



SEP
SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LOS MOCHIS

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE INVESTIGACIÓN

TESIS DE MAESTRÍA

**Elaboración de eco-tabiques con materiales reciclables que
cumplan con las normas mexicanas para la construcción, mitigando
el impacto del medio ambiente que se genera por los residuos
sólidos**

presentada por

Ing. Ernesto Alonso Álvarez Machado

como requisito para la obtención del grado de

Maestro en Ingeniería

Ingeniería Ambiental y Energías Renovables

Director de tesis

Dr. Eder Jesús Valentín Lugo Medina

Codirector de tesis

M.C. Florencio Moreno Osuna

Los Mochis, Ahome, Sinaloa. Junio de 2023.



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



INSTITUTO TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Los Mochis
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Los Mochis Sin., 19/junio/2023

OFICIO No. DEPI/0216/2023

ASUNTO: Aceptación de documento de tesis

M.C. KARYME ELIZABETH ESTRADA CASTRO
JEFA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LOS MOCHIS
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
P R E S E N T E

Por este conducto, los integrantes del Comité Tutorial le informamos que hemos realizado la revisión del trabajo de tesis titulado "Elaboración de eco-tabiques con materiales que cumplan con las normas mexicanas para la construcción, mitigando el impacto del medio ambiente que se genera por los residuos sólidos, del (a) estudiante de posgrado C. **ERNESTO ALONSO ÁLVAREZ MACHADO**, con número de control **M18440020** de la **Maestría en Ingeniería**, posterior a la revisión se ha dictaminado **ACEPTAR** el documento de tesis, en virtud de que la estudiante en mención realizó las correcciones y observaciones que le fueron indicadas, por tal motivo le solicitamos atentamente la autorización de impresión definitiva.

A T E N T A M E N T E
Excelencia en Educación Tecnológica®
"EL PROGRESO COMO META, LOS PRINCIPIOS COMO GUÍA"

DIRECTOR DE TESIS

CODIRECTOR DE TESIS


DR. EDER JESÚS VALENTÍN LUGO MEDINA
DOCTOR EN CIENCIAS EN QUÍMICA

Profesional 6099394

REVISOR


DR. CARLOS ALBERTO SOTO ROBLES
DOCTOR EN CIENCIAS
Cédula Profesional 12246281


M.C. FLORENCIO MORENO OSUNA
MAESTRÍA EN DESARROLLO SUSTENTABLE
DE RECURSOS NATURALES
Cédula Profesional 09715397

REVISOR


M.C. JESÚS IVÁN RUÍZ IBARRA
MAESTRIA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
Cédula Profesional 5383347

C.p. Jefe del Depto. de Servicios Escolares. Instituto Tecnológico de Los Mochis (ITLM)
Estudiante de posgrado
Expediente docente
Archivo DEPI / OFICIOS 2022

CAV/KEEC /lety*



Blvd. Juan de Dios Batiz y 20 de Noviembre C.P. 81259 Los Mochis, Sinaloa. Tel.
(01-668) 8-12-58-58 y 8-12-59-59 e-mail: dir_mochis@tecnm.mx |
mochis.tecnm.mx



2023
AGU DE
Francisco
VILLA

Dedicatoria

A mi amada esposa Aneiry Cecilia Cota Xóchihua, la razón de todo.

A Timoteo Machado Osorio, quien siempre será mi padre por siempre. Gracias por ser un ejemplo de trabajo duro, dedicación y sabiduría en mi vida. Tu legado vive en mí y en mi familia, y siempre estarás presente en nuestros corazones.

A ambos, gracias por su amor incondicional y su presencia en mi vida.

Agradecimientos

A mi amigo y asesor, el Dr. Eder Jesús Valentín Lugo Medina. Por su vasto conocimiento, su paciencia y su constante motivación hacia la excelencia que han sido fundamentales en mi desarrollo personal y profesional.

Muchas gracias por su invaluable ayuda y apoyo.

Resumen

Se llevó a cabo un proyecto de investigación con el propósito de contribuir al desarrollo sostenible en la región, abordando la necesidad de reducir la cantidad de materiales desechados. Como solución, se trabajó en la mejora del eco-tabique, el cual está compuesto por materiales como PET (Polietilen Tereftalato) y caucho vulcanizado, cemento Fraguamax, aditivo (solución de Lauril Sulfato de Sodio) y agua, los cuales son problemáticos en cuanto a su disposición y desecho en la actualidad.

El objetivo principal fue desarrollar un material que cumpla con los requerimientos mínimos obligatorios establecidos en la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012. De esta forma, se logró crear eco-tabiques con una resistencia media de 67.58 Kg/cm^2 , cumpliendo con el requisito de $70 \text{ Kg/cm}^2 \pm 10 \text{ Kg/cm}^2$ de resistencia a la compresión, utilizando materiales reutilizados. Con esto, se logró cumplir con las especificaciones mencionadas y se contribuyó a la mitigación del problema de desechos en la región.

Abstract

A research project was carried out with the purpose of contributing to sustainable development in the region by addressing the need to reduce the amount of discarded materials. As a solution, work was done on improving the eco-partition wall, which is composed of materials such as PET (Polyethylene Terephthalate) and vulcanized rubber, Fraguamax cement, an additive (sodium lauryl sulfate solution), and water, which are problematic in terms of their disposal and waste in the present day.

The main objective was to develop a material that meets the mandatory minimum requirements established in the NMX-C-404-O-NNCCE-2012 standard. In this way, it was possible to create eco-partition wall with an average resistance of 67.58 Kg/cm^2 , complying with the requirement of $70 \text{ Kg/cm}^2 \pm 10 \text{ Kg/cm}^2$ of compression strength, using reused materials. With this, the mentioned specifications were met and contributed to the mitigation of the waste problem in the region.

ÍNDICE

CAPÍTULO I.....	10
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
1.1 Introducción.....	10
1.2 Planteamiento del problema	11
1.2.1 Preguntas de investigación	12
1.2.1.1 Pregunta central de investigación.....	12
1.2.1.2 Preguntas de investigación complementarias	12
1.3 Objetivos.....	12
1.3.1 Objetivo general.....	12
1.3.2 Objetivos específicos.....	12
1.4 Alcances y limitaciones.....	13
1.5 Justificación	13
 CAPÍTULO II.....	 16
MARCO TEÓRICO.....	16
2.1 Marco teórico-conceptual.....	16
2.1.1 PET.....	16
2.1.2 Caucho vulcanizado	22
2.1.3 Caucho sintético.....	23
2.1.4 Caucho SBR.....	23
2.1.5 Tabique	25
2.1.6 Definición de bloques y ladrillos cerámicos.....	26
2.1.7 Características físicas	30
2.1.8 Características geométricas.....	31
2.1.9 Acabado	32
2.1.10 Elementos de los bloques de concreto.....	33
2.2 Marco Legal.....	36
2.2.1 Norma Mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2012 “Industria de la construcción – bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural, especificaciones y métodos de prueba” ..	36
2.2.2 Otras normas mexicanas de la construcción aplicables.....	41

2.2.3 NMX-C-036-ONNCCE-2013 - Industria de la construcción-mampostería-resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones y adoquines-método de ensayo	41
2.2.4 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos.....	41
2.2.4.1 Residuos Sólidos Urbanos y Manejo especial.	41
2.2.5 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos	42
2.3 Teoría de Diseño de Experimentos	42
2.3.1 Diseño Factorial.	43
2.3.2 Diseño de dos factores.....	43
2.3.3 Superficie de respuesta.	43
2.3.4 Análisis de Varianza. ANOVA.....	44
2.4 Marco contextual	45
2.5 Marco referencial (antecedentes, estado del arte).....	45
 CAPÍTULO III	 48
MARCO METODOLÓGICO	48
3.1 Introducción al capítulo.....	48
3.2 Tipo de investigación	48
3.2.1 Hipótesis	48
3.2.2 Población (es) y selección de la muestra (s).....	48
3.2.3 Descripción de la muestra.....	49
3.2.4 Definición conceptual, operativa e instrumental de las variables	49
3.2.5 Técnicas instrumentos utilizados para la recolección de datos.....	50
3.2.6 Procedimientos para la recolección de los datos.....	52
3.2.7 Herramientas y estrategias para el análisis e interpretación de los datos	54
3.2 Diseño de investigación.....	55
 CAPÍTULO IV	 57
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	57
4.1 Introducción al capítulo.....	57
4.2 Análisis e interpretación de los resultados, de acuerdo con cada una de las preguntas o hipótesis propuestas	57
4.2.1 Diagrama de Pareto o de efectos estandarizados	59

4.2.2 Supuestos del modelo.....	60
4.2.2.1 Normalidad	60
4.2.2.2 Varianza Constante.....	61
4.2.2.3 Independencia:	62
4.2.3 Efectos principales	62
4.2.4 Efectos de interacción.....	63
4.3 Estudio financiero	66
4.3.1 Cálculo de Valor Anual Neto y Tasa Interna de Retorno.....	67
4.4 Resumen de los resultados obtenidos y las interpretaciones dadas en cada una de las preguntas o hipótesis.....	69
4.5 Conclusiones.....	70
4.6 Discusión y Recomendaciones	71
Referencias	74
Anexos.....	79

Índice de Tablas

Tabla 1. Datos técnicos del PET	18
Tabla 2. Resistencia química del PET.....	19
Tabla 3. Composición porcentual del neumático	25
Tabla 4. Clasificación de ladrillos y bloques cerámicos	28
Tabla 5. Usos recomendables para bloques de cemento, tabiques y tabicones.....	29
Tabla 6. Propiedades físicas de los bloques de concreto.....	30
Tabla 7. Características físicas para ladrillos y bloques cerámicos fabricados a máquina	30
Tabla 8. Características físicas para ladrillos y bloques cerámicos fabricados a mano.	31
Tabla 9. Dimensiones de los bloques de cemento, tabiques y tabicones (Unidades en cm).....	32
Tabla 10. Tolerancias en las dimensiones de los bloques de cemento, tabiques y tabicones.....	32
Tabla 11. Límites de la composición de cemento portland (% en masa).....	33
Tabla 12. Límites granulométricos de arena para mortero.....	34
Tabla 13. Valores característicos y límites máximos tolerables de sales e impurezas en el agua.	34
Tabla 14. Clasificación de piezas para la construcción de acuerdo a los materiales empleados en su fabricación.....	37
Tabla 15. Especificaciones y tolerancias.....	37
Tabla 16. Diseño Factorial 2^2 con 2 réplicas.....	49
Tabla 17. Diseño factorial propuesto para las pruebas del eco-tabique	49
Tabla 18. Factores y niveles del Eco-tabique	54
Tabla 19. Diseño de Experimento.....	55
Tabla 20. Análisis de Varianza.....	57

Índice de Figuras

Figura 1. Objetivos del Desarrollo Sostenible.....	15
Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de producción de tabique	52
Figura 3. Diagrama de pareto o de efectos estandarizados	59
Figura 4. Gráfica de probabilidad de resistencia	60
Figura 5. Gráfica de probabilidad normal	61
Figura 6. Gráfica de efectos principales.....	62
Figura 7. Gráfica de efectos de interacción.....	63
Figura 8. Gráfica de cubos	64
Figura 9. Gráfica de contorno.....	65
Figura 10. Gráfica de Superficie de Respuesta	65
Figura 11. Gráfica de Residuos versus PET.....	82
Figura 12. Gráfica de Residuos versus CAUCHO	82
Figura 13. Gráfica de Residuos versus ajuste.....	83
Figura 14. Gráfica de Residuos versus Orden	83

Glosario de términos

ANOVA – Análisis de Varianza

C – Construcción

FNE – Flujo Neto Efectivo

g – Gramos

H0 – Hipótesis Nula

H1 – Hipótesis Alternativa

INEGI - Instituto Nacional de Estadística y Geografía

Kg – Kilogramos

MSR - Metodología de Superficie de Respuesta

NMX – Normas Mexicanas

ONNCEE - Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación

PET - Tereftalato de Polietileno

RME - Residuos de Manejo Especial

RSU – Residuos Sólidos Urbanos

SBR - Caucho Estireno-Butadieno

SLS - Lauril Sulfato de Sodio

TIR – Tasa Interna de Retorno

VAN – Valor Anual Neto

VPN – Valor Presente Neto

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Introducción

El impacto ambiental provocado por los desechos de PET es alarmante debido a la gran cantidad de envases producidos y la falta de reutilización de los mismos. Por esta razón, la sociedad actual está trabajando arduamente en la búsqueda de soluciones innovadoras y alternativas para la reutilización de estos materiales, con el objetivo de reducir el deterioro ambiental generado. Es esencial que se tomen medidas para encontrar nuevas formas de reutilización y reducción del uso de materiales no biodegradables.

La generación de residuos sólidos urbanos y residuos de manejo especial en México está en aumento, alcanzando un preocupante volumen diario de más de 120,128 toneladas, lo que agrava el problema de la contaminación ambiental [1].

Los vehículos emiten contaminantes mientras están en uso y después de que sus piezas se vuelven obsoletas. Uno de los principales focos de contaminación y de los más extendidos en el planeta son los neumáticos. La fabricación masiva de neumáticos representa uno de los mayores problemas ambientales debido a su costoso proceso de producción y a los altos costos asociados con su eliminación [2].

El proyecto de investigación actual se enfocó en el desarrollo de un tabique ecológico elaborado con materiales contaminantes como el PET y caucho vulcanizado. Este proyecto surge como una alternativa innovadora para reducir el impacto ambiental generado por la gran cantidad de desechos de PET y caucho que se generan y que afectan al medio ambiente.

La búsqueda de la composición adecuada del tabique llevó un tiempo considerable, pero valió la pena. Se llevaron a cabo experimentos para encontrar la combinación que produjera el tabique más resistente, y después de muchas pruebas, se llegó al producto final: un tabique de construcción hecho con una mezcla de PET y caucho reciclados, obtenido de neumáticos de automóviles, cemento y una solución de SLS.

Es por ello que se propuso diseñar un material donde este sea capaz de ser utilizado en la industria de la construcción, dicha industria exige que los materiales cumplan con la calidad necesaria para que estos no conlleven un riesgo al ser utilizados, debido a la naturaleza de su aplicación.

Es crucial distinguir entre el proceso de reciclaje y reutilización del tereftalato de polietileno (conocido como PET) y del caucho, en el que el reciclaje implica un tratamiento para otorgarles una nueva vida útil, mientras que la reutilización se enfoca en darles un uso sin modificar el producto original. La reutilización se considera una medida efectiva para reducir el impacto ambiental. Por lo tanto, utilizar estos materiales en la fabricación de bloques es una forma de brindarles una segunda oportunidad.

1.2 Planteamiento del problema

En la actualidad, se puede percibir una sociedad orientada al consumo, donde se demandan una gran variedad de productos y servicios para cubrir las necesidades cotidianas. De acuerdo con el reporte del Banco Mundial publicado en 2017 bajo el título "What a Waste 2.0" [3], se producen anualmente en todo el mundo 2.010 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos. Se estima que solo el 12% de los envases de PET son reciclados.

Se calcula que en México existen más de 300 millones de neumáticos desechados, de los cuales 40 millones son tirados cada año en vertederos o basureros ilegales, y solo el 12% se recicla para la reutilización de llantas [4]. Aunque estos residuos no se consideran peligrosos de acuerdo a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales muchos problemas sociales y ecológicos.

Se presentan diversas problemáticas asociadas a los desechos de neumáticos que no son correctamente dispuestos: en primer lugar, su descomposición puede tardar cientos de años en llevarse a cabo; además, estos desechos pueden servir como refugio para flora y fauna nociva, lo que representa un riesgo para la salud pública. Asimismo, su alto poder calorífico puede ser un factor que potencie un incendio. Por otro lado, el volumen de estos desechos dificulta su manejo y, finalmente, su disposición inadecuada puede generar un mal aspecto visual en el entorno.

Datos del Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2021, en los datos tabulados de Residuos sólidos urbanos, el promedio diario de residuos sólidos urbanos recolectado en el municipio de Ahome, estado de Sinaloa es 550 000 kg [5].

1.2.1. Preguntas de investigación

1.2.1.1. Pregunta central de investigación

¿Es el eco-tabique una solución viable para mitigar la contaminación que se generan por los residuos específicamente PET y llantas generados por los habitantes del municipio de Ahome?

1.2.1.2. Preguntas de investigación complementarias

¿Qué porcentaje de material reciclable (PET y Caucho vulcanizado) se podrá utilizar para elaborar un eco tabique cumpliendo con las especificaciones de las normativas para minimizar y mitigar la contaminación que se tiene en el municipio de Ahome?

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo general.

Elaborar eco-tabiques con materiales reciclables PET y Caucho Vulcanizado y encontrar una combinación de los materiales que cumplan con las normas mexicanas para la construcción NMX-C-404-ONNCCE-2012 con una resistencia mecánica de $70\text{Kg/cm}^2 \pm 10\text{Kg/cm}^2$.

1.3.2. Objetivos específicos

- Elaborar un diseño de experimentos para analizar los resultados de las pruebas de resistencia.
- Elaborar los eco-tabiques probando con dos niveles de mezcla de PET y caucho, para que el tabique tenga buena consistencia.
- Analizar al menos 8 especímenes para determinar la resistencia mecánica de los eco-tabiques.

- Elaborar al menos 1 eco-tabique que cumpla con la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012.

1.4 Alcances y limitaciones

El alcance de este proyecto es determinar la resistencia mecánica con la NMX-C-404-ONNCCE-2012 [6] de los eco-tabiques, por lo que se limita en estudios a la resistencia de fuego NMX-C-307-1-ONNCCE [7] y a estudios de la absorción de agua y absorción máxima inicial de agua con la NMX-C-037-ONNCCE-2013 [8].

De acuerdo con el diseño de experimento propuesto, se determinó un tamaño de ocho muestras para encontrar relaciones significativas entre las variables a estudiar.

El proyecto se enfrentó a ciertas limitaciones debido a los efectos de la pandemia de SARS-CoV 19 [9]. En particular, encontrar los materiales necesarios para construir los eco-tabiques, incluyendo los residuos de los polímeros, así como la selección de la empresa encargada de realizar las pruebas mecánicas, se han visto restringidos por las medidas que el gobierno ha implementado para controlar la propagación del virus.

1.5 Justificación

La presente investigación se enfocó en analizar los diferentes materiales reciclados para la elaboración de un eco-tabique. Este material ayuda en mitigar la contaminación que se genera diariamente en el municipio de Ahome. Reciclando el PET y las llantas contribuye a mitigar los impactos en el medio ambiente.

Con la contribución de este nuevo material, en el orden social, se podrá utilizar para la creación de nuevas viviendas y otras formas de la construcción, ya que contendrá las especificaciones pertinentes para su uso correspondiente.

Los beneficios de realizar este proyecto impactarían en la reducción de residuos que se generan al año. Reutilizando estos materiales para construir viviendas, reduciría la contaminación y por ende ayudaría nuestra región y planeta.

El principal problema ambiental del PET es su abundancia, ya que, una vez convertido en residuo, es notoria su presencia en cauces de corrientes superficiales y drenajes, causando dificultades en el desazolve de coladeras propiciando inundaciones en vías urbanas y generando basura en todos los ecosistemas circundantes.

La situación planteada implica una dificultad en la gestión de los residuos, al no estar aprovechando adecuadamente el potencial de reutilización que tiene el PET.

En México, se calcula que solo se recolecta el 9.2% de los plásticos desechados para su reciclaje, mientras que, en el caso del PET, la cifra es del 15.8% [10].

De acuerdo con los objetivos de desarrollo sostenible emitidos por la Organización de las Naciones Unidas, el presente proyecto tiene un impacto significativo en múltiples objetivos. En primer lugar, en el objetivo número 8, trabajo decente y crecimiento económico, ya que la elaboración del eco-tabique puede generar nuevas fuentes de empleo en la región, contribuyendo así al desarrollo económico local.

Asimismo, el proyecto impacta en el objetivo número 11, ciudades y comunidades sostenibles, al reducir la contaminación generada por los polímeros utilizados en el tabique y al mismo tiempo reutilizar materiales que ya han cumplido su vida útil.

También se alinea con el objetivo número 13, acción por el clima, al mitigar el uso de residuos sólidos urbanos. Por último, el proyecto contribuye a los objetivos número 14 y 15, vida submarina y de ecosistemas terrestres, al reducir los polímeros que impactan negativamente en estos ecosistemas y promover prácticas más sostenibles.



Figura 1. Objetivos del Desarrollo Sostenible. Fuente: ONU [11].

De acuerdo a su definición, el Desarrollo Sostenible busca satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones del futuro, contando con tres factores claves: sociedad, economía y medio ambiente. Asimismo, es un método pensado a largo plazo y con beneficios progresivos, que se deberán llevar a cabo de manera permanente [12].

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Marco teórico-conceptual

2.1.1 PET

El PET es un material plástico que se obtiene del petróleo y se clasifica dentro de los termoplásticos, lo que significa que puede ser reciclado. Es un tipo de poliéster aromático que fue patentado como un polímero para la producción de fibras por Whinfield y Dickson en 1941 [13].

La capacidad del PET para envasar bebidas carbonatadas fue uno de los factores más importantes que impulsó su uso en el mercado de envases rígidos a partir de 1976. Esta aptitud particular permitió que el PET se convirtiera en una opción popular para la fabricación de botellas de bebidas, especialmente para aquellas que son carbonatadas, como los refrescos y el agua mineral [14].

El PET se caracteriza por su transparencia y resistencia química, y se puede encontrar en distintos grados que varían según su peso molecular y cristalinidad. Los grados de menor peso molecular se conocen como grado fibra, mientras que los de peso molecular medio son el grado película y los de mayor peso molecular son el grado ingeniería [15].

El material mencionado es un tipo de polímero termoplástico de estructura lineal y con una alta cristalinidad. El material se sintetiza mediante la reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol, y se puede procesar de varias formas, incluyendo extrusión, inyección, inyección y soplado, soplado de preforma y termo conformado [16].

Para prevenir el aumento excesivo de cristales, es importante enfriar el material rápidamente para mejorar su transparencia. La teoría cuántica explica que esto se debe a que los cristales no se desarrollan completamente y su tamaño no interfiere con la trayectoria de la luz visible [17].

En 1941, los científicos británicos Whinfield y Dickson desarrollaron y patentaron el polímero conocido como PET con el objetivo de encontrar un sustituto para el algodón en plena época de guerra en su país [13]. Desde entonces, se ha utilizado ampliamente como fibra textil y en 1952 se comenzó a utilizar como película para envasar alimentos, pero fue a partir de 1976 cuando su aplicación principal fue en envases rígidos, especialmente en botellas para bebidas no sensibles al oxígeno como el agua mineral y refrescos carbonatados [18].

El PET es un material resistente al estiramiento, ácidos y gases atmosféricos, además de ser resistente al calor y a la humedad. Es adecuado para su uso en fibras fuertes y flexibles, así como en películas. También es resistente al ataque de polillas, bacterias y hongos debido a su punto de fusión alto [19].

El PET presenta las siguientes propiedades:

- Procesable por soplado, inyección y extrusión.
- Apto para producir botellas, películas, láminas, planchas y piezas.
- Transparencia y brillo con efecto lupa.
- Posee una gran resistencia al desgaste.
- Exhibe un coeficiente de deslizamiento muy bueno.
- Presenta una buena resistencia tanto química como térmica.
- Ofrece una barrera muy efectiva contra el dióxido de carbono, una barrera aceptable contra el oxígeno y la humedad.
- Es reciclable, aunque puede perder viscosidad con el historial térmico.
- Ha sido aprobado para su uso en productos que estén en contacto con alimentos.
- Cuenta con excelentes propiedades mecánicas.
- Esterilizable por rayos gamma y óxido de etileno.
- Buena relación costo / performance.
- Se encuentra ranqueado como número 1 en reciclado.
- Liviano

Tabla 1. Datos técnicos del PET [20].

Propiedad	Unidad	Valor
Densidad	g/cm ³	1,33 – 1.39
Resistencia a la tensión	MPa	59 – 72
Resistencia a la compresión	MPa	76 – 128
Resistencia al impacto	J/mm	0.01 – 0.04
Dureza	--	Rockwell M94 – M101
Resistencia al calor	° C	80 – 120
Resistencia dieléctrica	V/mm	13780 – 15750
Constante dieléctrica (60 Hz)	--	3.65
Absorción de agua (24 h)	%	0.02
Velocidad de combustión	mm/min	Consumo lento
Efecto luz solar	--	Se decolora ligeramente
Calidad de mecanizado	--	Excelente
Calidad óptica	--	Transparente a opaco
Temperatura de fusión	°C	244 - 254

Resistencia química

Presenta buena resistencia en general a: grasas y aceites presentes en alimentos, soluciones diluidas de ácidos minerales, álcalis, sales, jabones, hidrocarburos alifáticos y alcoholes. Posee poca resistencia a: solventes halogenados, aromáticos y cetonas de bajo peso molecular.

Tabla 2. Resistencia química del PET [20].

Alcoholes	
Metanol	Muy resistente
Etanol	Muy resistente
Isopropanol	Resistente
Ciclohexanol	Muy resistente
Glicol	Muy resistente
Glicerina	Muy resistente
Alcohol bencílico	Resistente
Aldehídos	
Acetaldehído	Muy resistente
Formaldehído	Muy resistente
Compuestos Clorados	
Tetracloruro de carbono	Muy resistente
Cloroformo	Resistente
Difenil clorado	Muy resistente
Tricloro etileno	Muy resistente

Disolventes	
Éter	Muy resistente
Acetona	No resistente
Nitrobenceno	No resistente
Fenol	No resistente
Ácidos	
Ácido fórmico	Muy resistente
Ácido acético	Muy resistente
Ácido clorhídrico 10%	Resistente
Ácido clorhídrico 30%	Resistente
Ácido fluorhídrico 10 y 35%	Muy resistente
Ácido nítrico 10%	Muy resistente

Ácido nítrico 65%	No resistente
Ácido fosfórico 30 y 85%	Muy resistente
Ácido sulfúrico 20%	Resistente
Ácido sulfúrico 80%	No resistente
Anhídrido sulfuroso seco	Muy resistente
Álcalis (Soluciones Acuosa)	
Hidróxido amónico	No resistente
Hidróxido cálcico	Muy resistente
Hidróxido sódico	No resistente
Sales (Soluciones)	
Dicromato	Muy resistente
Carbonatos alcalinos	Muy resistente
Cianuros	Muy resistente
Fluoruros	Muy resistente

Sustancias Varias	
Cloro	Muy resistente
Agua	Muy resistente
Peróxido de hidrógeno	Muy resistente
Oxígeno	Muy resistente

- *Alternativas ecológicas* [21].
 - Retornabilidad.
 - Reúso de molienda.
 - Fibras.
 - Polioles para poliuretanos.
 - Poliésteres no saturados.
 - Envases no alimenticios.
 - Alcohólisis / Metanólisis.
 - Incineración.

Aplicaciones [22].

- *Envase y empaque*

La participación del PET dentro de este mercado es en:

- Bebidas carbonatadas.
- Agua purificada.
- Aceite.
- Conservas.
- Cosméticos.
- Detergentes y productos químicos.
- Productos farmacéuticos.
- *Fibras (Telas tejidas, cordeles, etc.)*

En la industria textil, la fibra de poliéster sirve para confeccionar gran variedad de telas y prendas de vestir.

- *Aplicaciones en la industria mecánica.*

Se utiliza en la fabricación de repuestos que necesitan superficies duras, planas y buena estabilidad dimensional.

- *Otras aplicaciones*

El PET es usado en la elaboración de materiales geosintéticos, para lo cual es fundido, filtrado y extruido hasta obtener fibras de poliéster de aspecto liso, con buena resistencia a la tensión y baja capacidad de absorción de agua, con las que se elaboran geotextiles de tipo no tejido y geomallas de refuerzo. Adicionalmente, el PET reciclado en forma de fibras, se usa como material de mejoramiento para concretos, asfaltos [23] [24].

2.1.2 Caucho vulcanizado

- *Caucho*

El caucho es un compuesto químico de gran importancia que se extrae del látex de ciertos árboles que se encuentran en las regiones tropicales. Para obtenerlo, se calienta el látex o se le agrega ácido acético, lo que provoca la coagulación de los hidrocarburos presentes en el líquido junto con pequeñas cantidades de otras sustancias. Una vez que se ha llevado a cabo este proceso, se obtiene el caucho bruto, que tiene una consistencia viscosa y pegajosa cuando se encuentra caliente, pero se vuelve duro y quebradizo cuando se enfría. Si se estira, no recupera su forma original [25].

Colón había encontrado el caucho en las Indias Occidentales, pero no tenía mucho valor hasta que Charles Goodyear descubrió en 1839 que al calentarlo a más de 100°C con azufre y amasarlo, se producía un producto con propiedades mucho más útiles. El caucho tratado de esta manera no se deforma con el calor, no se vuelve quebradizo en frío y, lo más importante, no se adhiere a las superficies. Además, si se estira, vuelve a su forma original después de la tensión. Este proceso de combinación del azufre con el caucho se llama vulcanización, que implica la apertura de anillos de S8 y su combinación con dobles enlaces de moléculas de caucho para formar puentes de cadena de azufre entre moléculas de caucho, produciendo una estructura total [26].

Diferentes sustancias, como el negro de humo, los óxidos de zinc y de plomo, y varios productos orgánicos, actúan como acelerantes de la vulcanización, lo que resulta en un caucho más resistente y duradero, como las cámaras para ruedas de automóviles. Por otro lado, el caucho natural se identifica como un polímero del isopreno [27].

Para comprender los desafíos asociados al reciclaje de caucho, es relevante considerar que los objetos fabricados con este material se crean mediante la combinación de elastómeros con aditivos orgánicos de baja masa molecular, agentes vulcanizantes y cargas minerales en forma de partículas finas. La mezcla en su estado original se somete a un proceso de vulcanización, en el cual tiene lugar una reacción química que da como resultado una estructura entrecruzada altamente elástica. A este tipo de material se le conoce como caucho virgen, en

contraste con el caucho reciclado. La reacción de vulcanización es irreversible desde un punto de vista térmico, por lo tanto, el reciclaje de los cauchos se lleva a cabo a través de procesos de trituración mecánica, métodos químicos o mediante su recuperación energética [28].

2.1.3 Caucho sintético

Se puede denominar caucho sintético a cualquier sustancia artificial que tenga similitudes con el caucho natural. Se obtiene a través de reacciones químicas como la polimerización o la condensación de ciertos hidrocarburos insaturados. Los monómeros son los compuestos fundamentales del caucho sintético, los cuales tienen una masa molecular relativamente baja y se combinan para formar moléculas gigantes llamadas polímeros.

Una vez que se ha fabricado el caucho sintético, se somete a un proceso de vulcanización. Existen varios tipos de caucho sintético, tales como el neopreno, la buna, el caucho de butilo, el caucho SBR y otros cauchos especializados [27].

2.1.4 Caucho SBR

El caucho SBR, también conocido como Estireno Butadieno, es un tipo de caucho sintético que se produce a partir de una mezcla de Estireno y 1,3-Butadieno. Es el caucho sintético más utilizado en todo el mundo. A continuación, se presentan las diferencias entre el caucho SBR y el caucho natural:

El SBR es conocido por su resistencia a la tracción y a la rotura, su capacidad de adherencia y su baja producción de calor durante el uso. Además, el SBR es superior al caucho natural en términos de permeabilidad, envejecimiento, resistencia al calor y desgaste. Aunque se necesita menos azufre para la vulcanización del SBR, se requiere más acelerador.

El negro de carbón tiene un efecto de refuerzo más destacado en el SBR que en el caucho natural. Dependiendo del tipo de vehículo, el SBR es más adecuado para neumáticos de vehículos de pasajeros, mientras que el caucho natural se prefiere para vehículos utilitarios y autobuses. Las mezclas de SBR con aceite se utilizan principalmente para la fabricación de neumáticos, cintas transportadoras, correas y suelas de zapatos. Las mezclas maestras de SBR se usan en la producción en masa de cubiertas de neumáticos.

- *Propiedades del caucho SBR procesado*

A excepción de algunos detalles y cantidades, los cauchos SBR se procesan de manera similar al caucho natural en los mismos equipos. La principal diferencia radica en que los cauchos SBR necesitan menos masticación inicial para un procesamiento adecuado posterior (en algunos casos, incluso no necesitan masticación), lo que permite un mayor rendimiento del equipo de mezclado. Sin embargo, los cauchos SBR requieren más potencia y generan más calor durante el mezclado. Aunque su viscosidad es constante y menos sensible a la masticación mecánica, permiten establecer condiciones de trabajo normalizadas con menor riesgo de variación, incluso frente a desviaciones en el procesamiento [29].

Una distinción adicional entre el caucho SBR y el caucho natural es la menor adherencia en estado crudo del primero. Si se desea incrementar la adherencia, es necesario emplear resinas que favorezcan esta propiedad, en la cantidad y tipo adecuados para las exigencias del proceso.

El caucho sintético presenta mejores propiedades de extrusión en comparación con el caucho natural debido a su menor tendencia a la pre-vulcanización, a excepción de que el tipo y nivel de negro de humo utilizado pueda tener más influencia que el tipo de caucho en este aspecto [27].

- *Proceso de vulcanización del caucho*

Durante el proceso de vulcanización, el caucho sufre un cambio de estado, transformándose de un material termoplástico a uno elastomérico, lo que implica diferentes posibilidades de deformación. Para reducir el costo de producción de los neumáticos, se añaden sustancias como negro de humo y arcillas modificadas para conferirles cuerpo y rigidez.

Asimismo, se incorporan otros materiales al caucho con el fin de mejorar sus propiedades, tales como suavizantes que aumentan su maleabilidad antes de la vulcanización, óxido de Zinc y Magnesio para reducir el tiempo de vulcanización, antioxidantes para prolongar su vida útil y negro de humo para mejorar su resistencia a la abrasión y a la tensión [30].

Tabla 3. Composición porcentual del neumático [31].

COMPONENTE	AUTOMÓVILES	CAMIONES
Caucho natural	14%	27%
Caucho sintético	27%	14%
Negro de humo	28%	28%
Acero	14 – 15%	14 – 15%
Fibra textil, suavizantes, óxidos, antioxidantes, etc.	16 – 17%	16 – 17%
Peso promedio	8.6Kg	45.4Kg
Volumen	0.06m ³	0.36m ³

El neumático es el principal producto fabricado con caucho, representando el 60% de la producción anual. Además, existen otras aplicaciones en la industria, como la fabricación de correas, hojas de caucho, esponjas, sondas y tubos médicos, tejidos impermeables, tubos para suministro de gas, agua y aire comprimido, y mecheros de bunsen, entre otros. [27]

2.1.5 Tabique

- *Fabricación de tabicón*

La construcción es definida a nivel internacional como la combinación de materiales y servicios para la producción de bienes tangibles, y se distingue de otras industrias por su planta móvil y su producto fijo. Debido a su estrecha relación con la creación de infraestructura básica, la industria de la construcción es uno de los sectores más importantes y dinámicos.

El sector de la construcción abarca un amplio abanico de obras y proyectos, que incluyen desde la construcción de infraestructuras como puentes, carreteras, puertos, vías férreas, plantas de energía eléctrica y obras hidráulicas, hasta la edificación de construcciones industriales y comerciales, pasando por la instalación de redes telefónicas y telegráficas, perforación de pozos,

plantas petroquímicas y de refinación, y obras de edificación no residencial. El sector de la construcción se dedica a la satisfacción de necesidades humanas a través de la creación de infraestructuras básicas y servicios esenciales como el suministro de agua potable, instalaciones de saneamiento, drenaje, pavimentación, hospitales y escuelas, entre otros.

La industria de la construcción también tiene como objetivo satisfacer necesidades humanas básicas, como servicios de suministro de agua potable, instalaciones de saneamiento, drenaje, pavimentación, obras de vivienda, hospitales y escuelas.

La industria de la construcción tiene un fuerte impacto multiplicador en la economía de un país, generando beneficios en diversas ramas industriales y contribuyendo al logro de objetivos económicos y sociales, así como al mejoramiento de las condiciones de vida de la sociedad.

Anders define un tabique como un tipo de pared no estructural que tiene la función de separar y subdividir los espacios interiores, y que se caracteriza por ser un elemento sólido y no transparente que se puede instalar en cualquier lugar del interior sin sobrecargar la estructura. Este elemento debe cumplir con requisitos mínimos de aislamiento térmico, acústico y resistencia mecánica, permitiendo la fijación de objetos y la inclusión de instalaciones técnicas sin afectar su resistencia, y puede tener requisitos adicionales según el programa del edificio [32].

2.1.6 Definición de bloques y ladrillos cerámicos.

Los bloques y ladrillos cerámicos son objetos con forma ortogonal de paralelepípedo que pueden ser sólidos o huecos, y se fabrican mediante la compresión, extrusión o moldeado, secado y posterior cocción de arcilla. Estos elementos se utilizan en diversas aplicaciones en la construcción, como por ejemplo en la creación de muros de carga o registros.

Los bloques y ladrillos huecos son especialmente útiles, ya que además de reducir la masa de los muros, también mejoran el aislamiento térmico y acústico, permiten la instalación de tuberías y elementos de refuerzo, y proporcionan un mayor confort en el ambiente construido.

- Ladrillo

Los ladrillos son elementos cerámicos con forma de paralelepípedo que se obtienen a

partir de una pasta arcillosa con alto contenido de limo orgánico. Luego de su moldeado, secado y cocción, adquieren una dimensión aproximada de 24 x 11.5 x 6 cm. Se pueden encontrar en variedades huecas y sólidas, siendo las primeras más frescas en verano y menos frías en invierno, mientras que las segundas son más pesadas y consumibles. Debido a su forma regular y fácil manejo, los ladrillos son utilizados en diversas construcciones [33].

Gallegos y Sinha y Davies definen al ladrillo como el componente básico para la construcción de la albañilería y la construcción [34].

Schneider y Dickey definen el ladrillo como una unidad de tamaño pequeño, hecha de arcilla quemada y de forma rectangular, que se utiliza para la construcción de paredes y otros elementos de albañilería [35].

Del Río [36], Moreno [37], Somayaji [38] y Gallegos [39] coinciden en que un ladrillo de buena calidad para la construcción debe tener características como estar bien moldeado, ser poroso sin exceso, no contener sales solubles, poseer un sonido metálico al ser golpeado, tener una geometría homogénea y luciente, estar exento de caliches y tener una estructura vitrificada y brillante, sin deformaciones ni grietas. Además, debe tener una buena cocción y un color uniforme. No debe estar demasiado cocido ni poco cocido, ya que podría perder su resistencia o desmoronarse fácilmente. En resumen, el ladrillo está destinado principalmente a la construcción de muros, tabiques y suelos, por lo que debe poseer suficiente resistencia a la compresión y ser invulnerable a los efectos de la intemperie.

- *Bloque*

Se trata de un elemento estructural con forma de prisma, que se produce mediante el moldeado de concreto u otros materiales, y puede presentarse en versión sólida o hueca. La semejanza entre ambas opciones radica en su comportamiento térmico, es decir, en su capacidad para absorber el calor y el frío según sea necesario, proporcionando así un mayor confort al usuario.

Los bloques de cemento son elementos prefabricados que se emplean en la construcción de muros, y funcionan de manera similar a los ladrillos convencionales, es decir, se apilan y se unen con mortero hecho generalmente de cemento, arena y agua. Para lograr esta unión, los

bloques presentan un espacio interno hueco que permite el paso de las barras de acero y la introducción de mortero en su interior [40].

Existen una amplia gama de opciones en cuanto a dimensiones y texturas, desde las superficies más lisas y clásicas hasta terminaciones estriadas o rugosas, así como unidades especiales para esquinas o vigas con armaduras longitudinales. En cuanto a su clasificación, los bloques y ladrillos cerámicos se dividen en dos tipos según su elaboración: aquellos que son elaborados a máquina y los que no.

Dentro de los elaborados a máquina, se encuentran los bloques y ladrillos macizos que permiten perforaciones perpendiculares a sus caras, los perforados que tienen perforaciones en sus caras mayores y los huecos que tienen cavidades paralelas a su cara mayor.

- *Hechos a mano*

Estos solo son macizos y no llegan a desarrollar ligas cerámicas.

A continuación, en la Tabla 4 se muestra la clasificación de bloques de concreto con sus características y grados de calidad correspondientes:

Tabla 4. Clasificación de ladrillos y bloques cerámicos [41].

FABRICACIÓN	SUBTIPOS	GRADOS DE CALIDAD
Con máquina	Macizos: compactos en toda su masa. Admiten perforaciones perpendiculares a sus caras.	A-B-C-D
	Perforados: tienen perforaciones generalmente perpendiculares a las caras mayores y su distribución sobre la superficie total es uniforme.	B-C-D
	Huecos verticales: Los huecos están dispuestos paralelamente a la cara mayor del ladrillo o bloque.	C-D
A mano	Macizos: usualmente no llegan a desarrollar ligas cerámicas y son solamente macizos.	E

En la Tabla 5 se exponen los usos recomendables para bloques de cemento, tabiques y tabicones de acuerdo a su grado de calidad.

Es importante aclarar que para una mejor resistencia y mayor rendimiento de los bloques se debe respetar la función para la cual fueron diseñados y no sobrepasar su límite de resistencia.

Tabla 5. Usos recomendables para bloques de cemento, tabiques y tabicones [41].

Grado de calidad	Uso		
	Requerimientos estructurales [1]	Requerimientos climatológicos	Requerimientos funcionales
A	Aptos para albañilería soportante bajo tensiones elevadas (con o sin armado)	Aptos para climas severos con heladas y alta precipitación pluvial	Aptos para uso al exterior o interior en muros aparentes de una o dos caras
B	Aptos para albañilería soportante bajo tensiones moderadas (con o sin armado)	Aptos para climas con probabilidades de heladas y moderada precipitación pluvial	Aptos para uso al exterior o interior en muros aparentes de una o dos caras
C	Aptos para albañilería bajo cargas moderadas de compresión axial (semiarmada o reforzada)	Aptos para condiciones climatológicas medias del país, con poca probabilidad de heladas y moderada precipitación pluvial	Aptos para uso al exterior o interior en muros aparentes de una o dos caras. Para los ladrillos huecos se aconseja el uso de un sellador en muros exteriores
D	Aptos para albañilería simple o reforzada no soportante y con cargas moderadas de compresión axial	Aptos para climas benignos y de moderada precipitación pluvial con sellador o revestido igual al grado C	Aptos para uso al exterior o interior en muros aparentes de una cara. Para los ladrillos huecos se requiere un impermeabilizante en muros al exterior
E (Fabricados con máquina)	Aptos para albañilería simple o reforzada no soportante y con cargas bajas de compresión axial	Aptos para climas benignos y de baja precipitación pluvial	Aptos para uso en muros exteriores con revestimiento o sellador y en muros interiores
E (Fabricados a mano)	Aptos para albañilería simple o reforzada no soportante y con cargas bajas de compresión axial	Aptos solamente para climas benignos y de escasa precipitación pluvial	No se aceptan para muros aparentes al exterior sin revestimiento

- *Propiedades físicas de los bloques de concreto.*

El bloque de concreto en la línea estándar se fabrica en 4 diferentes medidas: 10, 12, 15 y 20 cm de ancho, teniendo en cuenta como constantes 20 cm de altura y 40 cm de largo. En Tabla 6 se describen sus principales propiedades físicas:

Tabla 6. Propiedades físicas de los bloques de concreto [6] [7].

Pieza en Cm	Peso en Kg	Resistencia a la compresión NMX-C-404	Absorción NMX-C-037
10 X 20 X 40	11.3	Mínima de 40 Kg/cm ²	12%
12 X 20 X 40	12.4		
15 X 20 X 40	15.5		
20 X 20 X 40	16.9		

2.1.7 Características físicas

Los ladrillos y bloques cerámicos cumplirán con la resistencia a la compresión simple, adherencia y absorción de agua, que se indican en las siguientes Tablas (7 y 8) ya sean fabricados con maquina o a mano.

Tabla 7. Características físicas para ladrillos y bloques cerámicos fabricados a máquina [42].

CARACTERÍSTICAS	SUBTIPOS										
	Macizos				Perforados			Hueco vertical		Huevo horizontal	
	Grado de calidad										
	A	B	C	D	B	C	D	C	D	D	E
Resistencia a la compresión simple; MPa, mínima	20	12	8	4	8	6	4	10	4	4	2

Adherencia; MPa, mínima	20	12	8	4	8	6	4	10	4	4	2
Absorción de agua; % Máxima	20	12	8	4	8	6	4	10	4	4	2

Tabla 8. Características físicas para ladrillos y bloques cerámicos fabricados a mano [42].

CARACTERÍSTICAS	VALOR
	SUBTIPO MACIZO, GRADO DEB CALIDAD E
Resistencia a la Compresión Simple; MPa, mínima	2
Adherencia; MPa, mínima	0.15
Absorción de agua; % Máxima	24

Para que los bloques cerámicos sean considerados de buena calidad, es importante que no se desintegren al ser manipulados y que no contengan materiales que ensucien el agua al ser sumergidos en ella después de ser limpiados con un cepillo de alambre y empapados en agua a una temperatura de entre 15 y 30 grados Celsius durante cuatro horas. Estas características físicas previamente mencionadas son esenciales para garantizar la calidad de los bloques.

2.1.8 Características geométricas

Las características geométricas de los bloques de concreto se refieren a las dimensiones de los mismos, largo, ancho, altura. De acuerdo con la Tabla 9 los bloques de cemento deben tener más de 30 cm de largo, un ancho de 10 a 30 cm, y altura de 10 a 30 cm, mientras que los tabiques y tabicones van desde los 24 a 30 cm, con un ancho de 10 a 30 cm y de 6 a 15 cm de altura, como es obvio los bloques de cemento siempre serán más grandes y mayor peso que los ladrillos o tabiques y tabicones.

Tabla 9. Dimensiones de los bloques de cemento, tabiques y tabicones (Unidades en cm) [43].

TIPO	LARGO*	ANCHO*	ALTURA*
Bloques de cemento	>30	10 a 30	10 a 30
Tabiques y tabicones	24 a 30	10 a 30	6 a 15

*Incluyendo la junta de albañilería de 1 cm, con una tolerancia de 2 mm.

Es importante revisar las tolerancias en las dimensiones de los bloques de concreto, la Tabla 10 las menciona porque son las que determinan los límites mínimos y máximos en su largo, ancho y peralte.

Tabla 10. Tolerancias en las dimensiones de los bloques de cemento, tabiques y tabicones [43].

DIMENSIÓN	TOLERANCIA
Largo	2cm
Ancho	2cm
Altura o peralte	3cm

2.1.9 Acabado

Todos los bloques de cemento, tabiques y tabicones estarán exentos de grietas desportilladuras y defectos que puedan disminuir su resistencia.

En aquellos casos en que los bloques de cemento, tabiques y tabicones vayan a quedar visibles, sus caras expuestas estarán libres de imperfecciones, fisuras, marcas u otros defectos.

Si un bloque presenta estos defectos ya no está apta para la finalidad para la cual fue diseñada, es por esto que cuando se adquiere este producto es importante visualizar que se encuentre en estado óptimo.

2.1.10 Elementos de los bloques de concreto

En la construcción, se emplea comúnmente el cemento Portland como aglomerante para la creación de hormigón o concreto. Este tipo de cemento hidráulico, al mezclarse con áridos, agua y fibras de acero discontinuas, tiene la propiedad de formar una masa pétreo resistente y duradera conocida como hormigón. El cemento Portland fragua y endurece en presencia de agua, reaccionando químicamente para formar un material con excelentes propiedades aglutinantes. La Tabla 11 presenta los límites de composición del cemento Portland.

Tabla 11. Límites de la composición de cemento portland (% en masa) [42].

CEMENTO PORTLAND		Clinker Portland + Sulfato de calcio.	COMPONENTES PRINCIPALES				COMPONENTES MINORITARIOS
TIPO	DENOMINACIÓN		(1) Puzolana	Escoria granulada de alto horno	Humo de sílice	Caliza	
CPO	Cemento portland ordinario	95-100	--	--	--	--	0-5
CPP	Cemento portland puzolánico	50-94	6-50	--	--	--	0-5
CPEG	Cemento portland con escoria granulada de alto horno	40-94	--	6-60	--	--	0-5
CPC-3	Cemento portland compuesto	50-94	6-35	6-35	1-10	6-35	0-5
CPS	Cemento portland con humo de sílice	90-99	--	--	1-10	--	0-5
CEG	Cemento con escoria granulada de alto horno.	20-39	--	61-80	--	--	0-5

El tamaño adecuado de las partículas de PET es de 3/16 pulg., para obtener una mezcla más consistente y por lo tanto un mejor acabado del prototipo es importante mencionar que las botellas y envases no se someten a lavado ni secado, tampoco al desprendimiento de etiquetas.

La arena para morteros cumplirá con lo mostrado en la Tabla 12 que marca el porcentaje que pasa dependiendo del tipo de abertura de malla (unidades mm):

Tabla 12. Límites granulométricos de arena para mortero [44].

Malla		Porcentaje que pasa en %
Abertura en mm	Designación	
4.75	N.º 4	100
2.38	N.º 8	95-100
1.18	N.º 16	80-90
0.6	N.º 30	55-70
0.3	N.º 50	25-70
0.15	N.º 100	5-10

El agua es el componente que se utiliza para generar reacciones químicas en los cementantes del concreto hidráulico o del mortero cemento portland. Puede ser agua potable, es decir, aquella que por sus características químicas y físicas es útil para el consumo humano, sus valores y límites tolerables de sales e impurezas se describen en la Tabla 13.

Tabla 13. Valores característicos y límites máximos tolerables de sales e impurezas en el agua [8].

IMPUREZAS	TIPOS DE CEMENTO	
	Cementos ricos en calcio	Cementos resistentes a los sulfatos (RS)
Sólidos en suspensión en aguas naturales (limos y arcillas), máximo	2000 ppm	2000 ppm
Sólidos en suspensión en aguas recicladas ⁽¹⁾ (finos de cemento y agregados), máximo.	50000	35000
Cloruros como Cl ⁽²⁾ : *Para concreto de acero de pre-		

esfuerzo y piezas de puentes ⁽³⁾ , máximo.	400	600
*Para concretos reforzados que estén en ambiente húmedo o en contacto con metales como el aluminio ,fierro galvanizado y otros similares ⁽³⁾ , máximo	700	100
Sulfato como SO_4^{2-} ⁽²⁾ , máximo	3000	3500
Magnesio como Mg^{2+} ⁽²⁾ , máximo	100	150
Carbonatos como CO_3^{2-} , máximo	600	600
Bióxido de carbono disuelto como CO_2 , máximo	5	3
Álcalis totales como Na^+ , máximo	300	450
Total de impurezas en solución, máximo	3500	4000
Grasas o aceites	0	0
Materia orgánica (Oxígeno consumido en medio ácido) ⁽⁴⁾ máximo	150	150
Potencial de Hidrógeno (pH), mínimo	6	6.5

1. Se considera como agua reciclada, la que se usó en el lavado de unidades revolventoras de concreto, que después de un proceso incompleto de sedimentación se emplea en la fabricación del concreto hidráulico y que contiene en suspensión un alto porcentaje de finos del cemento y de los agregados, sales solubles del cemento y aditivos.

2. El agua que exceda los límites listados para cloruros, sulfatos y magnesio, podrá emplearse si se demuestra que la concentración calculada de estos compuestos en el agua total de la mezcla, incluyendo el agua de absorción de los agregados, no excede dichos límites.

3. Cuando se utilice cloruro de calcio (CaCl_2) como aditivo acelerante, se tomará en cuenta la cantidad de este para no exceder el límite de cloruros indicado en esta tabla.

El agua que no cumpla con el contenido máximo indicado se podrá usar siempre y cuando el agregado fino que se emplee en el concreto, probada conforme al procedimiento indicado en el manual M.MMP.2.02.026, Impurezas Orgánicas en agregados finos, no produzca un líquido más oscuro que la solución normalizada N°3 [42].

2.2 Marco Legal

2.2.1 Norma Mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2012 “Industria de la construcción – bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural, especificaciones y métodos de prueba”

Nombre genérico del producto: bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural. Normas aplicables (o las que las sustituyan): NMX-C-404-ONNCCE-2005 — industria de la construcción – bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural, especificaciones y métodos de prueba.

- *Bloque*: Es un componente para uso estructural de forma prismática, que se obtiene por moldeo del concreto de otros materiales, puede ser macizo o hueco.
- *Tabique (ladrillo)*: Es un componente para uso estructural, de forma prismática fabricado con arcillas comprimidas o extruidas, mediante un proceso de cocción o de otros materiales con procesos diferentes.
- *Tabicón*: Es un componente macizo para uso estructural de forma prismática fabricado de concreto u otros materiales.
- *Productos seleccionados*: los productos objeto de esta norma se clasifican en tres tipos y de acuerdo a los materiales con que se realizan.

En la Tabla 14 se presentan los tipos de bloques de acuerdo a los materiales con los que fueron elaborados, así como la forma que los distingue a unos de otros.

Tabla 14. Clasificación de piezas para la construcción de acuerdo a los materiales empleados en su fabricación [6].

TIPO DE PIEZA	MATERIALES	FORMA
Bloque	Grava-Cemento	Rectangular
	Arena-Cemento	Rectangular
	Barro extruido	Rectangular
	Barro recocido	Rectangular
	Sílico calcáreo	Rectangular
TIPO DE PIEZA	MATERIALES	FORMA
Tabique (Ladrillo)		
	Barro recocido	Rectangular
	Barro extruido	Rectangular
	Otros (concreto)	Rectangular
		Otras
Tabicón	Grava-Cemento	Rectangular
	Arena-Cemento	Rectangular
	Tepojal-Cemento	Rectangular
	Otros	Otras

Tabla 15. Especificaciones y tolerancias [6].

TIPOS DE PIEZAS	ESPECIFICACIONES Y TOLERANCIA
Pieza maciza	Es aquella que el área de las celdas no sea mayor al 25% de su área total, y cuyas paredes exteriores no tienen espesores menores de 20mm.
Pieza hueca	Es aquella que el área de las celdas es mayor al 25% del área total pero menor o igual del 50% y cuyas paredes exteriores no tienen

	espesores menores de 15mm.	
Dimensiones	Las dimensiones de las piezas deben ser modulares incluyendo la junta de albañilería	
Dimensiones para bloques de concreto de dos o tres celdas lisas	Las tolerancias en las dimensiones de las piezas son de $\pm 3\text{mm}$ en la altura y $\pm 2\text{mm}$ en el largo y ancho.	
	TIPO DE BLOCK (cm)	ESPESOR MÍNIMO DE PAREDES EXTERIORES (cm)
	10x20x40	20
	12x20x40	20
	15x20x40	25
	20x20x40	32
	25x30x40	35
	30x30x40	38
TIPOS DE PIEZAS	ESPECIFICACIÓN Y TOLERANCIA	
Dimensiones para bloques multiperforado de concretos lisos	Son piezas de 8 o más perforaciones o alveolos y cuyas perforaciones sean de las mismas dimensiones, y además su distribución sea uniforme. Los espesores de paredes exteriores deben ser de 15mm como mínimo. El espesor mínimo de las paredes interiores debe ser de 10mm. Las tolerancias en las dimensiones de las piezas son de $\pm 3\text{mm}$ en la altura y $\pm 2\text{mm}$ en el largo y ancho.	

Dimensiones para bloques de concreto con acabado rústico	Son piezas de concreto que tienen las mismas dimensiones que los bloques lisos, pero en este tipo de piezas se debe cuidar que la cara rústica no presente en alguna parte un espesor menor a lo que se especifica para bloques lisos en la Tabla 4. Las tolerancias en las dimensiones de las piezas son de ± 3 mm en la altura y ± 2 mm en el largo
Dimensiones para tabiques de barro (ladrillos)	Las dimensiones nominales mínimas deben cumplir con las siguientes medidas: 5 cm de alto, 10 cm de ancho y 19 cm de largo con una tolerancia de ± 3 mm en cualquier dimensión, sin incluir la junta de albañilería. El área neta de piezas huecas debe ser de por lo menos del 50% del área total. Para piezas huecas con 2 y hasta 4 celdas el espesor mínimo de las paredes exteriores debe ser de 20 mm y el espesor mínimo de las paredes interiores es de 13 mm. Para piezas multiperforadas y cuyas celdas sean de las mismas dimensiones y cuya distribución sea uniforme, el espesor mínimo de las paredes exteriores debe ser de 15 mm y el espesor mínimo de las paredes interiores debe ser de 7 mm
Dimensiones para tabicones	Las dimensiones nominales mínimas de las piezas deben cumplir con las siguientes medidas: Alto 6 cm, ancho 10 cm y largo 24 cm. Las tolerancias en las dimensiones de las piezas deben ser de ± 3 mm en la altura, y ± 2 mm en el largo y ancho.

Resistencia mínima a Compresión sobre área bruta	TIPO DE PIEZA		RESISTENCIA DE DISEÑO (f*p) N/m ² (kgf/cm ²)
	Bloques de concreto vibro-comprimido		6 (60)
	Tabicones		10 (100)
	Tabique (Ladrillo) recocido		6 (60)
	Tabique (Ladrillo) extruido o prensado (Hueco vertical)		10 (100)
	Tabique (Ladrillo) multiperforado		10 (100)
Absorción de agua en 24 h y absorción inicial	Tipo de pieza	Absorción máxima de agua en % durante 24 h	Absorción inicial g/min
	Bloque de concreto	12	5
	Tabicones	15	5
	Tabique (Ladrillo) recocido	21	5
	Tabique (Ladrillo) extruido	15	5
Contracción por secado	El porcentaje máximo de contracción lineal total por secado para los bloques, tabiques y tabicones de concreto y de barro debe ser de 0.065%.		

2.2.2 Otras normas mexicanas de la construcción aplicables

NMX-C-024-ONNCCE: Determinación de la contracción por secado, de los bloques, ladrillos, tabiques y tabicones de concreto.

NMX-C-036-ONNCCE: Industria de la construcción – bloques, tabiques o ladrillos, tabicones y adoquines – resistencia a la compresión – método de prueba.

NMX-C-037-ONNCCE: Industria de la construcción – Bloques, ladrillos o tabiques y tabicones – Determinación de la absorción de agua y absorción máxima inicial de agua.

NMX-C-038-ONNCCE: Determinación de las dimensiones de ladrillos y bloques para la construcción.

NMX-C-307-ONNCCE: Industria de la construcción – Edificaciones – Componentes – Resistencia al fuego – Determinación.

2.2.3 NMX-C-036-ONNCCE-2013 - Industria de la construcción-mampostería-resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones y adoquines-método de ensayo

Esta Norma Mexicana establece el método de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión; es aplicable a bloques, tabiques o ladrillos, tabicones, celosías y adoquines de fabricación nacional y de importación, que se comercialicen en territorio nacional.

2.2.4 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos

2.2.4.1 Residuos Sólidos Urbanos y Manejo Especial.

- *Responsabilidad de autoridades Municipales.*

El artículo 10 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) establece que los municipios tienen a su cargo las funciones de manejo integral de residuos sólidos urbanos, que consisten en la recolección, traslado, tratamiento, y su disposición final [45].

Los RME son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos [46].

Los residuos de manejo especial (RME) son los materiales que se generan en los procesos productivos o de servicios y que no reúnen las características para ser considerados residuos sólidos urbanos o residuos peligrosos [47].

2.2.5 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.

La Ley General para la Prevención y Gestión integral de los Residuos es la máxima ley en el territorio de México en materia de gestión de residuos [48], La ley en cuestión se ocupa tanto de la gestión de residuos sólidos urbanos no peligrosos como de la gestión de residuos peligrosos, y también incluye una tercera categoría de residuos conocidos como "residuos de manejo especial". Se basa en el Artículo 4 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, y fue promulgada durante la presidencia de Vicente Fox Quezada el 8 de octubre de 2003.

La ley general establece una serie de principios fundamentales, que incluyen:

La prevención, valorización y manejo integral de los residuos bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social.

La responsabilidad compartida de productores, consumidores y autoridades.

El generador de residuos es responsable de los costos de su disposición.

Los sitios afectados por la disposición inadecuada de residuos deben ser rehabilitados para dejar de ser una fuente de contaminación.

La producción debe llevarse a cabo en condiciones ambientales eficientes, en términos de uso de recursos, insumos y generación de residuos.

2.3 Teoría de Diseño de Experimentos.

2.3.1 Diseño Factorial.

El término diseño factorial se refiere a la técnica experimental en la que todas las posibles combinaciones de los niveles de factores son investigadas en cada ensayo o réplica completa del experimento. Cuando los factores se incluyen en un diseño factorial, se dice que están cruzados [49].

El efecto de un factor se define como el cambio en la respuesta producido por un cambio en el nivel del factor. Con frecuencia se le llama efecto principal por que se refiere a los factores de interés primario en el experimento [50].

Un diseño factorial es un tipo de experimento que permite investigar los efectos que varios factores tienen sobre una respuesta. Al modificar simultáneamente los niveles de todos los factores, en lugar de hacerlo de manera individual, se pueden estudiar las interacciones entre ellos. Un diseño fraccionado implica que los investigadores solo realizan una selección de las corridas experimentales incluidas en el diseño factorial completo. Los diseños factoriales fraccionados son adecuados cuando se dispone de recursos limitados o cuando el número de factores es grande, ya que requieren menos corridas que los diseños factoriales completos.

2.3.2 Diseño de dos factores.

Los diseños experimentales que incluyen dos niveles para cada uno de los factores se conocen como diseños factorial 2^k . En otras palabras, estos diseños se usan cuando se lleva a cabo un experimento con k factores, y cada uno de ellos solo puede tener dos posibles niveles.

El diseño factorial incluye únicamente dos factores o conjuntos de tratamientos. Hay a niveles del factor A y b niveles del factor B, los cuales se disponen en un diseño factorial; es decir, cada réplica del experimento contiene todas las ab combinaciones de los tratamientos. En general hay n replicas [50].

Eco-tabique: 2 factores y 2 replicas

2.3.3 Superficie de respuesta.

La metodología de superficie de respuesta (MSR) se refiere a un conjunto de técnicas que permiten al investigador analizar una respuesta en forma de superficie, cuando los experimentos exploran el impacto que tienen los factores cuantitativos en los valores de una variable dependiente o respuesta [51]. El objetivo es encontrar los valores ideales para las variables independientes que maximicen, minimicen o satisfagan ciertas restricciones en la variable respuesta.

La MSR es un conjunto de técnicas matemáticas y estadísticas que son útiles para la modelización y análisis en aplicaciones en las que una respuesta de interés es influenciada por distintas variables y el objetivo es optimizar esta respuesta [52].

2.3.4 Análisis de Varianza. ANOVA.

Análisis de la Varianza es una fórmula estadística que se utiliza para comparar las varianzas entre las medias (o el promedio) de diferentes grupos. Una variedad de contextos lo utilizan para determinar si existe alguna diferencia entre las medias de los diferentes grupos [53].

En el campo de la estadística, el ANOVA es un conjunto de modelos estadísticos y técnicas relacionadas en las que se descompone la varianza en distintos componentes atribuidos a diversas variables explicativas. Este método se utiliza ampliamente en el análisis y diseño de experimentos para evaluar el impacto de los tratamientos en la variabilidad de la variable de respuesta.

Desarrollada por el genetista R. A. Fisher en los años 1920 y 1930, se conoce también como "Anova de Fisher" o "análisis de varianza de Fisher" debido al uso de la distribución F de Fisher como parte del contraste de hipótesis.

Este método, desarrollado por R. A. Fisher, es fundamental para casi todas las aplicaciones de la estadística. Una manera de abordar el análisis de varianza es considerarlo con una forma de comprobar si dos o más medidas muestrales pueden haberse obtenido de poblaciones con la misma media paramétrica respecto de una variable dada.

2.4 Marco contextual

El presente trabajo se enfoca en Los Mochis, una ciudad ubicada en el noroeste del estado de Sinaloa y es la cabecera del municipio de Ahome, uno de los dieciocho municipios del estado de Sinaloa. La administración del municipio está a cargo del ayuntamiento, compuesto por el presidente municipal y doce regidores, y es elegido para un mandato de tres años.

Es destacable el afán de la gente de Los Mochis por trabajar, incluyendo a jóvenes y amas de casa que buscan maneras de ser productivos desde sus hogares. La ciudad es famosa por producir el mejor jocoque del estado y por la habilidad de sus mujeres para elaborar adornos para el cabello y deliciosos postres. Muchos grandes emprendimientos comenzaron como negocios familiares, y Los Mochis no es la excepción. Además de la agricultura y la pesca, que son las principales fuentes de empleo, el impulso de los trabajadores de Los Mochis ha sido fundamental para el crecimiento de la ciudad. Estamos seguros de que este pueblo llegará muy lejos.

2.5 Marco referencial (antecedentes, estado del arte)

En este capítulo se abordan los orígenes del tabicón, la condición actual en los últimos años de la vivienda en México, la problemática del rezago habitacional y necesidades de vivienda, así como los escasos recursos económicos con que la mayoría de la población cuenta para la adquisición de la vivienda [54].

Desde la antigüedad se ha utilizado el tabique como elemento constructivo, y el término antiguo utilizado para designar el adobe proviene del término egipcio "dbt", que significa "tabique de barro crudo" [55]. La materia prima para la elaboración de tabiques es la arcilla, y los primeros núcleos de habitación que incluían construcciones hechas de material duradero aparecieron en Mesopotamia en el IX milenio a. C. En esa época, las casas rectangulares se construían en tapial, una mezcla de tierra, arcilla y elementos aglutinantes.

Durante el VIII milenio a. C., se detectaron viviendas en Mureybet construidas con bloques calcáreos unidos por mortero de arcilla, mientras que en Ali Kosh se utilizaron los primeros tabiques de adobe, aunque de tamaño muy pequeño y destinados a depósitos y pequeños almacenes. No fue hasta el año 5500 a. C. que comenzaron a construirse edificios con tabiques

de adobe. En el año 3000 a. C., se introdujo el tabique cocido, utilizado como elemento decorativo y revestimiento de muros construidos en adobe, como se observa en el Palacio de Nippur en Mesopotamia [55].

Durante la época del Imperio Romano, se popularizó el uso del tabique como principal componente de construcción. Este método de construcción permitió la edificación de grandes complejos monumentales del imperio, como edificios, casas, templos, muros y delimitaciones. Los romanos se convirtieron en los principales difusores del uso del tabique debido a su accesibilidad y a la posibilidad de producir grandes cantidades en un corto plazo de tiempo, lo que reducía los costos. Además, el tabique era un material muy resistente que se podía conseguir en diversas formas y tamaños. Los monumentos hechos con tabique podían ser recubiertos con piedra y estuco para mejorar su acabado [54].

Desde principios del año 200 a.C., los Romanos utilizaron el mortero de concreto para dar forma a las piedras que se usaban en la construcción de edificios en esa época. Durante el reinado de Calígula en el año 37-41 d.C., pequeños bloques de concretos prefabricados se emplearon como material de construcción en la región cercana a lo que hoy se conoce como Nápoles, Italia. A pesar de esto, gran parte de la tecnología desarrollada por los romanos se perdió tras la caída del imperio en el siglo V. No fue hasta 1824 cuando Joseph Aspdin, un inglés, desarrolló el cemento Portland, que se convirtió en un componente esencial del concreto moderno. El primer bloque de concreto fue diseñado en 1890 por Harmon S. Palmer en los Estados Unidos [54].

Después de 10 años de experimentación, Palmer patentó el diseño en 1900. Los bloques de Palmer fueron de 20.3 x 25.4 x 76.2 cm. En 1905, aproximadamente 1500 compañías estadounidenses se encontraban manufacturando bloques de concreto. Estos bloques eran sólidos sumamente pesados en los que se utilizaba la cal (Mortero) como material cementante. La introducción del cemento Portland y su uso intensivo, abrió nuevos horizontes a este sector de la industria [54].

A principios del siglo XX surgieron los primeros bloques para muros que eran huecos, y su ligereza presentaba muchas ventajas. Al principio, las máquinas utilizadas en la incipiente industria se limitaban a moldes metálicos simples, en los cuales se compactaba manualmente la

mezcla. Este método de producción se siguió utilizando hasta la década de los años veinte, cuando aparecieron las primeras máquinas con martillos accionados mecánicamente. Posteriormente, se descubrió que era más conveniente utilizar la compactación basada en vibración y compresión. En la actualidad, las máquinas más modernas y eficientes utilizan el sistema de vibrocompactación para la elaboración de bloques de concreto. Los bloques son principalmente usados como materiales de construcción de paredes, y la mayoría de ellos tiene una o más cavidades y pueden tener lados planos o con algún diseño.

Ya en la construcción, los bloques de concreto son colocados uno a la vez con cemento fresco, para formar el alto y el ancho deseado de la pared.

En la actualidad se hace notar la necesidad de construir viviendas con otro tipo de materiales más resistentes, que permitan una mayor durabilidad en estas. Hoy en día la palabra tabique solo se usa para designar a las piezas rectangulares de 24 cm de largo por 12 cm de ancho y 7 cm de alto en promedio los cuales están hechos de Granzón o Arena, Tepecil o Tepojal, Cemento y Agua [54].

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Introducción al capítulo

El apartado de supuestos del estudio para la reconstrucción de datos es esencial para establecer una base teórica sólida que permita al investigador justificar los diferentes aspectos del proyecto de investigación. En este sentido, se debe poner especial atención en la selección de los conceptos teóricos que, y como se van a operacionalizar, ya que esto tiene un impacto directo en la calidad de los datos que se obtienen y en la capacidad del investigador para responder a los objetivos de la investigación.

Es importante destacar que, para garantizar la validez y la confiabilidad de los resultados obtenidos, es necesario contar con el respaldo de expertos en la temática que puedan evaluar la pertinencia de los supuestos del estudio y ofrecer recomendaciones para su mejora [56].

3.2 Tipo de investigación

3.2.1 Hipótesis

El tabique cumplirá con los requerimientos físicos y mecánicos necesarios para cumplir con la norma mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2012 “Industria de la construcción-bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural, especificaciones y métodos de prueba”, la cual establece una resistencia mecánica mínima de $70\text{Kg/cm}^2 \pm 10\text{Kg/cm}^2$.

3.2.2 Población (es) y selección de la muestra (s)

Resumen del diseño

- Diseño factorial: 2^2
- Factores: 2
- Corridas: 8

3.2.3 Descripción de la muestra

En un diseño factorial 2 a la 2 con dos réplicas, se evalúan dos factores con dos niveles cada uno. Se hacen dos repeticiones de cada combinación de niveles, lo que da un total de ocho unidades experimentales en la muestra.

Tabla 16. Diseño Factorial 2² con 2 réplicas.

FACTOR		NIVELES	
		BAJO	ALTO
A	PET	1500 g	2000 g
B	CAUCHO	100 g	200 g

Tabla 17. Diseño factorial propuesto para las pruebas del eco-tabique.

OrdenEst	Orden Corrida	PtCentral	Bloques	PET	CAUCHO	Resistencia en Kg/cm ²
3	1	1	1	-1	1	
1	2	1	1	-1	-1	
5	3	1	1	-1	-1	
6	4	1	1	1	-1	
4	5	1	1	1	1	
8	6	1	1	1	1	
2	7	1	1	1	-1	
7	8	1	1	-1	1	

3.2.4 Definición conceptual, operativa e instrumental de las variables

Reynolds define una definición operacional como una serie de pasos que indican las actividades necesarias para que un observador perciba las impresiones sensoriales que sugieren la existencia de un concepto teórico, en mayor o menor grado. Una definición operacional

establece las operaciones necesarias para medir una variable y para interpretar los datos obtenidos [57].

Según una definición operacional, para obtener datos sobre una variable se deben realizar ciertos procedimientos específicos. Esta definición también describe los procesos o acciones necesarios para identificar ejemplos de un concepto determinado [58].

3.2.5 Técnicas instrumentos utilizados para la recolección de datos.

- Selección y recolección de materiales de residuo (*PET y caucho vulcanizado*)

Durante la recolección de residuos en la ciudad de Los Mochis se seleccionaron envases de PET para su tratamiento posterior. Para poder ser triturados, fue necesario retirar las etiquetas y reducir el tamaño de los envases cortándolos por la mitad o en varias partes, según su tamaño.

Este proceso de selección y tratamiento de los envases de PET es una práctica esencial en la gestión de residuos, ya que permite reciclar los materiales y reducir el impacto ambiental de los desechos en la ciudad.

Al promover esta práctica, se contribuye a la protección del medio ambiente y se fomenta una cultura de reciclaje entre la población.

- Molienda de residuos

En primer lugar, se intentó la trituración de los envases de PET en un molino de 10 hp, lo que resultó en una partícula de aproximadamente 0.3 pulgadas. Desafortunadamente, esta partícula no produjo la consistencia y resistencia esperadas en el tabique resultante. Posteriormente, se encontró una recicladora que tritura los envases de PET y obtiene diferentes tamaños de partículas.

Aunque la molienda produce pérdidas de producto, los residuos resultantes contienen partículas de diferentes tamaños, que van desde 0.002 pulgadas hasta 0.65 pulgadas. Por esta razón, se decidió trabajar con los residuos de la recicladora para la fabricación del tabique.

- Molde

Para llevar a cabo la investigación, se consideró importante que el producto final tuviera las mismas dimensiones que un tabique estándar. Por esta razón, se utilizó como referencia un tabique de JAL que mide 26 cm x 10 cm x 14 cm, y se cortó la madera en estas mismas medidas. Para facilitar la extracción del molde del tabique semi-seco sin dañar el producto, se incorporaron pequeñas bisagras, broches y clavos al molde, lo que permitió un uso más seguro y ergonómico.

- *Tamizado*

Al analizar el material a utilizar, se encontraron partículas de tamaño demasiado grande que podían afectar la calidad y resistencia del tabique final. Por esta razón, se decidió utilizar el proceso de tamizado para reducir el tamaño de las partículas y lograr una mezcla más homogénea y consistente.

Luego de llevar a cabo el proceso de tamizado, se obtuvo un tamaño promedio de partícula que permitió obtener la calidad y resistencia deseadas en el tabique final.

- *Generación de modelo experimental*

Una vez definido el modelo experimental, se procedió a realizar las pruebas correspondientes, variando la proporción de los materiales en cada una de ellas. Se midió la resistencia y la durabilidad de los tabiques obtenidos, y se registraron los resultados para su posterior análisis.

Con base en los datos obtenidos, se ajustaron las proporciones de los materiales y se realizaron nuevas pruebas hasta encontrar la mezcla ideal que permitió obtener tabiques con la resistencia y durabilidad esperadas.

- *Fabricación de tabiques utilizando las diferentes mezclas obtenidas del modelo planteado*

Se llevó a cabo cada uno de los experimentos con una cuidadosa consideración del tiempo de curado y secado, a fin de poder comparar de manera efectiva el comportamiento de cada una de las mezclas.

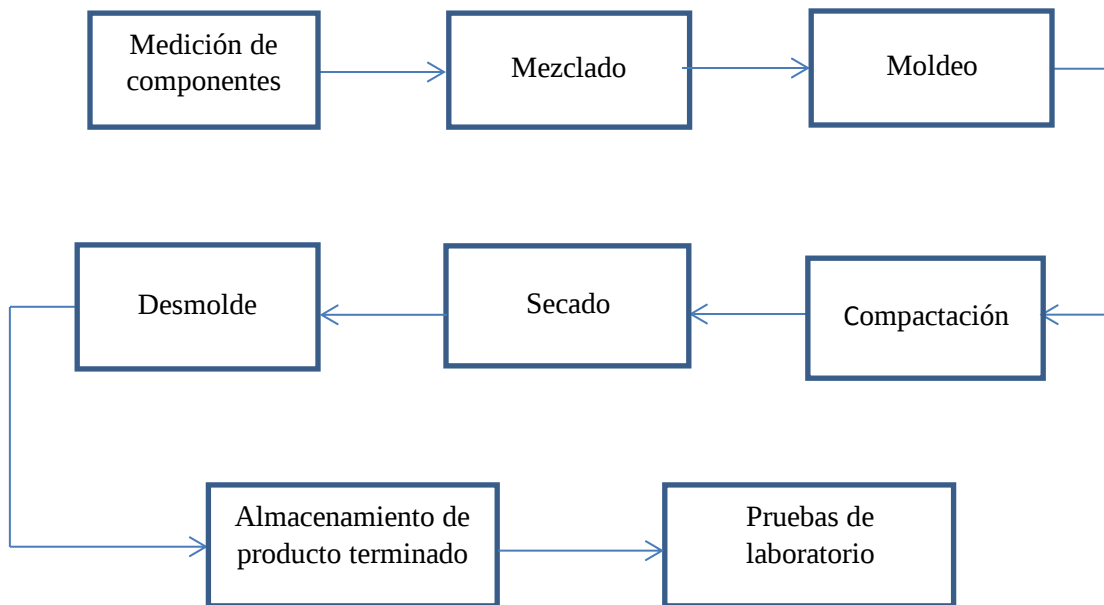


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de producción de tabique. Fuente: Elaboración propia.

3.2.6 Procedimientos para la recolección de los datos

- *Ensayo para el análisis de datos*

El proceso del ensayo de acuerdo con la norma NMX-C-036-ONNCCE-2013 “Industria de la construcción – blocks, tabiques ladrillos, tabicones y adoquines – resistencia a la compresión – método de prueba” fue el siguiente:

1.- En primer lugar, se coloca la cantidad necesaria de azufre en polvo en un recipiente de aluminio para cabecear un espécimen. A continuación, se calienta el recipiente a fuego lento para que el azufre adquiriera una consistencia líquida y se agita con una varilla metálica para evitar que el azufre se adhiera al recipiente.

2.- Con ayuda de una brocha se agrega suficiente aceite al molde cabeceador para evitar que el azufre se adhiera una vez que se haya secado.

3.- Una vez que el azufre alcanza la consistencia fluida, se vierte rápidamente en el molde cabeceador. A continuación, se coloca el espécimen en el molde, procurando que las caras que

quedarán adyacentes a las paredes del molde estén en contacto para garantizar una superficie cabeceada uniforme. Es importante que se realice con rapidez para evitar que el azufre se enfríe y solidifique antes de completar el proceso.

NOTA: La colocación del espécimen se llevó a cabo rápidamente debido a la rápida solidificación del azufre.

4. Una vez que se ha cabeceado una cara del espécimen, se repite el proceso de vertido y colocación en la cara opuesta del mismo.

5. Después de cabecear todos los especímenes, se procede a someterlos a una prueba de compresión en la máquina universal, siguiendo la norma mexicana NMX-C-036-ONNCCE-2004. Los valores obtenidos de la resistencia de los tabiques, expresados en kg/cm², se utilizarán posteriormente para calcular la resistencia de cada espécimen según lo indica la norma, mediante la fórmula correspondiente.

$$R = \frac{F}{A}$$

Donde:

R = Resistencia

F = Fuerza aplicada

A = Área de superficie

6. Las placas de acero se colocan en la parte inferior y superior del espécimen analizado, procurando que quede centrado lo más posible en las barras compresoras, con el fin de lograr una transmisión uniforme de la carga aplicada.

7. Una vez colocados los especímenes correctamente, se procede a probarlos de acuerdo a lo que indica la norma: se aplica la carga en la prensa, especificando la dirección de aplicación (hacia arriba o hacia abajo), la presión y la velocidad con la que se aplicará dicha carga.

8. La presión debe detenerse cuando el espécimen haya fallado, lo cual se puede notar a simple vista.

9. Se registra la fuerza aplicada a cada espécimen cuando ocurre la falla.

3.2.7 Herramientas y estrategias para el análisis e interpretación de los datos

Se llevó a cabo un análisis factorial 2^2 con dos réplicas para el estudio de los datos. Este tipo de experimento, también conocido como diseño factorial completo, consiste en dos factores con diferentes valores o niveles, y todas las combinaciones posibles de estos niveles son evaluadas en todas las unidades experimentales. El propósito de este experimento es analizar tanto el impacto de cada factor en la variable de respuesta como el impacto de la interacción entre los factores en esa misma variable.

Por ejemplo, si se tienen dos factores y dos niveles en cada uno, el diseño factorial sería 2×2 y habría un total de cuatro combinaciones de tratamiento.

En caso de que el número de combinaciones en un diseño factorial completo sea demasiado alto para procesar, se puede optar por un diseño factorial fraccional, donde algunas de las combinaciones posibles son omitidas.

En 1926, Ronald Fisher propuso que los diseños complejos, como los diseños factoriales, eran más eficientes que el análisis de un solo factor en un momento dado. Fisher expresó su opinión contraria a la creencia popular de que se debe hacer pocas preguntas a la naturaleza y preferiblemente hacerlas una por una. Según él, este punto de vista está completamente equivocado. Los diseños factoriales permiten determinar el efecto de varios factores y sus interacciones con el mismo número de ensayos que se necesitan para determinar cualquier efecto individual con el mismo grado de precisión. A continuación, se presenta el análisis que se llevó a cabo en la realización de dicha investigación: **Diseño Factorial 2^2 con 2 réplicas.**

Variable de Salida: Resistencia del Eco-tabique

Tabla 18. Factores y niveles del Eco-tabique.

		NIVELES	
		BAJO	ALTO
A	PET	1500 g	2000 g
B	CAUCHO	100 g	200 g

Tabla 19. Diseño de Experimento.

OrdenEst	Orden Corrida	PtCentral	Bloques	PET	CAUCHO	Resistencia en Kg/cm ²
3	1	1	1	-1	1	66.2
1	2	1	1	-1	-1	47.7
5	3	1	1	-1	-1	40.0
6	4	1	1	1	-1	45.0
4	5	1	1	1	1	46.8
8	6	1	1	1	1	47.5
2	7	1	1	1	-1	50.7
7	8	1	1	-1	1	68.9

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
3.51689	93.37%	88.40%	73.48%

De acuerdo con el resumen del modelo, R-cuadrado es de 93.37%, es decir, se explica alrededor del 93% la resistencia del tabique, es explicada por el material PET, Caucho y la interacción entre el PET y el Caucho.

3.2 Diseño de investigación

1.- En el primer paso se llevó a cabo la selección y recolección de materiales de residuo (PET y caucho vulcanizado) para poder reutilizarlos en la elaboración de los tabiques.

2.- Se procedió a la molienda de los residuos en diferentes tamaños para su posterior análisis.

3.- Se seleccionó las diferentes dimensiones de PET y caucho para las futuras combinaciones.

4.- Se buscó las proporciones y condiciones óptimas para mezclar los materiales, utilizando un diseño experimental factorial y análisis de correlación para obtener una muestra óptima.

5.- Se generó un modelo experimental para encontrar la mezcla óptima de tabique.

6.- Se fabricaron los diferentes tabiques utilizando las diferentes mezclas obtenidas del modelo planteado. Este paso es uno de los más importantes, ya que aquí se elaborarán los diferentes tabiques con diferentes mezclas.

7.- Los tabiques ya elaborados se sometieron a pruebas de calidad en un laboratorio para asegurar su resistencia y durabilidad.

8.- Los datos obtenidos a partir de las pruebas realizadas se recolectaron y analizaron para su posterior análisis.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Introducción al capítulo.

Esta sección indica un análisis estadístico sobre el eco-tabique, el cual se considera como una solución viable para reducir la contaminación generada por los residuos de PET y caucho. Se describen las características y beneficios del eco-tabique, así como la forma en que su producción y uso contribuyen a la reducción de los residuos de PET y caucho en el medio ambiente. El objetivo de este apartado es analizar cómo el uso del eco-tabique puede contribuir a la reducción de la contaminación generada por los residuos de PET y caucho.

4.2 Análisis e interpretación de los resultados, de acuerdo con cada una de las preguntas o hipótesis propuestas.

Tabla 20. Análisis de Varianza. Fuente: Elaboración propia.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	696.85	232.28	18.78	0.008
Lineal	2	398.64	199.32	16.12	0.012
PET	1	133.66	133.66	10.81	0.030
CAUCHO	1	264.99	264.99	21.42	0.010
Interacciones de 2 términos	1	298.20	298.20	24.11	0.008
PET*CAUCHO	1	298.20	298.20	24.11	0.008
Error	4	49.47	12.37		
Total	7	746.32			

Las hipótesis que se plantean para la prueba son:

H0: Las variables PET y CAUCHO no tienen un efecto significativo en la resistencia del material.

H1: Las variables PET y CAUCHO tienen un efecto significativo en la resistencia del material.

En el contexto de un análisis estadístico, se han evaluado los efectos de dos factores (PET y CAUCHO) en la resistencia de un material. Se han realizado pruebas de hipótesis y se han obtenido los valores de P, los cuales se comparan con el nivel de significancia (0.05) para determinar si se acepta o rechaza la hipótesis nula (H_0) que establece que no hay efecto significativo.

En el caso del factor PET, se ha obtenido un valor de P de 0.030, lo que significa que la probabilidad de obtener ese resultado por azar es menor al nivel de significancia (0.05). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa (H_1) que establece que el factor PET tiene un efecto significativo en la resistencia del material.

En el caso del factor CAUCHO, se ha obtenido un valor de P de 0.010, lo que también indica que la probabilidad de obtener ese resultado por azar es menor al nivel de significancia (0.05). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa (H_1) que establece que el factor CAUCHO tiene un efecto significativo en la resistencia del material.

Finalmente, se ha evaluado la interacción entre ambos factores (PET-CAUCHO) y se ha obtenido un valor de P de 0.008, lo que indica que la probabilidad de obtener ese resultado por azar es menor al nivel de significancia (0.05). Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa (H_1) que establece que la interacción PET-CAUCHO tiene un efecto significativo en la resistencia del material. Esto significa que la combinación de ambos factores tiene un efecto significativo en la resistencia del material, más allá de los efectos individuales de cada factor.

4.2.1 Diagrama de Pareto o de efectos estandarizados

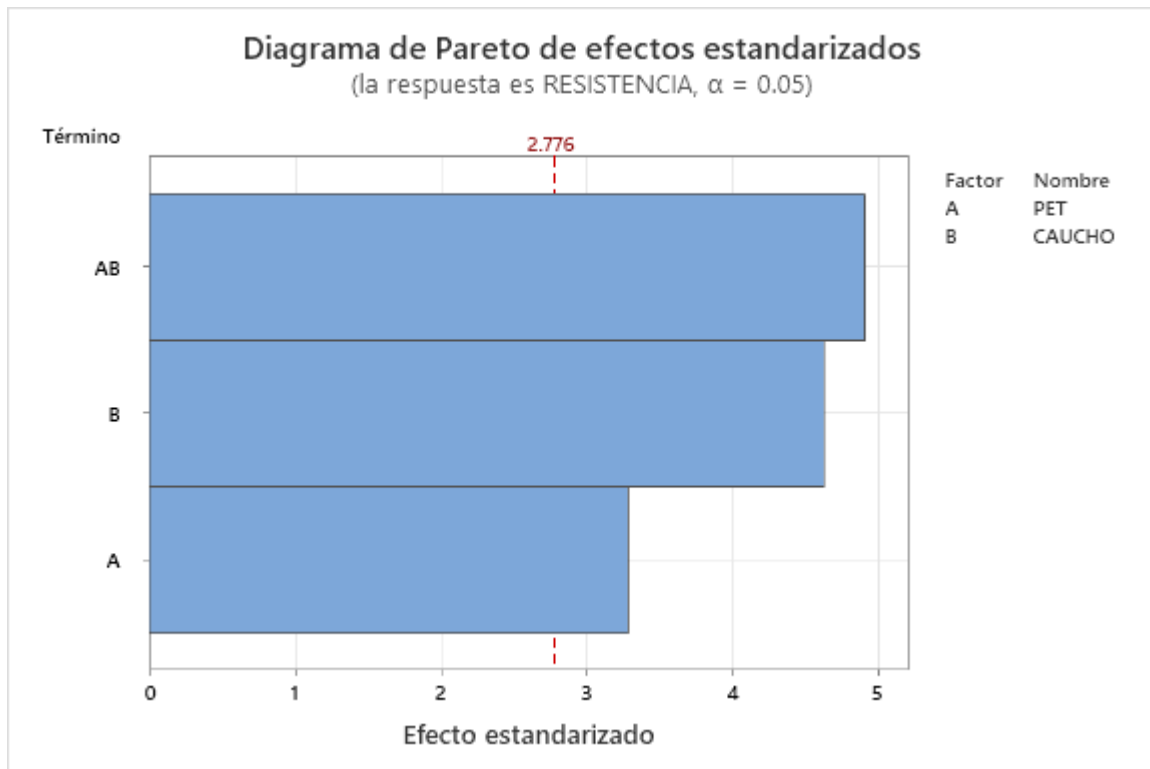


Figura 3. Diagrama de Pareto o de efectos estandarizados. Fuente: Elaboración propia El

Diagrama de Pareto es una herramienta utilizada para analizar la frecuencia de los problemas en un proceso y determinar cuáles son los más importantes. En este caso, se utilizó para analizar los factores que influyen en la resistencia mecánica del Eco-tabique.

Con un nivel de confianza del 5%, se encontró que las interacciones de PET y Caucho, así como los efectos principales de cada uno de ellos, tienen un efecto significativo en la variable respuesta de la resistencia mecánica del Eco-tabique. Esto significa que estos factores influyen en el resultado final, es decir, en la resistencia mecánica del Eco-tabique.

En otras palabras, el análisis muestra que tanto el PET como el Caucho, así como la interacción entre ellos, son factores importantes a considerar en la elaboración de Eco-tabiques, ya que tienen un impacto significativo en la resistencia mecánica del producto final. Por lo tanto, es necesario tener en cuenta estos factores al desarrollar y mejorar los procesos de producción de Eco-tabiques para garantizar su calidad y resistencia.

4.2.2 Supuestos Del Modelo

4.2.2.1 Normalidad

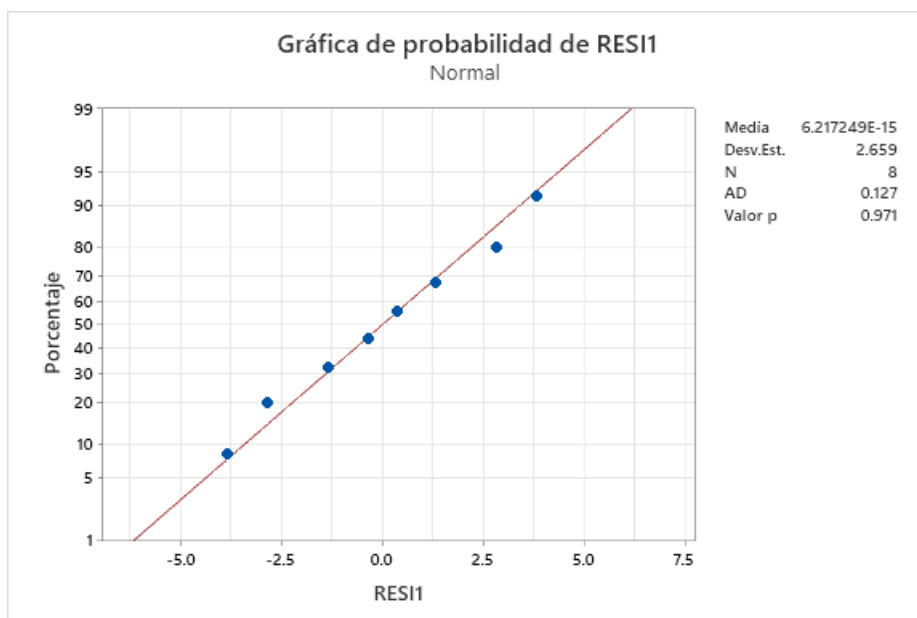


Figura 4. Gráfica de Probabilidad de Resistencia. Fuente: Elaboración propia

La prueba Anderson-Darling es un estadístico utilizado para evaluar el grado de ajuste de un conjunto de datos a una distribución específica. Si la distribución elegida se ajusta bien a los datos, el valor del estadístico Anderson-Darling será bajo.

Las hipótesis que se plantean para la prueba son:

- H_0 : Los datos siguen la distribución especificada.
- H_1 : Los datos no siguen la distribución especificada.

En este caso, después de realizar la prueba Anderson-Darling con un nivel de confianza del 95%, se obtuvo un valor P de 0.975 y un nivel de significancia de 0.025. Esto significa que se puede aceptar la hipótesis nula (H_0) y rechazar la hipótesis alternativa (H_1) ya que el valor P es mayor a 0.05. Por lo tanto, se puede concluir que el modelo sigue una distribución normal.

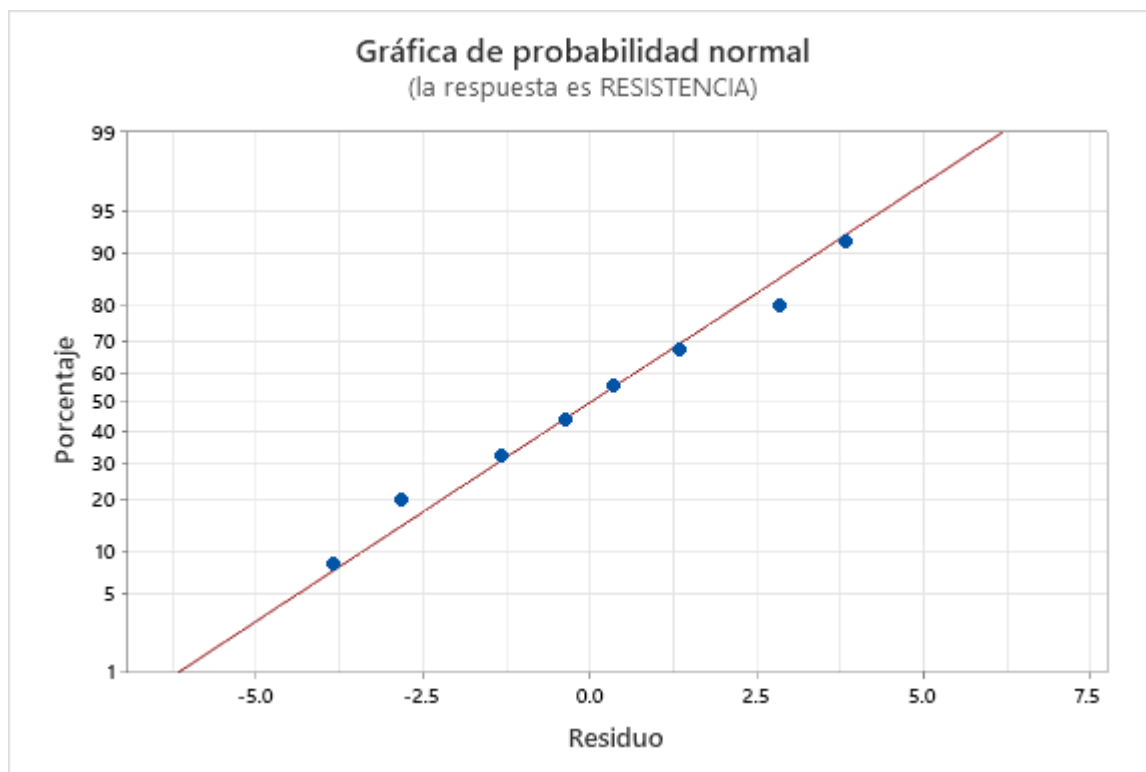


Figura 5. Gráfica de probabilidad normal. Fuente: Elaboración propia.

En la Gráfica de probabilidad normal los valores se ajustan a una función lineal, esto significa que no se aprecian datos atípicos dentro de la experimentación y se determina la normalidad del modelo.

En esta gráfica de probabilidad normal, los puntos generalmente siguen una línea recta. No hay evidencia de no normalidad, valores atípicos o variables no identificadas.

4.2.2.2 Varianza Constante

La alineación de puntos en las gráficas (ver anexos) de Residuos versus PET, Residuos versus CAUCHO y Residuos versus ajuste confirma la suposición de varianza constante en el modelo, lo que es un indicador importante para garantizar la validez de los resultados. Por lo tanto, se puede concluir que el modelo cumple con el supuesto de homogeneidad de varianzas y se considera válido para su uso en el análisis estadístico.

4.2.2.3 Independencia:

La afirmación de que la suposición de independencia se confirma debido a que existe una dispersión entre los datos es correcta. Esto significa que los puntos de datos en la gráfica están dispersos sin seguir un patrón definido o una tendencia clara. En otras palabras, no hay una relación predecible entre los datos.

La presencia de dispersión en la gráfica es una indicación de que los datos son independientes y no están relacionados entre sí. Por lo tanto, se puede asumir que la suposición de independencia se cumple en este caso.

4.2.3 Efectos principales

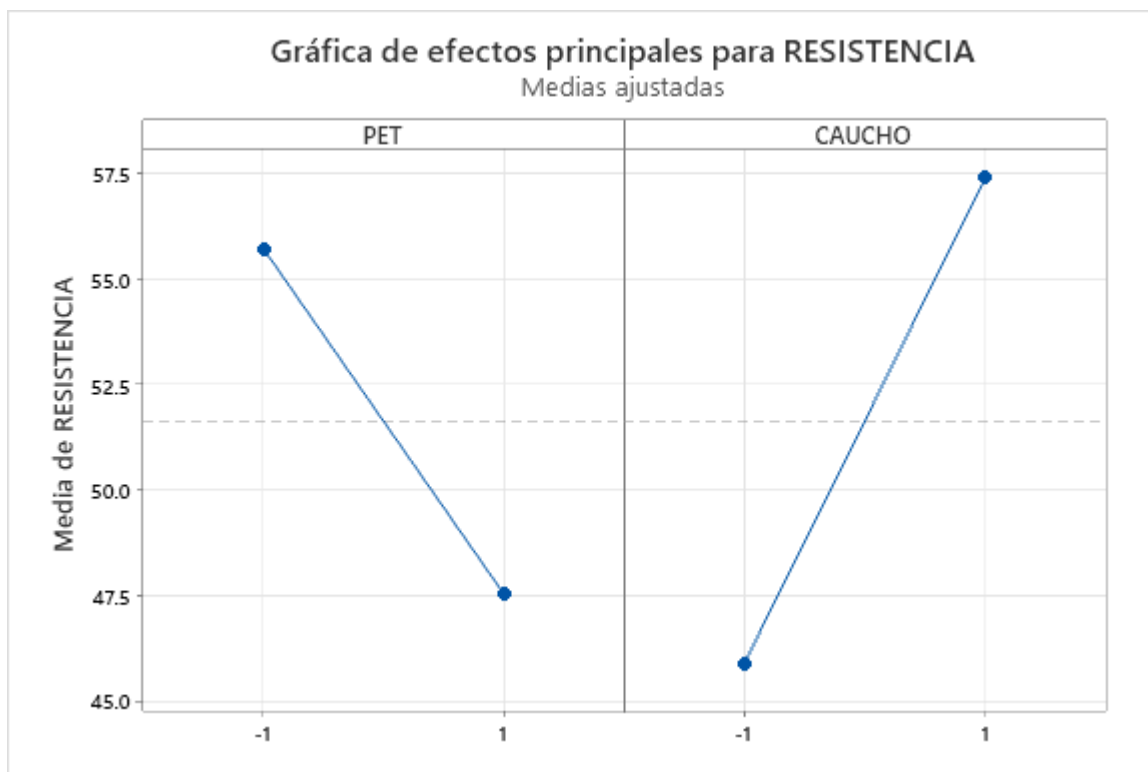


Figura 6. Gráfica de efectos principales. Fuente: Elaboración propia.

La gráfica de efectos de interacción es una herramienta estadística que se utiliza para analizar cómo los factores o variables afectan a una determinada respuesta o resultado. En este

caso, la respuesta o resultado que se está midiendo es la resistencia del eco-tabique. Los factores que se están evaluando son el PET y el caucho.

La gráfica muestra que el factor PET tiene un efecto negativo en la resistencia del eco-tabique en el nivel bajo. Esto significa que cuando la cantidad de PET es baja, la resistencia del eco-tabique disminuye. Por otro lado, el factor caucho tiene un efecto positivo en la resistencia del eco-tabique. Esto indica que cuando la cantidad de caucho aumenta, la resistencia del eco-tabique también aumenta.

La gráfica de efectos de interacción indica que la cantidad de PET tiene un efecto negativo en la resistencia del eco-tabique en niveles bajos, mientras que la cantidad de caucho tiene un efecto positivo en la resistencia del eco-tabique. Este tipo de análisis es útil para identificar los factores que influyen en un resultado determinado y para optimizar el diseño o proceso para obtener los mejores resultados posibles.

4.2.4 Efectos de interacción

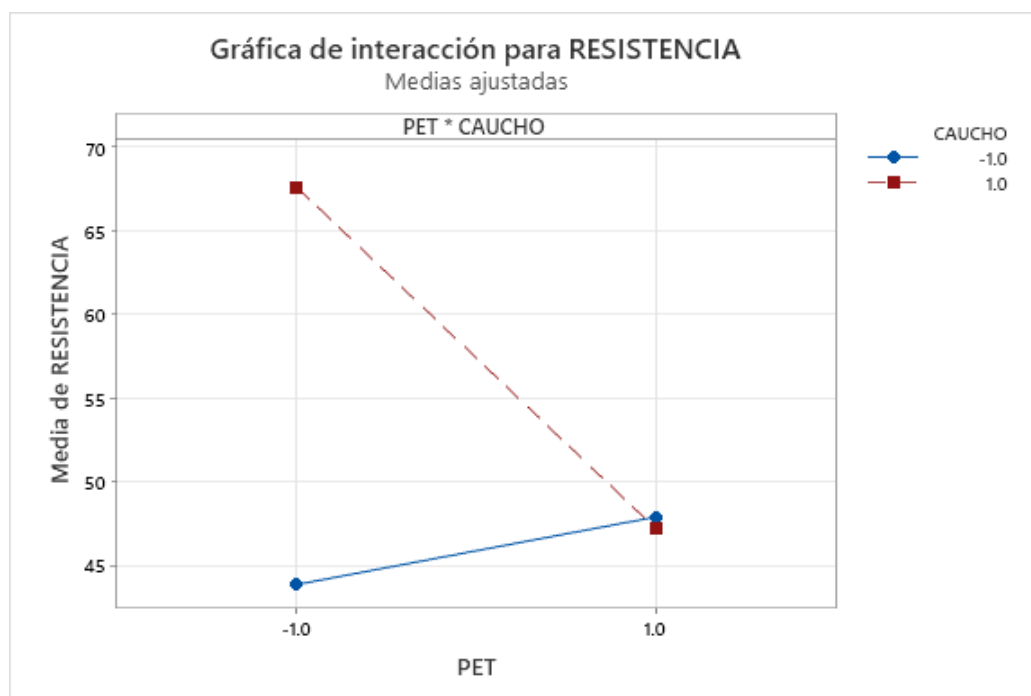


Figura 7. Gráfica de Efectos de Interacción. Fuente: Elaboración propia

La gráfica de efectos de interacción es una herramienta estadística que se utiliza para analizar cómo los factores o variables afectan a una determinada respuesta o resultado. En este

caso, la respuesta o resultado que se está midiendo es la resistencia del eco-tabique. Los factores que se están evaluando son el PET y el caucho.

La gráfica muestra que el factor PET tiene un efecto negativo en la resistencia del eco-tabique en el nivel bajo. Esto significa que cuando la cantidad de PET es baja, la resistencia del eco-tabique disminuye. Por otro lado, el factor caucho tiene un efecto positivo en la resistencia del eco-tabique. Esto indica que cuando la cantidad de caucho aumenta, la resistencia del eco-tabique también aumenta.

Por lo anterior, la gráfica de efectos de interacción indica que la cantidad de PET tiene un efecto negativo en la resistencia del eco-tabique en niveles bajos, mientras que la cantidad de caucho tiene un efecto positivo en la resistencia del eco-tabique. Este tipo de análisis es útil para identificar los factores que influyen en un resultado determinado y para optimizar el diseño o proceso para obtener los mejores resultados posibles.

4.2.5 Gráfica de cubos.

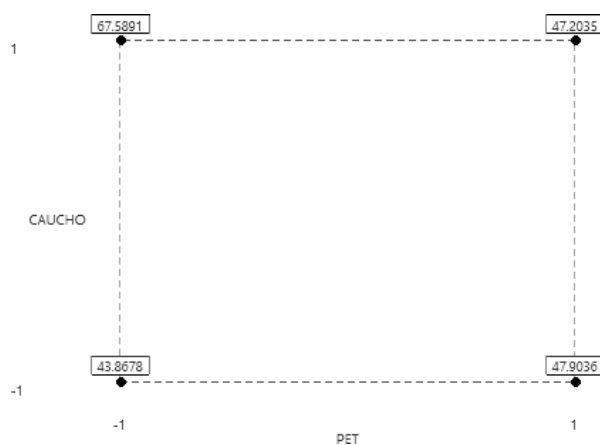


Figura 8. Gráfica de cubos. Fuente: Elaboración propia.

Conclusión de la gráfica de cubo:

La mejor combinación para aumentar la resistencia del tabique es:

PET: (NIVEL BAJO, 1500)

CAUCHO: (NIVEL ALTO, 200)

4.2.6 Gráfica de Contorno

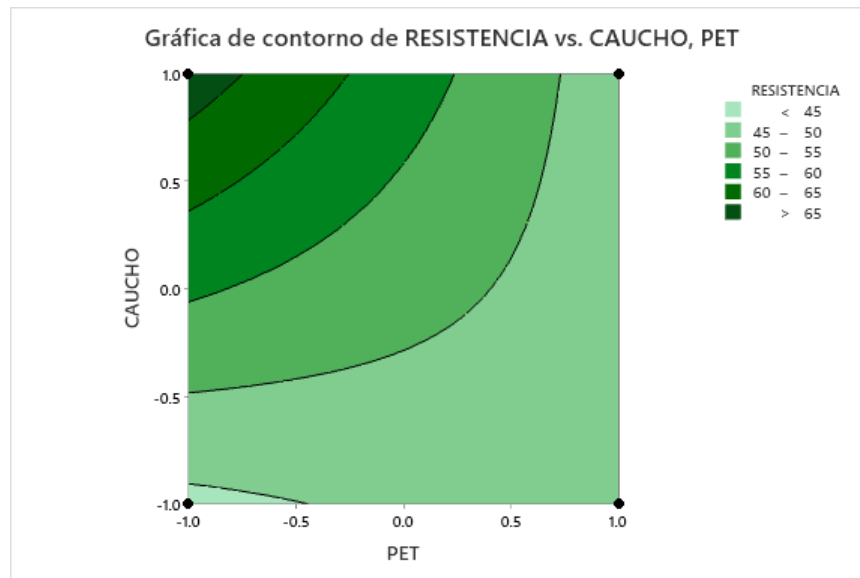


Figura 9. Gráfica de contorno. Fuente: Elaboración propia.

Según la Gráfica de Contorno, la mayor resistencia, que supera los 65 kg/cm², se encuentra representada por el tono verde oscuro. Esta resistencia se logra con la combinación de un valor alto de Caucho y un valor bajo de PET.

4.2.7 Gráfica de superficie de Resistencia versus Caucho y PET

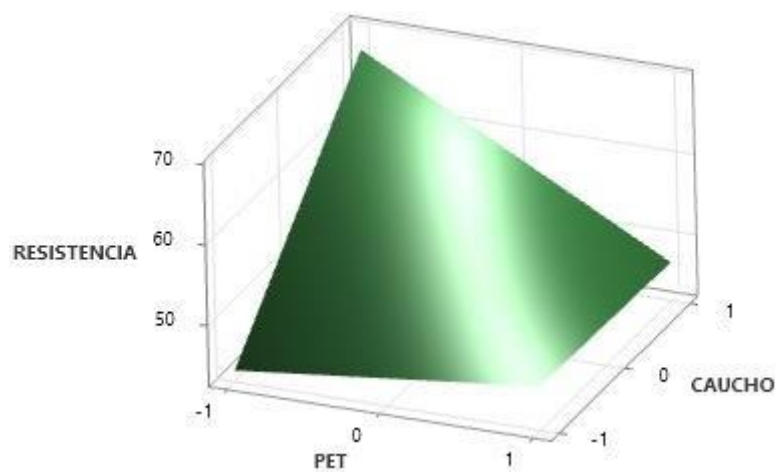


Figura 10. Grafica de Superficie de Respuesta. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la figura 10, la mayor resistencia mecánica del eco-tabique se visualiza en la superficie de PET con un nivel bajo (-1) y Caucho con un nivel alto (1), por lo que es la combinación óptima de esta investigación.

Predicción de respuesta múltiple

Variable	Valor de configuración			
PET	-1			
CAUCHO	1			

Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
RESISTENCIA	67.59	2.49	(60.68, 74.49)	(55.63, 79.55)

4.3 Estudio financiero.

El estudio financiero se refiere a una evaluación sistemática y detallada de la situación financiera de una empresa o proyecto, con el objetivo de analizar su rentabilidad, liquidez, solvencia y viabilidad económica. Este proceso implica la recopilación, análisis e interpretación de datos financieros y la elaboración de proyecciones y estrategias para mejorar la gestión financiera [59].

La inversión inicial para una empresa que elabora eco-tabiques puede variar dependiendo de varios factores, como la escala de producción, la ubicación de la planta, la tecnología utilizada y otros costos asociados con la puesta en marcha de la empresa. Sin embargo, a continuación, se presentan algunos costos de los elementos más importantes que se podrían incluir en una **estimación** de la inversión inicial:

Terreno: El costo del terreno dependerá de la ubicación y el tamaño necesario para la construcción de la planta. En promedio, el costo del terreno puede variar de \$ 500,000.00 a \$ 2,000,000.00.

Construcción de la planta: El costo de construir una planta para la elaboración de tabique macizo de arcilla dependerá del tamaño de la planta, la tecnología utilizada y otros factores. En promedio, el costo puede variar de \$ 1,000,000.00 a \$ 2,000,000.00.

Maquinaria y equipos: El costo de los equipos necesarios para la producción de tabique macizo de arcilla puede variar dependiendo del tamaño de la planta y la tecnología utilizada. En promedio, el costo puede variar de \$ 300,000.00 a \$ 700,000.00.

Materias primas: El costo de la arcilla y otros materiales necesarios para la producción del tabique dependerá de la calidad y la cantidad necesaria para la producción. En promedio, el costo puede variar de \$ 100,000.00 a \$ 200,000.00 de pesos mexicanos.

Personal: El costo de la contratación del personal necesario para la operación de la planta dependerá del tamaño de la planta y de la escala de producción. En promedio, el costo puede variar de \$ 500,000.00 a \$ 700,000.00 de pesos mexicanos.

En total, la inversión inicial para una empresa que elabora eco-tabiques en México puede ser de alrededor de \$ 2,400,000.00 a \$ 5,600,000.00. Es importante tener en cuenta que estos costos son estimados y pueden variar dependiendo de las condiciones específicas del proyecto. Para realizar un análisis financiero, necesitamos una inversión inicial, por lo que se tomó una media del rango de valores entre \$ 2,500,000.00 a 8,000,000.00 de pesos, lo que resulta: \$ 4,000,000.00.

4.3.1 Cálculo de Valor Anual Neto y Tasa Interna de Retorno

Para calcular los flujos de efectivo por cinco años de la empresa con una tasa de descuento del 15%, se aplica la fórmula del Valor Actual Neto (VAN) para cada año. La fórmula es:

$$VAN = \frac{\textit{Flujo de efectivo neto}}{(1 + \textit{tasa de descuento})^n}$$

Donde:

Flujo de efectivo neto es la diferencia entre los ingresos por ventas y los costos y gastos de producción.

Tasa de descuento es la tasa utilizada para descontar los flujos de efectivo futuros al presente. En este caso, es del 15%.

n es el número de años.

Asumiendo que la inversión inicial es de 4,000,000 de pesos, y que la utilidad del ejercicio anual se mantiene constante de \$1,300,910.00, se podría estimar los flujos de efectivo por la siguiente manera:

$$VAN = -4,000,000 + \frac{1,300,910.00}{(1 + .15)^1} + \frac{1,300,910.00}{(1 + .15)^2} + \frac{1,300,910.00}{(1 + .15)^3} + \frac{1,300,910.00}{(1 + .15)^4} + \frac{1,300,910.00}{(1 + .15)^5}$$

La TIR (Tasa Interna de Retorno) se puede calcular utilizando la siguiente fórmula:

$$0 = I_0 + \frac{FNE_1}{(1 + TIR)^1} + \frac{FNE_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{FNE_n}{(1 + TIR)^n}$$

Donde:

I_0 es el flujo de efectivo en el período cero (inversión inicial).

$FNE_1 + FNE_2 + FNE_n$ son los flujos de efectivo en los períodos 1, 2, ..., n.

TIR es la tasa interna de retorno que se desea calcular.

La TIR es la tasa de descuento que hace que el valor presente neto (VPN) de los flujos de efectivo sea igual a cero. Por lo tanto, para calcular la TIR, se resuelve esta ecuación para encontrar el valor de TIR que hace que el VPN sea igual a cero. Esto se puede hacer mediante métodos de prueba y error, utilizando software especializado o funciones de hojas de cálculo.

Una vez que se ha calculado la TIR, se puede comparar con la tasa de descuento requerida o la tasa de rendimiento esperada para determinar si la inversión es rentable. Si la TIR es mayor que la tasa de descuento requerida o la tasa de rendimiento esperada, entonces la inversión es rentable y se espera que genere ganancias en el futuro.

Por lo tanto, con una tasa de descuento del 15%, el VAN total de los cinco años de la empresa sería de \$ 360,852.00. Esto significa que, si la empresa invierte \$ 4,000,000.00 en el negocio de eco-tabiques, y considerando la producción y venta constante de, se espera que la empresa genere un valor presente neto positivo.

Para el cálculo de la Tasa Interna de Retorno se toma en cuenta la misma inversión inicial y los mismos flujos efectivos, por lo que queda lo siguiente:

Flujo de Efectivo Neto	
Año	Valor
1	\$ 1,300,910.00
2	\$ 1,300,910.00
3	\$ 1,300,910.00
4	\$ 1,300,910.00
5	\$ 1,300,910.00

Después de realizar los cálculos necesarios para determinar la TIR, se obtuvo un porcentaje del 19%. Esto indica que el proyecto es financieramente viable y se espera que genere ganancias en el futuro.

4.4 Resumen de los resultados obtenidos y las interpretaciones dadas en cada una de las preguntas o hipótesis.

Los siguientes resultados presentan que el eco-tabique cuenta con todas las características para perfilarse dentro de las mejores alternativas ecológicas para el aprovechamiento de desechos perjudiciales al ambiente. Contando con el equipo adecuado paramezclado, molienda, tamizado y moldeo o vibro compactación, es posible obtener un producto capaz de sustituir al tabicón de jal convencional, ya que se obtuvieron resistencias de 66.26

Kg/cm² y 76.28 Kg/cm² que cumplen totalmente con los requerimientos de la NMX-C-404-ONNCCE-2012.

4.5 Conclusiones

Después de realizar pruebas y análisis con diferentes combinaciones de PET y caucho en la elaboración de eco-tabiques, se ha determinado que la combinación óptima es utilizar un nivel bajo de PET (1500 g) y un nivel alto de caucho (200 g). Estos factores principales interactúan estrechamente y se consideran una de las mejores alternativas ecológicas para el aprovechamiento de desechos perjudiciales para el medio ambiente. Con estas combinaciones y utilizando la metodología descrita, se logra obtener eco-tabiques con una resistencia mecánica confiable, con un Intervalo de Confianza del 95%, varía la resistencia mecánica varía entre 60.69 kg/cm² y 74.49 kg/cm². Los eco-tabiques fabricados con la combinación anteriormente mencionada de PET y caucho cumplen con las normas mexicanas para la construcción, específicamente la NMX-C-404-ONNCCE-2012, que establece los estándares para la resistencia mecánica de materiales de construcción. Estos eco-tabiques presentan una resistencia mecánica promedio de 70 kg/cm² con un margen de error de ± 10 kg/cm².

Estos hallazgos son de gran importancia para la industria de la construcción, ya que ofrecen una solución sostenible y ecológica para la elaboración de materiales de construcción. La combinación de PET y caucho como componentes principales no solo reduce la dependencia de recursos naturales limitados, sino que también contribuye a la mitigación del impacto ambiental al aprovechar desechos perjudiciales.

Esta investigación, se considera un desarrollo importante en la industria de la construcción, ya que proporciona una alternativa viable y eficiente en términos de resistencia mecánica. Los eco-tabiques fabricados con esta combinación específica tienen la capacidad de resistir cargas estructurales y cumplir con los estándares requeridos para su aplicación en diversas construcciones.

Realizar el eco-tabique es factible por que cumple con las normas y cumple con los ejes del desarrollo sostenible, El uso de eco-tabiques no solo contribuye a la protección del medio ambiente, sino que también tiene implicaciones económicas favorables. Al reducir la disposición

final de plásticos y elastómeros, se logra un ahorro en costos asociados con el manejo de residuos. Además, esta alternativa se presenta en el mercado como una opción que responde a la oferta y demanda, generando una derrama económica dentro de la región.

Desde una perspectiva social, la fabricación de eco-tabiques a partir del reciclaje de llantas ofrece beneficios como la reducción de flora y fauna nociva relacionada con los desechos de llantas. Además, esta alternativa de material de mampostería puede contribuir a soluciones de vivienda y generar fuentes de trabajo, lo que impacta positivamente en la economía local.

En conclusión, la utilización de una combinación óptima de PET y caucho en la fabricación de eco-tabiques, con niveles bajos de PET y altos de caucho, ha demostrado ser una solución prometedora en términos de sostenibilidad y resistencia mecánica. Estos resultados abren nuevas posibilidades para la industria de la construcción, proporcionando una alternativa ecológica y confiable que puede tener un impacto significativo en la reducción del impacto ambiental y en la promoción de prácticas constructivas sostenibles.

4.6 Discusión y Recomendaciones.

Los resultados obtenidos a través de las pruebas y análisis realizados confirman que la combinación óptima de PET y caucho en la fabricación de eco-tabiques cumple con los estándares de resistencia mecánica establecidos por las normas mexicanas para la construcción. La resistencia promedio de 70 kg/cm², con un margen de error de ± 10 kg/cm², cumple con los requisitos de la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012. Esto demuestra la viabilidad técnica y la calidad de los eco-tabiques fabricados con esta combinación.

Además, se ha observado una estrecha interacción entre los factores principales (PET y caucho), lo que respalda la eficacia de esta combinación como una de las mejores alternativas ecológicas para el aprovechamiento de desechos perjudiciales para el medio ambiente.

El uso de materiales reciclados, como el PET y el caucho proveniente de llantas, contribuye a la reducción de residuos y al cumplimiento de los ejes del desarrollo sostenible.

Recomendaciones:

- Continuar investigando y explorando nuevas combinaciones de materiales para mejorar aún más las propiedades y características de los eco-tabiques. Se pueden realizar pruebas con diferentes proporciones de PET y caucho, así como evaluar la incorporación de otros materiales sostenibles.
- Realizar estudios adicionales para evaluar la durabilidad a largo plazo de los eco-tabiques fabricados con esta combinación óptima. Esto permitirá garantizar su resistencia y estabilidad en el tiempo, asegurando su desempeño a lo largo de la vida útil de las construcciones.
- Promover la adopción y uso de eco-tabiques en proyectos de construcción a nivel local y regional. Esto se puede lograr mediante campañas de concientización, capacitación a profesionales del sector de la construcción y estableciendo incentivos para el uso de materiales sostenibles.
- Establecer alianzas estratégicas con empresas de reciclaje y fabricantes de materiales de construcción para asegurar el suministro constante de PET y caucho reciclados. Esto permitirá mantener una cadena de suministro sostenible y garantizar la disponibilidad de los materiales necesarios para la fabricación de eco-tabiques.
- Fomentar la investigación y el desarrollo de técnicas de construcción que incorporen de manera eficiente los eco-tabiques. Esto implica colaborar con arquitectos, ingenieros y constructores para diseñar y aplicar soluciones constructivas que maximicen los beneficios de estos materiales sostenibles.
- Investigar y explorar nuevas combinaciones de materiales para mejorar aún más las propiedades y características de los eco-tabiques. Esto incluye investigar la resistencia al fuego de los eco-tabiques y buscar soluciones que mejoren su capacidad de resistir el calor y las llamas.
- Realizar estudios adicionales para evaluar la granulometría de los materiales utilizados en los eco-tabiques. Esto permitirá optimizar el tamaño de las partículas y asegurar una mezcla homogénea, lo cual puede influir en la resistencia y durabilidad del producto final.

- Investigar y evaluar la absorción de agua de los eco-tabiques. Es importante entender cómo estos materiales reaccionan frente a la humedad y si su capacidad de absorción puede afectar su rendimiento y estabilidad a largo plazo. Esto permitirá desarrollar eco-tabiques que sean más resistentes a la penetración de agua.

Referencias

- [1] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Gobierno de México, 15 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>.
- [2] I. Martinez Pita, «El piñero de la cuenca,» [En línea]. Available: <http://www.elpinerodelacuena.com.mx/epc/index.php/politica/23000-neumaticos-ruedas-imparables-de-contaminacion>.
- [3] S. Kaza, L. C. Yao, P. Bhada-Tata y F. Van Woerden, «What a Waste 2.0 : A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050,» World Bank Group, Washington, DC, 2018.
- [4] Llantrac, 24 Junio 2022. [En línea]. Available: <https://llantrac.com.mx/blog/reciclaje-de-llantas-en-mexico-como-vamos#:~:text=Se%20estima%20que%20en%20M%C3%A9xico,parte%20del%20reciclaje%20de%20llantas..> [Último acceso: 11 Septiembre 2022].
- [5] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2021*, Ciudad de México, 2021.
- [6] Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S. C., *Norma Mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2012 - Industria de la construcción-mampostería-bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural-especificaciones y métodos de ensayo*, Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación, 2012.
- [7] Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S. C., *Norma Mexicana NMX-C-307-1-ONNCCE - Resistencia al fuego de elementos y componentes-Especificaciones y métodos de ensayo-Parte 1: Elementos estructurales*, Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación, 2017.
- [8] Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S. C., *Norma Mexicana NMX-C-037-ONNCCE-2013 - Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones, método de ensayo*, Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación, 2013.
- [9] F. Pamplona, «La pandemia de COVID-19 en México y la otra epidemia,» Guadalajara, Jalisco, 2020.

- [10] Medio Ambiente, *Panorama general de las tecnologías de el reciclaje de plásticos en México y en el mundo*, México, 2020.
- [11] Naciones Unidas, *Objetivos del desarrollo sostenible*, Paris, 2015.
- [12] ONU, «Informe Brundland,» Nueva York, 1987.
- [13] J. R. Whinfield y J. Dickson, «Improvements in or relating to the Manufacture of Fibres,» Patent GB 587,309, 1946.
- [14] L. Terry y E. L. Richardson, *Industria del Plástico*, Paranfino, 2000.
- [15] M. Akkapeddi, A. Jain y H. Sunkara, «Processing and Characterization of PET Films,» vol. 56, n° 7, pp. 756-769, 2017.
- [16] A. Yamaguchi, K. Shimizu, T. Adachi y H. Hama, «Effects of Processing Conditions on the Mechanical Properties of Injection-Molded Polyethylene Terephthalate,» *Polymer Engineering and Science*, vol. 46, n° 11, pp. 1539-1545, 2006.
- [17] F. Garcia, *Proceso productivo y estudio estadístico de las propiedades de los ladrillos de arcilla de Piura*, Piura: Universidad de Piura, 1995.
- [18] P. Benyathiar, G. Carpenter, J. Brace y D. K. Mishra, «Polyethylene Terephthalate (PET) Bottle-to-Bottle Recycling for the Beverage Industry: A Review,» *Polymers*, vol. 14, n° 12, p. 2366, 2022.
- [19] M. Biéc y Et. Al., «Aprovechamiento del PET como estrategia de mejoramiento socio ambiental,» *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 24, 2020.
- [20] E. Lokensgard y T. Richardson, *Industria del plástico*, España: Ediciones Paraninfo, S.A., 1999.
- [21] B. Caballero Meza, O. Florez Lengua y J. L. A. Alvarez Carrascal, *Elaboración de bloques en cemento reutilizando el plástico polietilen-Tereftalato (PET) como alternativa sostenible para la construcción*, Cartagena, 2017.
- [22] M. P. G. Acosta, «An application of routing models for PET pickup for recycling (Presentation),» de *En IIE Annual Conference. Proceedings*, 2013.
- [23] M. Juárez, M. Santiago y J. Vera, «Estudio de Factibilidad para la Manufactura de Empuñaduras de Pet Reciclado,» *e-Gnosis*, vol. 9, pp. 1-12, 2011.

- [24] H. Rondón, E. Rodríguez y L. Moreno, «Resistencia Mecánica Evaluada en el Ensayo Marshall de Mezclas Densas en Caliente Elaboradas con Asfaltos Modificados con Desechos de Policloruro de Vinilo (Pvc), Polietileno de Alta Densidad (Pead) y Poliestireno (Ps),» *Revista Ingenierías*, vol. 7, pp. 91-104, 2007.
- [25] S. WF, *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*, McGraw-Hill, 1992.
- [26] J. R. Sánchez, «Segunda vida de los neumáticos usados. Química Viva,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86323612003>. [Último acceso: 11 Junio 2023].
- [27] REC-LLANT, *El deshecho de las llantas se ha convertido en un grave problema de contaminación*, Mexico, 2014.
- [28] Y. Fang, M. Zhan y Y. Wang, «The Status of Recycling of Waste Rubber.,» *Materials & Design*, vol. 22, nº 2, pp. 123-127, 2001.
- [29] G. Castro, *Materiales y compuestos para la industria del neumático*, Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, 2018.
- [30] W. Urrego-Yepes, S. M. Velásquez-Restrepo, D. H. Giraldo-Vásquez y J. C. Posada Correa, «REVISIÓN-EFECTO DEL SISTEMA DE VULCANIZACIÓN EN LA RED ENTRECruzADA Y EN LA REACCIÓN QUÍMICA DE VULCANIZACIÓN DEL CAUCHO NATURAL,» *Revista EIA*, vol. 14, nº 28, pp. 99-115, 2017.
- [31] Rubber Manufacturers Association, *Características de los neumaticos de desecho*, Washington D. C..
- [32] V. Anders, *Etimología de Septo*, Diccionario Etimológico Español en Líne, 2019.
- [33] F. Moreno, *El ladrillo en la construcción*, España: Ediciones CEAC, 1981.
- [34] H. Gallegos, *Albañilería estructural*, Perú: Fondo editorial PUC, 2005.
- [35] R. Schneider y W. Dickey, *Reinforced masonry design*, Englewood Cliffs: Prentice Hall Civil Engineering and Engineering Mechanics Series, 1980.
- [36] A. D. Río, *El Ladrillo*, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1975.
- [37] M. A. Moreno, *Tecnología del ladrillo*, Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, 1981.

- [38] S. Somayaji, *Handbook of Masonry: Materials and Applications*, McGraw Hill Professional, 2001.
- [39] C. Gallegos, *El Ladrillo en la construcción*, Universidad Autónoma de Baja California, 2005.
- [40] D. Rhodes, *Arcilla y vidriado para el ceramista*, Madrid: Ediciones CEAC.
- [41] Secretaria de Comunicaciones y Transportes, «Materiales para estructuras,» [En línea]. Available: <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-2-01-001-02.pdf>. [Último acceso: 2023 Julio 11].
- [42] Secretaria de Comunicaciones y Transportes, *Normativa para la infraestructura del transporte*, Cd. de México: SCT, 2002.
- [43] Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S. C., *Norma Mexicana NMX-C-038-ONNCCE-2004 Industria de la construcción - determinación de las dimensiones de ladrillos, tabiques, bloques y tabicones para la construcción*, Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación, 2004.
- [44] Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S. C., *Norma Mexicana NMX-C-077-ONNCCE-2019 - Industria de la Construcción-Agregados para Concreto-Análisis Granulométrico-Método de Ensayo*, Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación, 2019.
- [45] Gobierno de México, *Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial*, Ciudad de México, 2017.
- [46] Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, *LGPGIT*, Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación, Reformada el 8 de octubre de 2003 .
- [47] Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, «Residuos,» SEMANNAT, Ciudad de México, 2018.
- [48] Diario Oficial de la Federación, *Ley General para la prevención y gestión integral de los residuos*, Ciudad de México, 2021.
- [49] P. D. MEDINA VARELA y A. M. LOPEZ REYES, «ANÁLISIS CRÍTICO DEL DISEÑO FACTORIAL 2k SOBRE CASOS APLICADOS,» *Scientia Et Technica*, vol. XVII, n° 47, pp. 101-106, 2011.
- [50] D. Montgomery, *Diseño y análisis de experimentos*, Editorial Iberoamericana, 1991, p. 589.

- [51] G. E. P. Box y K. G. Wilson, On the experimental attainment of optimum conditions”, Journal of the Royal Statistical Society, 1951, pp. 1-45.
- [52] A. García-Díaz y D. T. Phillips , Principles of Experimental Design and Analysis, New York: Chapman & Hall, 1995.
- [53] M. Spiegel, J. Schiller y R. A. Srinivasan, Probabilidad y Estadística, 335-371 ed., México D.F.: McGraw-Hill, 2007.
- [54] C. Méndez Ramírez, *Determinación del comportamiento de edificación con mampostería*, Xalapa, Veracruz: Facultad de ingeniería Civil, Universidad Veracruzana, 2001.
- [55] D. Robles, *Tabique. En Diccionario de Arquitectura y Urbanismo*, 2020.
- [56] S. Palella y F. Martins, Metodología de la investigación científica en ciencias sociales, Buenos Aires: Editorial Brujas, 2010.
- [57] R. Hernández-Sampieri y Et al, *Metodología de la investigación (Vol. 4)*, México: McGraw-Hill Interamericana, 2018.
- [58] S. McGregor, *Validez concurrente y viabilidad de pruebas cortas comúnmente usadas para medir el desarrollo infantil temprano en estudios a gran escala: Metodología y resultados (No. IDB-WP-723)*, IDB Working Paper Series.
- [59] L. A. Gutiérrez, *Evaluación financiera de proyectos de inversión*, México: Pearson Educación, 2015.
- [60] Y. Sánchez, J. Ramírez, F. Quintero y Á. Serra, «Propiedades mecánicas y térmicas del polietilentereftalato (PET) y su aplicación en la industria de envases,» *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, vol. 39, nº 1, pp. 47-54, 2016.
- [61] J. C. Alarcón, M. G. López y J. Alderete, «Polímeros de alto rendimiento: Caracterización y aplicaciones,» *Revista de la Asociación Argentina de Materiales*, vol. 21, nº 1, pp. 43-50, 2011.
- [62] L. R. e. a. RODRÍGUEZ, «Factibilidad de uso del PET reciclado en elementos de cubiertas y envoltentes,» *Ingeniería. Revista de la Universidad de Costa Rica*, vol. 27, nº 2, pp. 40-55, 2017.

Anexos

ECO TABIQUE ESTADO DE RESULTADOS DEL 01 DE ENERO AL 31 DE DICIEMBRE DEL 2022

VENTAS TOTALES	\$ 12,200,000.00			
DEVOLUCIONES SOBRE VENTAS	\$ -			
REBAJAS SOBRE VENTAS	\$ -			
VENTAS NETAS			\$12,200,000.00	
PRODUCCION ANUAL	\$ 3,751,500.00			
GASTOS DE PRODUCCION	\$ 4,483,500.00			
PRODUCCION TOTAL	\$ 8,235,000.00			
PRODUCCION DEFECTUOSA	\$ 55,000.00			
MERMA DE PRODUCCION	\$ 20,000.00			
PRODUCCION NETA		\$ 8,160,000.00		
INVENTARIO INICIAL		\$ 990,000.00		
INVENTARIO DISPONIBLE		\$9,150,000.00		
MATERIA PRIMA REQUERIDA	\$ 3,751,500.00			
MANO DE OBRA	\$ 3,660,000.00			
GASTOS INDIRECTOS	\$ 823,500.00			
COSTO PRODUCCION	\$8,235,000.00			
INVENTARIO FINAL		\$385,000.00		
COSTO DE VENTAS			\$8,765,000.00	
UTILIDAD BRUTA			\$3,435,000.00	
SUELDOS ADMINISTRACION	\$ 570,000.00			
GASTOS DE PAPELERIA Y UTILES	\$ 21,600.00			
RENTA	\$ 240,000.00			
SERVICIOS	\$ 276,000.00			
GASTOS DE ADMINISTRACION		\$ 1,107,600.00		
	\$ -			
PUBLICIDAD Y PROPAGANDA	\$ 180,000.00			
GASOLINA	\$ 96,000.00			
MANTENIMIENTO DE MOB Y EPO	\$ 50,000.00			
GASTOS DE VENTA		\$ 326,000.00		
GASTOS DE OPERACIÓN			\$ 1,433,600.00	
UTILIDAD DE OPERACIÓN				\$2,001,400.00
PRODUCTOS FINANCIEROS			\$ -	
OTROS INGRESOS			\$ -	

INGRESOS DE NO OPERACIÓN			\$ -
GASTOS FINANCIEROS		\$ -	
OTROS GASTOS		\$ -	
GASTOS DE NO OPERACIÓN			\$ -
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO			\$ 2,001,400.00
IMPUESTOS			\$ 700,490.00
UTILIDAD DEL EJERCICIO DEL AÑO			\$1,300,910.00
DUEÑO DEL NEGOCIO		CONTADOR	

DATOS GENERALES DE ECO-TABIQUE

UNIDADES VENDIDAS DIARIAMENTE APROX	5,000	UNIDADES		
UNIDADES VENDIDAS ANUALMENTE	1,525,000			
DIAS TRABAJADOS AL AÑO	305			
PRECIO DE COSTO POR UNIDAD	\$ 5.50			
PRECIO DE VENTA POR UNIDAD	\$ 8.00			
INVENTARIO INICIAL UNIDADES	180,000	UNIDADES		
INVENTARIO FINAL UNIDADES	70,000	UNIDADES		
MATERIA PRIMA:				
CEMENTO POR UNIDAD	\$ 2.00			
ARENA POR UNIDAD	<u>\$ 0.05</u>			
	<u>\$ 2.05</u>	MANO OBRA	GTOS IND.	
GASTO DE PRODUCCION POR UNIDAD	\$ 2.45	\$ 2.00	0.45	
UNIDADES ANUALES PRODUCIDAS	1,830,000			
PRODUCCIÓN DIARIA	6,000	UNIDADES		
PRODUCCIÓN ANUAL	1,830,000	UNIDADES		
ANALITICA DE SUELDOS:				
RECEPCIONISTA	\$ 9,000.00			
VENDEDORA DE MOSTRADOR	\$ 11,000.00			
CAMIONERO	\$ 11,000.00			
ADMINISTRADORA	<u>\$ 16,500.00</u>			
SUELDOS MENSUALES	<u>\$ 47,500.00</u>			
ANALITICA DE GASTOS DE ADMINISTRACION:				
PAPELERIA	\$ 1,800.00			
RENTA LOCAL	\$ 20,000.00			
SERVICIO	\$ 23,000.00			
PUBLICIDAD	\$ 15,000.00			
GASOLINA	<u>\$ 8,000.00</u>			
GASTOS MENSUALES	<u>\$ 67,800.00</u>			

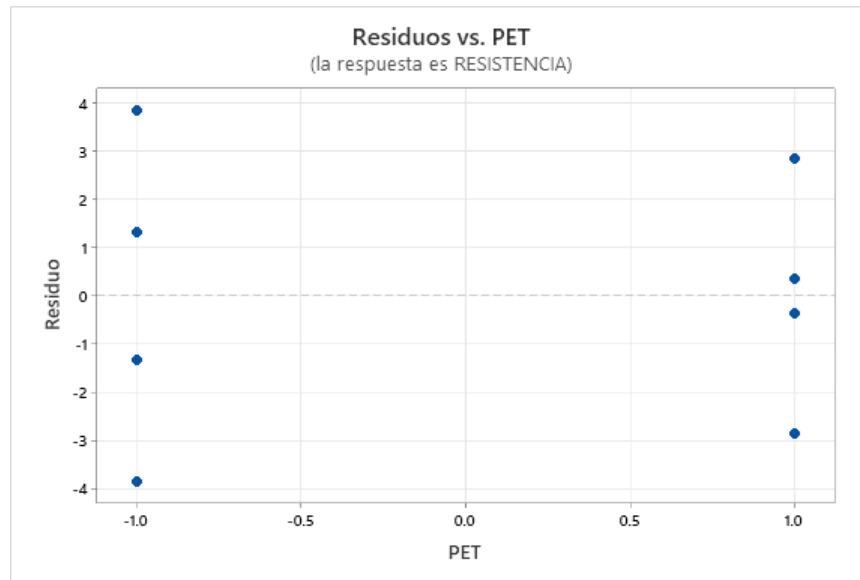


Figura 11. Gráfica de Residuos versus PET. Fuente: Elaboración propia.

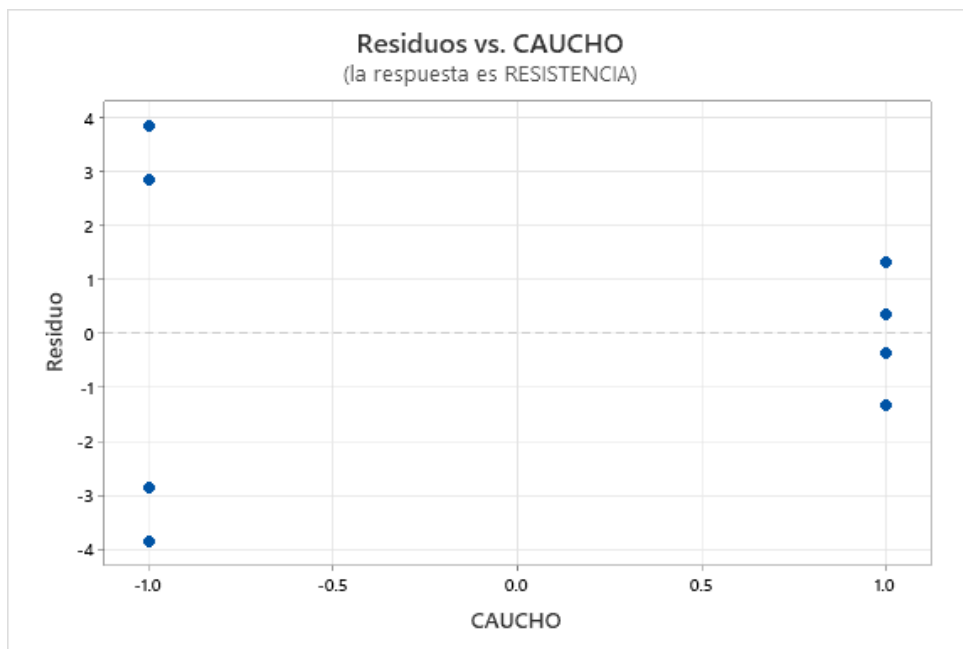


Figura 12. Gráfica de Residuos versus CAUCHO. Fuente: Elaboración propia.

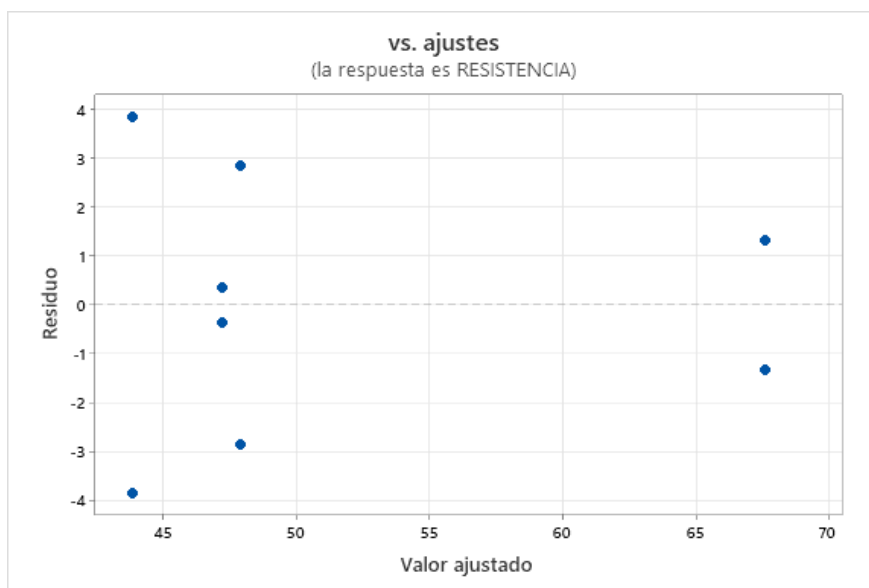


Figura 13. Gráfica de Residuos versus ajuste. Fuente: Elaboración propia.

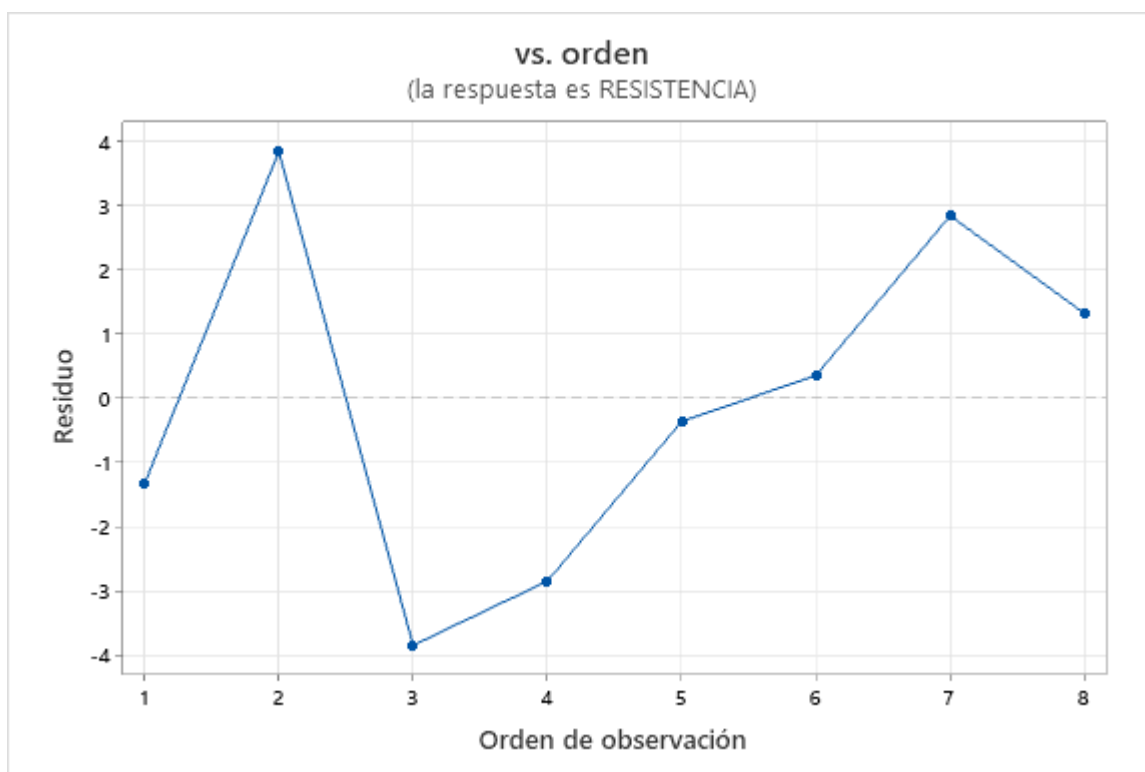


Figura 14. Gráfica de Residuos versus Orden. Fuente: Elaboración propia.