Densidad	Res_flex
Rho de Spearman	Densidad	Coefficiente de correlación	1,000	,700
		Sig. (unilateral)	.	,094
		N	5	5
	Res_flex	Coefficiente de correlación	,700	1,000
		Sig. (unilateral)	,094	.
		N	5	5

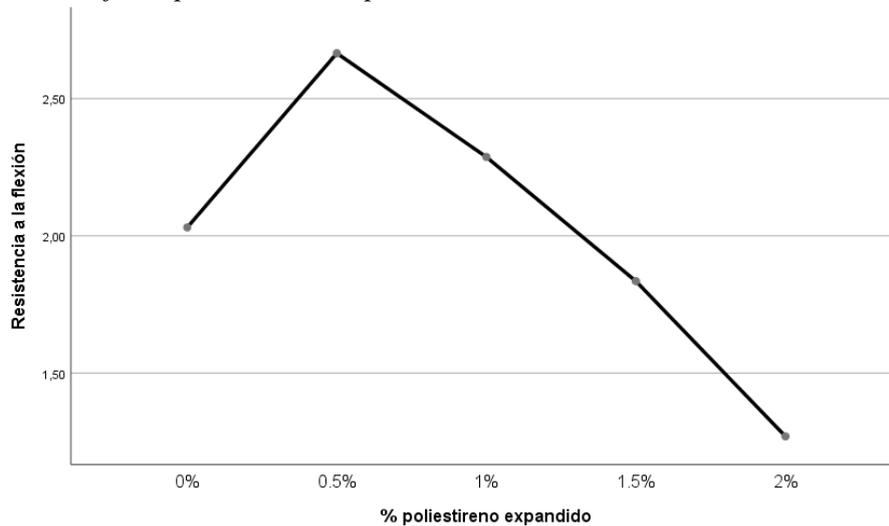
*Nota:* tabla elaborada en IBM SPSS (2020)

Con lo antes mencionado, se observa que existe correlación positiva entre la resistencia a la flexión y la densidad de paneles de tabiquería reforzados con nylon, siendo esta una correlación no lineal, por lo que se rechaza la hipótesis nula.

#### 4.2.6. Determinación del porcentaje de poliestireno expandido que optimice las propiedades de paneles para tabiquería reforzados con nylon

**Figura N° 18**

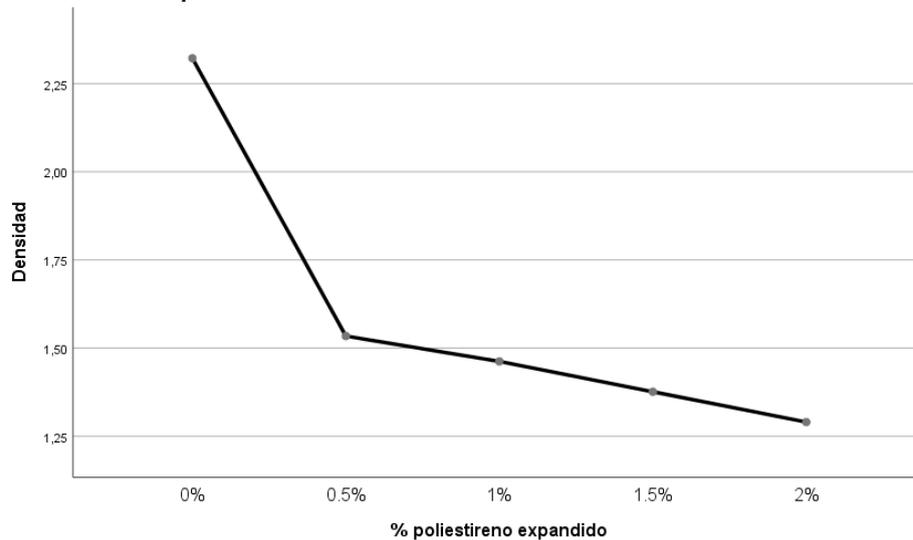
*Variación de la resistencia a la flexión de paneles para tabiquería con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado*



*Nota:* gráfica elaborada en IBM SPSS (2020)

**Figura N° 19**

*Variación de la densidad de paneles para tabiquería con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado*



*Nota:* gráfica elaborada en IBM SPSS (2020)

En la figura N° 18 se observa la variación de la resistencia a la flexión de paneles para tabiquería con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado, se puede observar que inicialmente presenta un aumento de la resistencia a la flexión y posteriormente esta va descendiendo, todo esto conforme aumenta el porcentaje de poliestireno expandido adicionado, este es un comportamiento esperado, debido a que es una característica que poseen todos los materiales compuestos.

Por otro lado, en la figura N° 19 se aprecia la variación de la densidad de paneles para tabiquería con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado, acá se observa claramente que la densidad disminuye conforme aumenta el porcentaje de poliestireno que se adiciona, es decir, es una variación positiva ya que lo que se quiere en este tipo de materiales es que la densidad sea la menor posible.

Luego de observar las figuras N° 18 y N° 19 así como las tablas N° 11 y N° 13 (pruebas de Tukey para ambas propiedades) se puede decir que si existe una influencia significativa y positiva del porcentaje de poliestireno expandido adicionado sobre la resistencia a la flexión y densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon, con esto rechaza la hipótesis nula; vale la pena indicar que en el caso de la resistencia a la flexión, es positiva hasta cierto porcentaje, pero aun así se toma como positiva ya que es un comportamiento inherente de los materiales compuestos.

#### **4.3. Discusión de resultados**

- El resultado obtenido mediante el Solver del Ms. Excel genera una resistencia a la flexión de 25.30 kg/cm<sup>2</sup> y que pertenece al 0.5% de poliestireno expandido añadido, este valor de resistencia es muy cercano al obtenido por Ñaupá (2018) quien obtuvo una resistencia de 32.14 kg/cm<sup>2</sup>, sin embargo utilizó un 40% de adición de poliestireno. Por otro lado, el porcentaje obtenido con la herramienta Solver, confirma el porcentaje obtenido experimentalmente en el laboratorio, sin embargo, la resistencia a la flexión obtenida vía Solver es un 89.45% más elevado que la mayor resistencia a la flexión obtenida experimentalmente (2.67 kg/cm<sup>2</sup>)

- El porcentaje de poliestireno expandido con el que se obtiene la menor densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon es el 2%, obteniendo un 1.02 g/cm<sup>3</sup> de densidad; el resultado obtenido es muy cercano a los valores obtenidos por Rodríguez (2017) quien luego de su investigación logro densidades de 1.2, 1.4 y 1.6 g/cm<sup>3</sup>. A la vez, el porcentaje obtenido mediante Solver coincide con lo obtenido en el laboratorio, siendo la densidad experimental (1.27 g/cm<sup>3</sup>) un 19.68% mayor que la densidad obtenida mediante modelo matemático.
- El comportamiento observado en cuanto a la variación de la resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado nos permite verificar lo indicado por Askeland y Wright (2016) quienes indican que todos los materiales compuestos poseen un porcentaje de “saturación” donde se obtiene la propiedad máxima, luego de este punto, conforme se aumente el porcentaje de refuerzo en la matriz, disminuye el valor de la propiedad.
- Al analizar la variación de la densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado se observa que, al aumentar el porcentaje de poliestireno expandido, la densidad disminuye, esto coincide con lo encontrado por Rodríguez (2017) y por Reyes y Torres (2020), quienes conforme aumentaban el porcentaje de poliestireno, veían que la densidad de sus probetas disminuía.
- Al evaluar la correlación existente entre la resistencia a la flexión y la densidad de paneles reforzados con nylon se realizó un análisis tanto lineal como no lineal de la correlación existente (correlación de Pearson y correlación de Spearman respectivamente), teniendo que, existe correlación no lineal entre los parámetros medidos.
- La influencia del porcentaje de poliestireno expandido adicionado es positiva en cuanto a la densidad de los paneles para tabiquería reforzados con nylon, esto concuerda con Rodríguez (2017) quien encontró que conforme aumentaba el porcentaje de poliestireno, la densidad de sus probetas disminuía, lo cual es el comportamiento esperado para esta propiedad. En el caso de la resistencia a la

flexión, el comportamiento obtenido está de acuerdo a lo indicado por Askeland y Wright (2016), sin embargo, no concuerda con lo encontrado por Reyes y Torres (2020) quienes indican que conforme aumenta el porcentaje de poliestireno expandido la resistencia a la flexión disminuye.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

#### 5.1. Conclusiones

1. Se determinó la influencia del porcentaje de poliestireno expandido adicionado sobre la resistencia a la flexión y densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon, teniendo que es una influencia positiva y significativa para ambos casos.
2. Se calculó el porcentaje de poliestireno expandido con el que se obtiene la mayor resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon, teniendo que al aplicar el modelo matemático con ayuda del Solver de Ms. Excel se obtiene que con el 0.5% se obtiene  $25.30 \text{ kg/cm}^2$  de resistencia a la flexión
3. Se calculó el porcentaje de poliestireno expandido con el que se obtiene la menor densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon siendo que se obtuvo  $1.02 \text{ g/cm}^3$  de densidad al adicionar 2% de poliestireno expandido
4. Se analizó la variación de la resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado, teniendo que es una variación significativa entre todos los porcentajes y que presenta un comportamiento variable conforme aumenta el porcentaje de poliestireno adicionado ya que inicialmente se incrementa la resistencia a la flexión, hasta llegar a un porcentaje ideal, y luego de esto la resistencia a la flexión disminuye.
5. Se evaluó la correlación existente (lineal y no lineal) entre la resistencia a la flexión y la densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon teniendo que existe una correlación positiva entre estos parámetros, sin embargo, al momento de realizar el análisis de correlación lineal se tiene que no existe correlación, pero si existe correlación no lineal, teniendo que el modelo que mejor se ajusta al comportamiento de estos es el polinómico de grado 2, con una correlación positiva alta ( $R^2 = 0.9988$ )

6. Se analizó la variación de la densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado, en este caso 1 de los 4 grupos (2%) es diferente significativamente con respecto a los demás, por otro lado en los 3 restantes, cada uno de ellos tiene dos porcentajes que no son diferentes significativamente entre sí, sin embargo se puede decir que por lo menos 3 de los 5 porcentajes tienen valores de densidad significativamente diferentes uno con respecto del otro; por otro lado el comportamiento de las probetas nos indica que al aumentar el porcentaje de poliestireno expandido, la densidad de estas disminuye.

## 5.2. Sugerencias

- Implementar un manómetro digital en la prensa hidráulica, para que la medición de los resultados de resistencia a la flexión se realice con mayor exactitud
- Continuar la investigación, teniendo en cuenta porcentajes entre 0.5 y 1% ya que experimentalmente es donde se encuentra el pico superior en cuanto a la resistencia a la flexión de los paneles.
- Construir un muro aplicando los paneles elaborados para poder estudiar su resistencia a los diversos factores climáticos, así como poder estudiar las diversas tecnologías constructivas que se podrían aplicar para la construcción con estos paneles.
- Realizar próximos ensayos con mayor cantidad de muestras, así se puede realizar un mejor análisis estadístico de estos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### TESIS

- Alvares, M. y Meca, I. (2019). *Diseño de unidades de albañilería de concreto liviano a base de poliestireno expandido, Piura- 2018* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo] Repositorio digital institucional UCV.  
<http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/31998>
- Coro, M. (2014). *Determinación del módulo de rotura en vigas de hormigón, fabricado con materiales procedentes de la cantera san roque, para  $f'c = 28$  MPa.* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Madrid] Repositorio Institucional UPM.  
[http://oa.upm.es/4514/1/TESIS\\_MASTER\\_JOEL\\_NOVAS\\_CABRERA.pdf](http://oa.upm.es/4514/1/TESIS_MASTER_JOEL_NOVAS_CABRERA.pdf)
- Giron, F. (2014). *Uso y aplicación del método constructivo electropanel* [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala] Repositorio Institucional USAC. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02\\_3738.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02_3738.pdf)
- Novas, J. (2010). *Sistemas constructivos prefabricados aplicables a la construcción de edificaciones en países en desarrollo* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Madrid] Repositorio Institucional UCE.  
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2574/1/T-UCE-0011-89.pdf>
- Ñaupá, M. (2018). *Evaluación de la calidad y costo de bloques de cemento con perlitas de poliestireno como alternativa en muros de albañilería en viviendas multifamiliares de la ciudad de Ayacucho* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga] Repositorio institucional UNSCH.  
<http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3572>
- Quesquén, K. (2019). *El sistema Drywall como alternativa constructiva sostenible en edificaciones de viviendas en el distrito de Chiclayo – Lambayeque* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo] Repositorio Institucional UNT.  
<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/14375>
- Reyes, V. y Torres, H. (2020). *Mortero modificado con poliestireno como aislante térmico, para revestimiento de muros* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]

Repositorio digital institucional UCV.

<http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/44717>

Rodríguez, H. (2017). *Concreto liviano a base de poliestireno expandido para la prefabricación de unidades de albañilería no estructural - Cajamarca* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca] Repositorio digital institucional UNC.

<http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/999>

Rubio, A. (2010). *La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los alcornocales* [Tesis de pregrado, Universidad de Sevilla] Repositorio Institucional US.

<https://digital.csic.es/bitstream/10261/57951/1/La%20densidad%20aparente%20en%20suelos%20forestales%20.pdf>

Saavedra, J. (2016). *Análisis comparativo de tiempo y costo de la construcción de una vivienda con el sistema tradicional versus una vivienda con el sistema drywall* [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil] Repositorio Institucional UG.

[http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/16610/1/SAAVEDRA\\_JHONATHAN\\_TRABAJO\\_TITULACION\\_GENERALES\\_INGENIERIA\\_DICIEMBRE\\_2016.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/16610/1/SAAVEDRA_JHONATHAN_TRABAJO_TITULACION_GENERALES_INGENIERIA_DICIEMBRE_2016.pdf)

## **ARTÍCULOS CIENTÍFICOS**

Alonso, F., Castellanos, J., Cruz, J., López, A., Grajales, J. y Samayoa, I. (2020). Estudio técnico para el uso de paneles de concreto ligero de EPS reciclado para sistemas de losa. *Espacio I+D, Innovación Más Desarrollo*, 9(24), 84-100.

<https://doi.org/10.31644/IMASD.24.2020.a05>

Carrillo, J., Echeverri, F. y Aperador, W. (2015). Evaluación de los costos de construcción de sistemas estructurales para viviendas de baja altura y de interés social. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, XVI (4), 479-490. doi:10.1016/j.riit.2015.09.001

Monjo, J. (2005). La evolución de los sistemas constructivos en la edificación. procedimientos para su industrialización. *Informes de la Construcción*, 57(1), 37-54.

[https://www.researchgate.net/publication/26524629\\_La\\_evolucion\\_de\\_los\\_sistemas\\_constructivos\\_en\\_la\\_edificacion\\_Procedimientos\\_para\\_su\\_industrializacion](https://www.researchgate.net/publication/26524629_La_evolucion_de_los_sistemas_constructivos_en_la_edificacion_Procedimientos_para_su_industrializacion)

Orozco, E. (2008). Notas sobre materiales, técnicas y sistemas constructivos. *Tecnología y construcción*, 24(1), 09-17.

[http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev\\_tc/article/view/2615/2509](http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_tc/article/view/2615/2509)

Spadea, S., Fraternali, F. y Farina, I. (2015). Recycled nylon fibers as cement mortar reinforcement. *Construction and Building Materials*, 80, 200-209.

[https://www.researchgate.net/publication/266147378\\_Recycled\\_nylon\\_fibers\\_as\\_cement\\_mortar\\_reinforcement](https://www.researchgate.net/publication/266147378_Recycled_nylon_fibers_as_cement_mortar_reinforcement)

## **LIBROS**

Abanto, F. (2009). *Tecnología del concreto*. San Marcos.

Askeland, D. y Wright, W. (2016). *The science and engineering of materials (6ta Ed.)*. Cengage Learning.

Cervera, R. y Blanco, E. (2001). *Mecánica de estructuras*. Edicions UPC

De Olarte, J., Linares, E., Rodríguez, J., y Jiménez, F. (2003). *Base de Datos de sistemas constructivos para edificaciones en el Perú*. UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS.

Fernández, M. (2012). *Hormigón*. Ibergarceta Publicaciones

Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto. (2009). *Manual de consejos prácticos sobre el concreto*. ASOCRETO.

Schmitt, h. (1978). *Tratado de la construcción. Elementos estructurales y reglas fundamentales de la construcción (6ta Ed)*. Editorial Gustavo Gil S.A.

Krenchel, H. (1964). *Fibre Reinforcement*, Copenague: Akademisk Forlag.

Osorio, J. D. (2004). *Manual de control de calidad del concreto en la obra*. Asocreto.

Pasquel, E. (1998). *Tópicos de tecnología del concreto en el Perú (2nd Ed.)*. Mc Graw-Hill.

Portland Cement Association (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Portland Cement Association.

Torre, T. (2004). *Curso básico de tecnología del concreto*. Trillas.

## **NORMAS**

ACI 213R-03. (2003). *Guide for structural lightweight – Aggregate concrete*. Michigan, Estados Unidos: ACI.

ASTM C 330. (2011). *Lightweight Aggregates for Structural Concrete*. ASTM International.

ASTM D 3043-17 (2017). *Standard Test Methods for Structural Panels in Flexure*. ASTM International.

NTP 334.009. (2013). *Cemento: Cemento portland* (5ta Ed.). Inacal.

NTP 334.090. (2013). *Cementos: Cementos portland adicionados* (5ta Ed.). Inacal.

NTP 334.082. (2008). *Cementos: Cementos portland. Especificaciones de la performance* (3ra Ed.). Inacal.

NTP 400.011. (2008). *Agregados: Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos)* (2da Ed.). Inacal.

NTP 400.037 (2014). *Agregados: Especificaciones para agregados en concreto* (3ra Ed.). Inacal.

NTP 339.078 (2012). *Concreto. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo* (3ra Ed.). Inacal.

NTP 339.079 (2012). *Concreto. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas en el centro del tramo* (3ra Ed.). Inacal.

RNE E.070 (2006). *ALBAÑILERÍA*. Instituto de la Construcción y Gerencia [ICG].

## DIRECCIONES ELECTRONICAS

Alonso, J. (2010). *Propiedades físicas: densidad y porosidad*.

[https://www.researchgate.net/publication/237009661\\_PROPIEDADES\\_FISICAS\\_DENSIDAD\\_Y\\_POROSIDAD](https://www.researchgate.net/publication/237009661_PROPIEDADES_FISICAS_DENSIDAD_Y_POROSIDAD)

Asociación de productores de cemento (2015). *La sostenibilidad de concreto como beneficio para la sociedad*. <http://www.asocem.org.pe/productos-b/la-sostenibilidad-de-concreto-como-beneficio-para-la-sociedad>

Banco Interamericano de Desarrollo (2018). *Vivienda ¿Qué viene?: de pensar la unidad a construir la ciudad*.

[https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Vivienda\\_Qu%C3%A9\\_viene\\_de\\_pensar\\_la\\_unidad\\_a\\_construir\\_la\\_ciudad.pdf](https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Vivienda_Qu%C3%A9_viene_de_pensar_la_unidad_a_construir_la_ciudad.pdf)

Cervantes, A. (2008). *Nuevas tecnologías en Concretos. Concreto celular, concreto reforzado con fibra y concreto ligero estructural*.

[https://administracionytecnologiaparaeldisenio.azc.uam.mx/publicaciones/memorias\\_cong2008/10.pdf](https://administracionytecnologiaparaeldisenio.azc.uam.mx/publicaciones/memorias_cong2008/10.pdf)

Cementos Pacasmayo (2016). *Cemento Pacasmayo Tipo I*.

<https://www.sodimac.com.pe/static/pdf/1402579.pdf>

Cemex. (2018). *Uso del concreto ligero*. <http://cemexparaindustriales.com/uso-del-concreto-ligero/>

Gonzales, J (2007). *Densidad relativa*.

<http://www.tiemporeal.es/archivos/DensidadRelativa.pdf>

Dificonsa. (2015). *Concreto ligero estructural*. <https://www.dificonsa.com/concreto-ligero/>

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017). *Perú: Perfil sociodemográfico*.

[https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1539/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1539/libro.pdf)

Lara, A. (2009). *Ensayo de flexión*. <https://rodas5.us.es/items/202507ce-80cd-de00-adeb-3cfc45af189d/2/>

Mas, V. (2012). *Hormigón ligero*.

<http://www.hormigonespecial.com/archivos/publicaciones/archivo-00010.pdf>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2003). *Sistema constructivo en seco*

*Eternit*. [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/21332/RM\\_400-2017VIVIENDA.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/21332/RM_400-2017VIVIENDA.pdf)

National Ready Mixed Concrete Association (2017). *Resistencia a la flexión del concreto*.

<https://concretesupplyco.com/wp-content/uploads/2017/01/16pes.pdf>

National Ready Mixed Concrete Association (2003). *Structural lightweight concrete*.

<https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/36p.pdf>

Pérez, J. (2013). *Paneles prefabricados*. <https://definicion.de/prefabricado/>

Rivera, G. (2013). *Concreto simple*.

<https://inforcivilonline.wordpress.com/2015/05/23/concreto-simple-ing-gerardo-a-rivera-l/>

Roca (2009). *El drywall. Conveniencia de su uso en infraestructura física de los centros asistenciales de Essalud*

<http://www.essalud.gob.pe/empresarial/salud/boltecno32.pdf>

Rocha, H. y Viteri, E. (2005). *Ensayo de flexión en vigas análisis teórico y simulado*.

<https://www.yumpu.com/es/document/read/62854342/ensayo-de-flexion-informe-5>

Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (2020). *Sistemas constructivos no convencionales vigentes*.

[https://drive.google.com/file/d/1mp7Zl4m-E4g4KuZk\\_YSDdoNxqHZwxh57/view](https://drive.google.com/file/d/1mp7Zl4m-E4g4KuZk_YSDdoNxqHZwxh57/view)

Sundolit. (2007). *Poliestireno Expandido*.

[http://www.sundolitt.es/download.aspx?object\\_id=4BCFE258DD1E4AB3B4F0FA8BA5DE434F.pdf](http://www.sundolitt.es/download.aspx?object_id=4BCFE258DD1E4AB3B4F0FA8BA5DE434F.pdf)

Valdez, L., Suárez, G. y Proaño G. (2010). *Hormigones livianos*. [https://concrete-](https://concrete-chip.webnode.es/_files/200000069-6033c612a5/Paper8.pdf)

[chip.webnode.es/\\_files/200000069-6033c612a5/Paper8.pdf](https://concrete-chip.webnode.es/_files/200000069-6033c612a5/Paper8.pdf)

# ANEXOS

## Anexo N°1: Matriz de consistencia

TITULO	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	DIMENSIONES	METODOLOGÍA
Influencia del porcentaje de poliestireno expandido adicionado sobre las propiedades de paneles para tabiquería reforzados con nylon.	<b>Problema general</b>	<b>Hipótesis General</b>	<b>Objetivo General</b>	Porcentaje de poliestireno expandido	Cantidad de material	<b>Tipo</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cuál es la influencia del porcentaje de poliestireno expandido adicionado sobre propiedades de paneles para tabiquería reforzados con nylon?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>H0: No existe influencia significativa del porcentaje de poliestireno expandido adicionado sobre las propiedades de paneles para tabiquería reforzados con nylon.</li> <li>H1: Si existe influencia significativa y positiva del porcentaje de poliestireno expandido adicionado sobre las propiedades de paneles para tabiquería reforzados con nylon.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar la influencia del porcentaje de poliestireno expandido adicionado sobre las propiedades de paneles para tabiquería reforzados con nylon.</li> </ul>			Aplicada - Cuantitativa - Experimental
	<b>Problemas específicos</b>	<b>Hipótesis Especifica</b>	<b>Objetivos específicos</b>	Propiedades	Propiedad mecánica	<b>Diseño</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cuál es el porcentaje de poliestireno expandido con el que se obtiene la mayor resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon?</li> <li>¿Cuál es el porcentaje de poliestireno expandido con el que se obtiene la menor densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon?</li> <li>¿Cómo varía la resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>H0: No existe un porcentaje con el que se obtiene la mayor resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon.</li> <li>H1: El porcentaje de poliestireno expandido con el que se obtiene la mayor resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon es 0.5%.</li> <li>H0: No existe un porcentaje con el que se obtiene la menor densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon.</li> <li>H1: El porcentaje de poliestireno expandido con el que se obtiene la menor densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon es 2%.</li> <li>H0: La variación de la resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado no es significativa.</li> <li>H1: La variación de la resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado es significativa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calcular el porcentaje de poliestireno expandido con el que se obtiene la mayor resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon.</li> <li>Calcular el porcentaje de poliestireno expandido con el que se obtiene la menor densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon.</li> <li>Analizar la variación de la resistencia a la flexión de paneles para tabiquería reforzados con nylon con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado.</li> </ul>			post-test
				Propiedad física	<b>Población y muestra</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cómo varía de la densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado?</li> <li>¿Existe correlación entre la resistencia a la flexión y la densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>H0: La variación de la densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado no es significativa.</li> <li>H1: La variación de la densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado es significativa.</li> <li>H0: No existe correlación entre la resistencia a la flexión y la densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon.</li> <li>H1: Si existe correlación entre la resistencia a la flexión y la densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analizar la variación de la densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon con respecto al porcentaje de poliestireno expandido adicionado.</li> <li>Evaluar la correlación existente entre la resistencia a la flexión y la densidad de paneles para tabiquería reforzados con nylon.</li> </ul>		<p>75 especímenes de paneles de 30x30x1.27 cm, con respecto a norma ASTM D3043-17, de las cuales se dividieron en 5 grupos con 15 paneles por cada porcentaje a estudiar.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0% de EPS (15 paneles)</li> <li>0.5% de EPS (15 paneles)</li> <li>% de EPS (15 paneles)</li> <li>1.5% de EPS (15 paneles)</li> <li>2.0% de EPS (15 paneles)</li> </ul>	
						<b>Métodos de análisis de Investigación</b>
						ANOVA unidireccional, Prueba de Tukey y prueba de Correlación.

## Anexo N°2: Registro fotográfico



Tamizado de arena



Uniformizando el poliestireno



Elaboración de mezcla para paneles



Vaciado de mezcla en paneles



Elaboración de paneles para tabiquería



Paneles con poliestireno expandido



Peso de paneles



Ensayo de resistencia a la flexión



Paneles ensayados

## Anexo N°3: Análisis estadísticos con SPSS

```

ONEWAY VAR00002 BY VAR00001
  /STATISTICS DESCRIPTIVES
  /PLOT MEANS
  /MISSING ANALYSIS
  /POSTHOC=TUKEY ALPHA(0.05) .

```

## Unidireccional

### Descriptivos

VAR00002

	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo
					Límite inferior	Límite superior	
0%	15	2,0307	,09852	,02544	1,9761	2,0852	1,90
0.5%	15	2,6653	,08959	,02313	2,6157	2,7149	2,46
1%	15	2,2873	,10539	,02721	2,2290	2,3457	2,11
1.5%	15	1,8347	,12817	,03309	1,7637	1,9056	1,55
2%	15	1,2693	,16494	,04259	1,1780	1,3607	,84
Total	75	2,0175	,48355	,05584	1,9062	2,1287	,84

### Descriptivos

VAR00002

	Máximo
0%	2,18
0.5%	2,74
1%	2,46
1.5%	1,97
2%	1,55
Total	2,74

## ANOVA

VAR00002

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	16,288	4	4,072	280,927	,000
Dentro de grupos	1,015	70	,014		
Total	17,302	74			

## Pruebas post hoc

### Comparaciones múltiples

Variable dependiente: VAR00002

HSD Tukey

(I) VAR00001	(J) VAR00001	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
0%	0.5%	-,63467*	,04396	,000	-,7578	-,5116
	1%	-,25667*	,04396	,000	-,3798	-,1336
	1.5%	,19600*	,04396	,000	,0729	,3191
	2%	,76133*	,04396	,000	,6382	,8844
0.5%	0%	,63467*	,04396	,000	,5116	,7578
	1%	,37800*	,04396	,000	,2549	,5011
	1.5%	,83067*	,04396	,000	,7076	,9538
	2%	1,39600*	,04396	,000	1,2729	1,5191
1%	0%	,25667*	,04396	,000	,1336	,3798
	0.5%	-,37800*	,04396	,000	-,5011	-,2549
	1.5%	,45267*	,04396	,000	,3296	,5758
	2%	1,01800*	,04396	,000	,8949	1,1411
1.5%	0%	-,19600*	,04396	,000	-,3191	-,0729
	0.5%	-,83067*	,04396	,000	-,9538	-,7076
	1%	-,45267*	,04396	,000	-,5758	-,3296
	2%	,56533*	,04396	,000	,4422	,6884
2%	0%	-,76133*	,04396	,000	-,8844	-,6382
	0.5%	-1,39600*	,04396	,000	-1,5191	-1,2729
	1%	-1,01800*	,04396	,000	-1,1411	-,8949
	1.5%	-,56533*	,04396	,000	-,6884	-,4422

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

## Subconjuntos homogéneos

### VAR00002

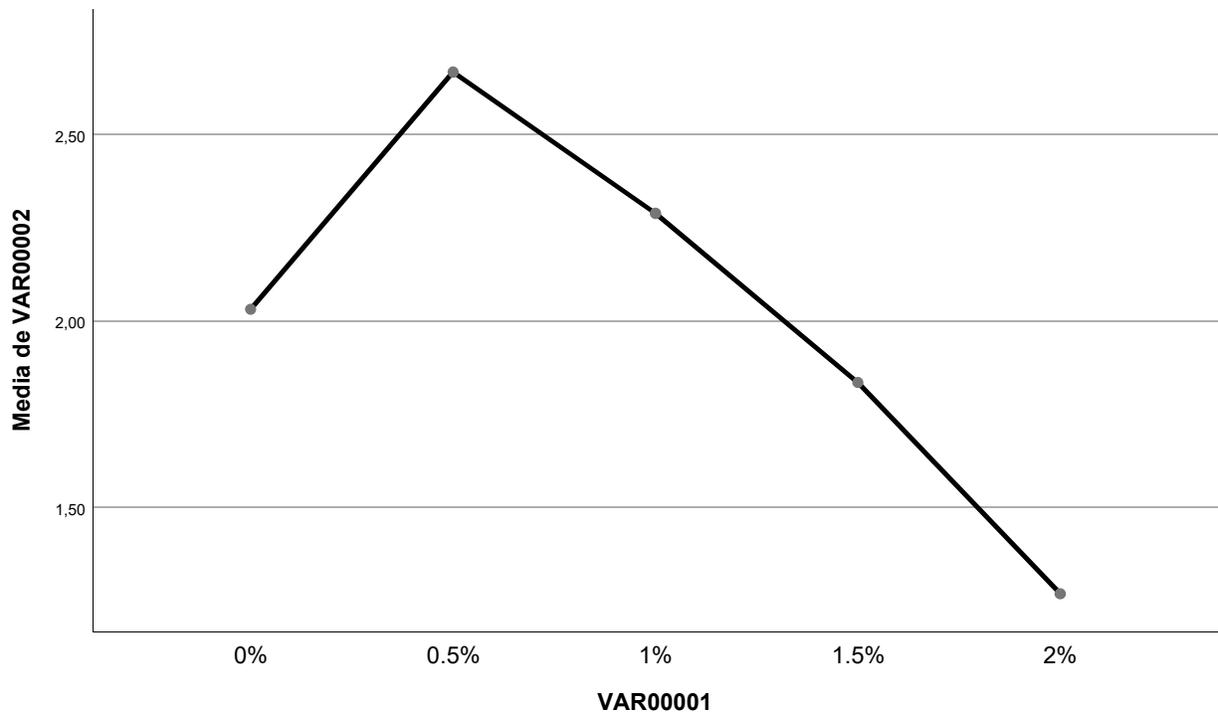
HSD Tukey<sup>a</sup>

VAR00001	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
2%	15	1,2693				
1.5%	15		1,8347			
0%	15			2,0307		
1%	15				2,2873	
0.5%	15					2,6653
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 15,000.

## Gráficos de medias



```

ONEWAY VAR00002 BY VAR00001
  /STATISTICS DESCRIPTIVES
  /PLOT MEANS
  /MISSING ANALYSIS
  /POSTHOC=TUKEY ALPHA(0.05) .

```

## Unidireccional

### Descriptivos

VAR00002

	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo
					Límite inferior	Límite superior	
0%	15	2,3220	,19321	,04989	2,2150	2,4290	2,15
0.5%	15	1,5340	,01765	,00456	1,5242	1,5438	1,51
1%	15	1,4620	,01612	,00416	1,4531	1,4709	1,43
1.5%	15	1,3760	,00737	,00190	1,3719	1,3801	1,37
2%	15	1,2900	,01512	,00390	1,2816	1,2984	1,27
Total	75	1,5968	,38376	,04431	1,5085	1,6851	1,27

### Descriptivos

VAR00002

	Máximo
0%	2,95
0.5%	1,56
1%	1,49
1.5%	1,39
2%	1,31
Total	2,95

## ANOVA

VAR00002

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	10,364	4	2,591	339,251	,000
Dentro de grupos	,535	70	,008		
Total	10,898	74			

## Pruebas post hoc

### Comparaciones múltiples

Variable dependiente: VAR00002

HSD Tukey

(I) VAR00001	(J) VAR00001	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
0%	0.5%	,78800*	,03191	,000	,6986	,8774
	1%	,86000*	,03191	,000	,7706	,9494
	1.5%	,94600*	,03191	,000	,8566	1,0354
	2%	1,03200*	,03191	,000	,9426	1,1214
0.5%	0%	-,78800*	,03191	,000	-,8774	-,6986
	1%	,07200	,03191	,172	-,0174	,1614
	1.5%	,15800*	,03191	,000	,0686	,2474
	2%	,24400*	,03191	,000	,1546	,3334
1%	0%	-,86000*	,03191	,000	-,9494	-,7706
	0.5%	-,07200	,03191	,172	-,1614	,0174
	1.5%	,08600	,03191	,065	-,0034	,1754
	2%	,17200*	,03191	,000	,0826	,2614
1.5%	0%	-,94600*	,03191	,000	-1,0354	-,8566
	0.5%	-,15800*	,03191	,000	-,2474	-,0686
	1%	-,08600	,03191	,065	-,1754	,0034
	2%	,08600	,03191	,065	-,0034	,1754
2%	0%	-1,03200*	,03191	,000	-1,1214	-,9426
	0.5%	-,24400*	,03191	,000	-,3334	-,1546
	1%	-,17200*	,03191	,000	-,2614	-,0826
	1.5%	-,08600	,03191	,065	-,1754	,0034

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

## Subconjuntos homogéneos

### VAR00002

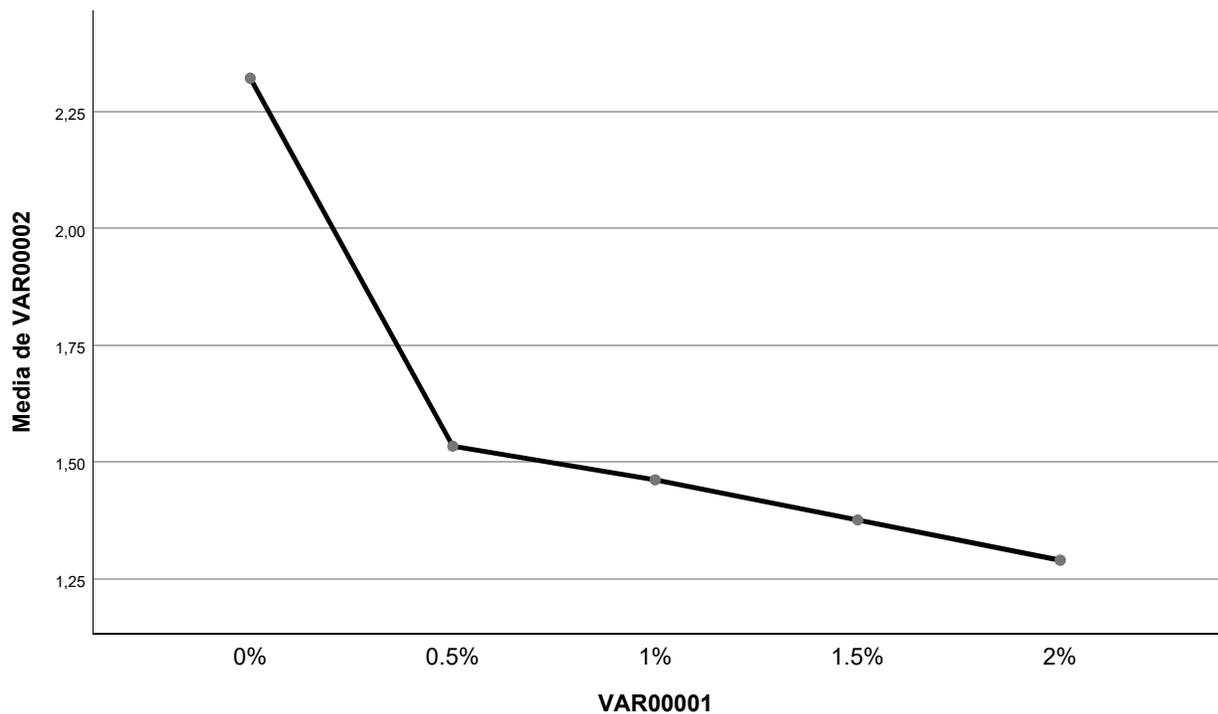
HSD Tukey<sup>a</sup>

VAR00001	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
2%	15	1,2900			
1.5%	15	1,3760	1,3760		
1%	15		1,4620	1,4620	
0.5%	15			1,5340	
0%	15				2,3220
Sig.		,065	,065	,172	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 15,000.

## Gráficos de medias



CORRELATIONS

```
/VARIABLES=Densidad Res_flex  
/PRINT=ONETAIL NOSIG  
/MISSING=PAIRWISE.
```

## Correlaciones

### Correlaciones

		Densidad	Res_flex
Densidad	Correlación de Pearson	1	,229
	Sig. (unilateral)		,356
	N	5	5
Res_flex	Correlación de Pearson	,229	1
	Sig. (unilateral)	,356	
	N	5	5

NONPAR CORR

```
/VARIABLES=Densidad Res_flex  
/PRINT=SPEARMAN ONETAIL NOSIG  
/MISSING=PAIRWISE.
```

## Correlaciones no paramétricas

### Correlaciones

			Densidad	Res_flex
Rho de Spearman	Densidad	Coefficiente de correlación	1,000	,700
		Sig. (unilateral)	.	,094
		N	5	5
	Res_flex	Coefficiente de correlación	,700	1,000
		Sig. (unilateral)	,094	.
		N	5	5

## Anexo N°4: Resultados Solver

Microsoft Excel 16.0 Informe de respuestas

Hoja de cálculo: [optimización resistencia flexión paneles con poliestireno.xlsx]Hoja1

Informe creado: 27/12/2020 14:56:40

Resultado: Solver encontró una solución. Se cumplen todas las restricciones y condiciones óptimas.

Motor de Solver

Motor: GRG Nonlinear

Tiempo de la solución: 0.031 segundos.

Iteraciones: 0 Subproblemas: 0

Opciones de Solver

Tiempo máximo Ilimitado, Iteraciones Ilimitado, Precision 0.000001, Usar escala automática

Convergencia 0.0001, Tamaño de población 100, Valor de inicialización aleatorio 0, Adelantada de derivados, Requerir límites

Máximo de subproblemas Ilimitado, Máximo de soluciones de enteros Ilimitado, Tolerancia de enteros 1%, Asumir no negativo

Celda objetivo (Máx)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$E\$26	Panel RESISTENCIA FLEXIÓN (kg/cm2)	25.30	25.30

Celdas de variables

Celda	Nombre	Valor original	Valor final	Entero
\$F\$19	Cemento VOLUMEN (cm3)	250.8	250.8	Continuar
\$F\$20	Arena VOLUMEN (cm3)	286.85	286.85	Continuar
\$F\$21	Poliestireno VOLUMEN (cm3)	266.67	266.67	Continuar
\$F\$22	Nylon VOLUMEN (cm3)	2.67	2.67	Continuar

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Demora
\$G\$25	FRACCIÓN EN VOLUMEN	1.00	\$G\$25=\$H\$25	Vinculante	0
\$F\$19	Cemento VOLUMEN (cm3)	250.8	\$F\$19<=\$I\$19	No vinculante	57.88
\$F\$19	Cemento VOLUMEN (cm3)	250.8	\$F\$19>=\$H\$19	Vinculante	0
\$F\$20	Arena VOLUMEN (cm3)	286.85	\$F\$20>=\$H\$20	No vinculante	53.78
\$F\$20	Arena VOLUMEN (cm3)	286.85	\$F\$20<=\$I\$20	Vinculante	0
\$F\$21	Poliestireno VOLUMEN (cm3)	266.67	\$F\$21>=\$H\$21	Vinculante	0
\$F\$22	Nylon VOLUMEN (cm3)	2.67	\$F\$22<=\$I\$22	Vinculante	0
\$F\$22	Nylon VOLUMEN (cm3)	2.67	\$F\$22>=\$H\$22	No vinculante	2
\$F\$21	Poliestireno VOLUMEN (cm3)	266.67	\$F\$21<=\$I\$21	No vinculante	600

**Microsoft Excel 16.0 Informe de respuestas**

**Hoja de cálculo: [optimización densidad paneles con poliestireno.xlsx]Hoja1**

**Informe creado: 27/12/2020 10:59:44**

**Resultado: Solver encontró una solución. Se cumplen todas las restricciones y condiciones óptimas.**

**Motor de Solver**

Motor: GRG Nonlinear

Tiempo de la solución: 0.031 segundos.

Iteraciones: 2 Subproblemas: 0

**Opciones de Solver**

Tiempo máximo Ilimitado, Iteraciones Ilimitado, Precisión 0.000001, Usar escala automática

Convergencia 0.0001, Tamaño de población 100, Valor de inicialización aleatorio 0, Adelantada de derivados, Requerir límites

Máximo de subproblemas Ilimitado, Máximo de soluciones de enteros Ilimitado, Tolerancia de enteros 1%, Asumir no negativo

**Celda objetivo (Mín)**

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$E\$26	Panel DENSIDAD (g/cm3)	1.02	1.02

**Celdas de variables**

Celda	Nombre	Valor original	Valor final	Entero
\$F\$19	Cemento VOLUMEN (cm3)	250.8	250.8	Continuar
\$F\$20	Arena VOLUMEN (cm3)	233.07	233.07	Continuar
\$F\$21	Nylon VOLUMEN (cm3)	2.67	0.67	Continuar
\$F\$22	Poliestireno VOLUMEN (cm3)	866.67	866.67	Continuar

**Restricciones**

Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Demora
\$G\$25	FRACCIÓN EN VOLUMEN	1.00	\$G\$25=\$H\$25	Vinculante	0
\$F\$19	Cemento VOLUMEN (cm3)	250.8	\$F\$19<=\$I\$19	No vinculante	57.88
\$F\$19	Cemento VOLUMEN (cm3)	250.8	\$F\$19>=\$H\$19	Vinculante	0
\$F\$20	Arena VOLUMEN (cm3)	233.07	\$F\$20<=\$I\$20	No vinculante	53.78
\$F\$20	Arena VOLUMEN (cm3)	233.07	\$F\$20>=\$H\$20	Vinculante	0
\$F\$21	Nylon VOLUMEN (cm3)	0.67	\$F\$21<=\$I\$21	No vinculante	2
\$F\$21	Nylon VOLUMEN (cm3)	0.67	\$F\$21>=\$H\$21	Vinculante	0
\$F\$22	Poliestireno VOLUMEN (cm3)	866.67	\$F\$22<=\$I\$22	Vinculante	0
\$F\$22	Poliestireno VOLUMEN (cm3)	866.67	\$F\$22>=\$H\$22	No vinculante	600

## Anexo N°5: Resultados Turnitin

# INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO ADICIONADO SOBRE LAS PROPIEDADES DE PANELES PARA TABIQUERIA REFORZADOS CON NYLON

---

INFORME DE ORIGINALIDAD

---

19%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

---

ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

---

6%

★ [repositorio.ucv.edu.pe](http://repositorio.ucv.edu.pe)

Fuente de Internet

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado