

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
EXTENSIÓN CANTAURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**PROPUESTA DE SISTEMA PARA PROTECCIÓN TÉRMICA  
PASIVA EN COLUMNAS DE ACERO ESTRUCTURAL CON  
LADRILLOS ECOLÓGICOS A BASE DE CONCRETO CON  
CONCHA DE MOLUSCOS *Crassostrea rhizophorae* y  
*Crassostrea virginica*.**

*Realizado por:*

**Br. Víctor David Ramírez Paz.**

Trabajo de grado presentado ante la universidad de oriente como requisito  
parcial para optar por el título de:

**INGENIERO CIVIL**

Cantaura, Marzo de 2022

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
EXTENSIÓN CANTAURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**PROPUESTA DE SISTEMA PARA PROTECCIÓN TÉRMICA  
PASIVA EN COLUMNAS DE ACERO ESTRUCTURAL CON  
LADRILLOS ECOLÓGICOS A BASE DE CONCRETO CON  
CONCHA DE MOLUSCOS *Crassostrea rhizophorae* y  
*Crassostrea virginica*.**

**ASESOR:**

---

**Prof. Jesús Álvarez**

Asesor Académico

Cantaura, Marzo de 2022

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
EXTENSIÓN CANTAURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



PROPUESTA DE SISTEMA PARA PROTECCIÓN TÉRMICA  
PASIVA EN COLUMNAS DE ACERO ESTRUCTURAL CON  
LADRILLOS ECOLÓGICOS A BASE DE CONCRETO CON  
CONCHA DE MOLUSCOS *Crassostrea rhizophorae* y  
*Crassostrea virginica*.

CALIFICACION

**APROBADO**

---

**Prof. Jesús S. Álvarez**

Tutor Académico

---

**Prof. Cabrera, Daniel**

Jurado Principal

---

**Prof. Rojas, Laurimar**

Jurado Principal

Cantaura, Marzo de 2022

## RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de grado: “Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la universidad y solo podrán ser utilizadas a otros fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo, quien lo participara al consejo universitario para su aprobación”.



## DEDICATORIA

Este trabajo de grado es el resultado de un sinfín de pruebas y obstáculos personales sobrepasados. Al mirar atrás es imposible pensar en todas las dudas y momentos difíciles que pasé para poder realizarlas; es grato poder decir que mis ganas de poder cumplir esta meta siempre fueron mayores que todos mis temores, sin embargo, debo destacar que mi mayor motor fueron las personas que siempre estuvieron para mí, alentándome, amándome y confiando. Es por ello que hoy, todo este resultado se lo dedico a todos ellos.

A mis padres, Sigifredo Ramírez y Yaxi Paz, por darme la vida, forjarme, por siempre creer en mí y acompañarme durante todo el camino, depositando su tiempo, recursos y cariño; sin ellos no sería el hombre que soy.

A mami Carmita, por siempre estar para mí, creer en mi inteligencia y sobre todo por quererme y aceptarme tal cual como soy.

A mi hermano, Steven Ramírez, por siempre verme como un ejemplo a seguir y sacarme una sonrisa en los momentos más difíciles.

A Alexandra Gallo, por ser mi segundo amor desde el principio y posteriormente mi mejor amiga, por haber visto algo especial y diferente en mí, confiar y creer en todas mis capacidades que alguna vez no pude ver por mí mismo, acompañarme en toda esta aventura hasta el final y en especial por su total entrega en este trabajo de grado.

A mi mejor amigo de vida, Joneisbert Carvajal, por darme los mejores momentos de felicidad en toda esta etapa de mi vida, mantenerse siempre a mi lado a pesar de las adversidades y por darme las más acertadas palabras de aliento para no abandonar esta meta.

A toda mi familia y verdaderos amigos.

*Ramírez P., Víctor David*

## **AGRADECIMIENTOS**

El finalizar una meta recordamos el pasado, todo lo vivido, los momentos felices, de gloria así como también las tristezas; es por ello que al alcanzar el éxito es importante recordar lo que verdaderamente somos, de donde vinimos y quienes siempre estuvieron con nosotros. Es por ello que hoy le agradezco primeramente a Dios, por permitirme llegar a este punto, guiarme en el camino, cubrirme en salud, fortaleza y paciencia para entender que todo tiene su tiempo y momento de suceder.

A mis padres, Sigifredo Ramírez y Yaxi Paz, por impulsarme diariamente, aconsejarme y apostar por mi educación y capacidad de ser un profesional, por todo su apoyo, simplemente los amo.

A mi abuela, mami Carmita por aceptarme en su hogar y por cada uno de sus cuidados y atenciones en nuestro tiempo juntos.

A mi hermano, Steven Ramírez, por ser un hijo para mí y hacerme desear cada día ser mejor persona y hombre como guía para él.

A mi mejor amiga, Alexandra Gallo, por ser mi compañera de aventuras, felicidades y tristezas, mi apoyo en todo momento y en especial por elaborar conmigo, hombro a hombro este trabajo de grado, desde su experimentación hasta redacción, sin ella no hubiera podido llegar hasta acá.

A mi mejor amigo, Joneisbert Carvajal, por demostrarme que siempre podemos tener el valor de ser nosotros mismos, superar las dificultades y por ser uno de los mayores regalos que me obsequió la Universidad de Oriente.

A mi tutor, Jesús Álvarez, por creer en mi intelecto y capacidad, abrirme las puertas de su casa, empresa y en especial por brindarme su amistad.

A mis padrinos, Cruz Guzmán y Roberto Álvarez, por diariamente apoyarme para poder asistir a la universidad.

A el profesor, Elys Rondón, por ser la persona más empática, amable y sobretodo atenta que Dios pudo poner en mi camino.

A la sra. María Da Silva, por abrirme las puertas de su hogar y de su familia, y hacerme sentir parte de ella.

A todos mis amigos, Alieska Ramirez, Katherinne González, Joandry Álvarez y Ricardo Fuentes, por escucharme en cada momento de incertidumbre y por ser en algún momento parte de esta gran etapa.

A todos ustedes, estaré eternamente agradecido.

*Ramírez P., Víctor David*

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO ANZOÁTEGUI  
EXTENSIÓN CANTAURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**PROPUESTA DE SISTEMA PARA PROTECCIÓN TÉRMICA PASIVA  
EN COLUMNAS DE ACERO ESTRUCTURAL CON LADRILLOS  
ECOLÓGICOS A BASE DE CONCRETO CON CONCHA DE  
MOLUSCOS *Crassostrea rhizophorae* y  
*Crassostrea virginica*.**

**Autor:** Ramírez Víctor

**Tutor académico:** Prof. Álvarez, Jesús

Año: 2022

## **RESUMEN**

El presente estudio se realizó con la finalidad de encontrar un material sustentable y de bajo impacto al medio ambiente para la elaboración y propuesta de un sistema de protección térmica pasiva en columnas de acero estructural con ladrillos ecológicos a base de concreto con conchas de moluscos *Crassostrea rhizophorae* y *Crassostrea virginica*. En búsqueda del cumplimiento de los objetivos de dicha investigación se identificaron los principales métodos de protección térmica pasiva mediante la comparación del tiempo de resistencia de la conducción del calor como indicador principal de protección, se establecieron tres prototipos de dosificación de mezclas de concreto con conchas de moluscos, variando su granulometría a través de procesos de trituración y tamizado para cada una, se realizaron ensayos de resistencia a la compresión, absorción máxima de agua y resistencia térmica, para finalmente elaborar un análisis de precio unitario y un análisis de ciclo de vida evaluando la factibilidad económica y ambiental del sistema respectivamente, obteniendo como resultado ladrillos como protección térmica más aislantes, económicos y ecológicos con un promedio de temperatura de 56 °C, cumpliendo con los parámetros establecidos en las Normas COVENIN 1-78 y la IACA Guía de Diseño de Acero 19.

*Palabras claves:* protección térmica, columnas, conchas de moluscos.

## ÍNDICE GENERAL

RESOLUCIÓN .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
RESUMEN .....	viii
ÍNDICE GENERAL.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	xviii
CAPÍTULO I.....	20
EL PROBLEMA.....	20
1.1. Planteamiento Del Problema .....	20
1.2. Objetivos.....	24
1.2.1. Objetivo General .....	24
1.2.2. Objetivos Específicos .....	24
1.3. Delimitaciones .....	24
1.4. Justificación .....	25
1.5. Alcance de la investigación .....	26
CAPÍTULO II.....	27
MARCO TEÓRICO .....	27
2.1. Antecedentes.....	27
2.2. Bases Teóricas Referenciales .....	29
2.2.1. Estado del arte .....	29

2.2.2. Sistema de protección térmica en edificios .....	29
2.2.3. Mezclas .....	30
2.2.4. Granulometría .....	31
2.2.5. Ladrillos .....	31
2.2.6. Ensayo de compresión y adsorción.....	35
2.2.7. Clasificación según la norma venezolana COVENIN 1-78 “Ladrillos de arcilla” . .....	36
2.2.8. Protección de estructuras de acero contra incendios.....	37
2.2.9. Concha de moluscos .....	39
2.2.10. Análisis de costo .....	41
2.2.11. Análisis de ciclo de vida .....	41
CAPÍTULO III .....	42
MARCO METODOLÓGICO .....	42
3.1. Tipo de Investigación.....	42
3.2. Nivel de Investigación.....	42
3.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....	43
3.3.1. Técnicas .....	43
3.3.2. Procedimiento técnico .....	45
3.3.3. Técnicas de análisis y procesamientos de datos.....	45
3.3.4. Herramientas y Equipos .....	46
3.4. Procedimiento metodológico .....	47
3.4.1. Cronograma de Actividades .....	52
CAPÍTULO IV.....	53
ANALISIS Y RESULTADOS .....	53

4.1. Identificar el estado del arte en los sistemas de protección térmica pasiva, requeridas y utilizadas en las columnas de acero estructural. .	54
4.1.1. Descripción de sistemas de protección contra incendios de columna.....	54
4.1.2. Recolección de conchas de moluscos .....	59
4.2. Establecimiento de los diferentes prototipos de mezclas variando la proporción y granulometría de concha/cemento.....	60
4.2.1. Confección de ladrillos ecológicos a base de concreto con concha de moluscos.....	63
4.2.2. Equipos y materiales utilizados para la elaboración de los ladrillos .....	66
4.3. Realización de pruebas de absorción, resistencia a la compresión y resistencia térmica ante el fuego, según la norma COVENIN 1-78 ladrillos de arcilla y según la IACA Guía de Diseño de Acero 19 – Resistencia de Fuego del Enmarcado de Acero Estructural. ....	67
4.3.1. Ensayo de absorción .....	68
4.3.2. Ensayo de la resistencia a la compresión.....	76
4.3.2.1. Resistencia de todas las mezclas .....	82
4.3.3. Ensayo de temperatura .....	83
4.3.3.1. Temperatura máxima de todas las Mezclas.....	90
4.4. Presentación de un análisis de costo comparativo de ladrillos aislantes térmicos con conchas de moluscos y sistemas tradicionales de protección pasiva. ....	91
4.5. Elaboración de un análisis de ciclo de vida comparativo de sistema para protección térmica pasiva a base de conchas de moluscos con los sistemas de protección tradicionales. ....	98
4.5.1. Etapa I: Definición del Objetivo y alcance del ACV .....	99

4.5.2. Etapa II: Inventario del Ciclo de Vida .....	103
4.5.3. Etapa III: Evaluación de impactos de ciclo de vida.....	106
4.5.4. Etapa IV: Evaluación de resultados.....	115
CAPÍTULO V.....	117
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	117
5.1. Conclusiones.....	117
5.2. Recomendaciones.....	119
BIBLIOGRAFÍA.....	121
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:...	123

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones de los ladrillos de arcilla. ....	36
Tabla 2. Resistencia a la compresión y absorción de los ladrillos de arcilla. .....	37
Tabla 3. Límites críticos de temperatura para columnas de acero estructural. ....	38
Tabla 4. Tiempo-resistencia al fuego .....	39
Tabla 5. Tiempo-resistencia al fuego .....	59
Tabla 6. Tabla de dosificación de mezclas. ....	62
Tabla 7. Porcentaje de absorción de la mezcla #01. ....	70
Tabla 8. Porcentaje de absorción de la mezcla #02. ....	71
Tabla 9. Porcentaje de absorción de la mezcla #03. ....	73
Tabla 10. Tabla resumen porcentaje de absorción de todas las mezclas utilizadas. ....	75
Tabla 11. Datos de la mezcla #01. ....	77
Tabla 12. Resistencia a la compresión de la mezcla #01. ....	77
Tabla 13. Datos de la mezcla #02. ....	78
Tabla 14. Resistencia a la compresión de la mezcla #02. ....	79
Tabla 15. Datos de la mezcla #03. ....	80
Tabla 16. Resistencia a la compresión de la mezcla #03. ....	80
Tabla 17. Resistencia a la compresión de todas las mezclas utilizadas. .	82
Tabla 18. Tabla resumen ensayo de esfuerzo a compresión de la mezclas. ....	83
Tabla 19. Resultados del ensayo de temperatura. ....	85
Tabla 20. Temperatura máxima de la mezcla #01. ....	85
Tabla 21. Temperatura máxima de la mezcla #02. ....	86
Tabla 22. Temperatura máxima de la mezcla #03. ....	88
Tabla 23. Tabla resumen temperatura máxima de todas las mezclas utilizadas. ....	90
Tabla 24. Costo de sistemas de protección térmica tradicionales. ....	92

Tabla 25. Comparación de costo con bloques tradicionales.....	94
Tabla 26. Comparación de costo con sistemas de protección térmica tradicionales.....	94
Tabla 27. Tipos y fuentes de datos por proceso unitario. ....	101
Tabla 28. Datos de entrada de energía utilizada durante el proceso de uso de las conchas de moluscos <i>Crassostrea rhizophorae</i> y <i>Crassostrea virginica</i> .....	104
Tabla 29. Entrada de combustible Diesel usada por camiones para transporte de materiales a las plantas procesadoras.....	104
Tabla 30. Datos de entrada de materiales y energía para ladrillos aislantes.....	105
Tabla 31. Tabla resumen de impactos ambientales en elaboración de ladrillos aislantes.....	115

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Conchas de moluscos <i>Crassostrea rhizophorae</i> y <i>Crassostrea virginica</i> .....	60
Figura 2. Conchas de moluscos <i>Crassostrea rhizophorae</i> y <i>Crassostrea virginica</i> .....	60
Figura 3. Elaboración de mezclas con conchas de moluscos.....	62
Figura 4. Prototipo de bloques (23cm x11,5cmx7cm aproximadamente). 64	
Figura 5. Foto de sacos de conchas recolectadas.....	67
Figura 6. Foto de muestra sumergida.....	69
Figura 7. Peso Húmedo.....	70
Figura 8. A.P.U. de bloque ecológico.....	93
Figura 9. Detalle de colocación de ladrillo en columna sección cuadrada 100x100mm.....	95
Figura 10. Detalle de colocación de ladrillo en columna “H” de acero estructural perfil HEB 100.....	96
Figura 11. Detalle de colocación de ladrillo en columna sección cuadrada 200x200mm.....	96
Figura 12. Detalle de colocación de ladrillo en columna “H” de acero estructural perfil HEB 240.....	97
Figura 13. Detalle de colocación de ladrillo en columna sección cuadrada 260x260mm.....	97
Figura 14. Detalle de colocación de ladrillo en columna “H” de acero estructural perfil HEB 300.....	98
Figura 15. Bloques prefabricados.....	99
Figura 16. Límites del sistema de los tabiques.....	100
Figura 17. Bloques aislantes en estudio.....	103
Figura 18. Proceso de reciclaje de concha de molusco <i>Crassostrea rhizophorae</i> y <i>Crassostrea virginica</i> .....	104
Figura 19. Flujo de proceso de elaboración de bloques aislamiento. ....	106
Figura 20. Impactos y daños a la salud medidos en unidades de Daly.	107

Figura 21. Impactos y daños al ecosistema medidos en unidades de PDF*M2yr. ....	108
Figura 22. Impactos y daños a los recursos naturales medidos en unidades de MJ Surplus. ....	108

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. %Absorción vs Días del ladrillo de la mezcla #01. ....	70
Gráfico 2. % Absorción vs Días del ladrillo de la mezcla #01. ....	71
Gráfico 3. %Absorción vs Días del ladrillo de la mezcla #02. ....	72
Gráfico 4. %Absorción vs Días del ladrillo de la mezcla #02. ....	72
Gráfico 5. % Absorción vs Días del ladrillo de la mezcla #03. ....	73
Gráfico 6. % Absorción vs Días del ladrillo de la mezcla #03. ....	74
Gráfico 7. Porcentaje de absorción de todas las mezclas utilizadas.....	75
Gráfico 8. Resistencia vs Días del ladrillo de la mezcla #01.....	77
Gráfico 9. Resistencia vs Días del ladrillo de la mezcla #01.....	78
Gráfico 10. Resistencia vs Días del ladrillo de la mezcla #02.....	79
Gráfico 11. Resistencia vs Días del ladrillo de la mezcla #02.....	79
Gráfico 12. Esfuerzo vs Días del ladrillo de la mezcla #03. ....	81
Gráfico 13. Resistencia vs Días del ladrillo de la mezcla #03.....	81
Gráfico 14. Esfuerzo de todas las mezclas utilizadas. ....	82
Gráfico 15. Temperatura vs Días de los bloques de la mezcla #01. ....	85
Gráfico 16. Temperatura vs Días de los bloques de la mezcla #01. ....	86
Gráfico 17. Temperatura vs Días de los bloques de la mezcla #02. ....	87
Gráfico 18. Temperatura vs Días de los bloques de la mezcla #02. ....	87
Gráfico 19. Temperatura vs Días de los bloques de la mezcla #03. ....	88
Gráfico 20. Temperatura vs Días de los bloques de la mezcla #03. ....	89
Gráfico 21. Temperatura de todas las mezclas utilizadas.....	90
Gráfico 22. Contribución porcentual por daños ocasionados al ambiente debida a la elaboración de los ladrillos aislante (Evaluación del daño). ....	110

## INTRODUCCIÓN

Un aislante térmico es un material usado en la construcción y en la industria, que es capaz de reducir o retrasar la transmisión de calor a través de la estructura sobre la que se instala, siendo utilizado como la principal medida de seguridad y protección ante incendios en edificaciones de acero estructural. En Venezuela los aislantes térmicos utilizados tienen un alto costo y son poco ecológicos, tal es el caso de la lana mineral, que es un aislante térmico de alta resistencia térmica, pero de elevado costo y sobre todo con un proceso de elaboración causante de un gran impacto ambiental.

El impacto ambiental, es uno de los problemas más importantes que afectan a nuestro planeta y surge cuando se produce un desequilibrio, como resultado de la adición de cualquier sustancia al medio ambiente o por la acumulación de desechos sólidos, en cantidad tal que cause efectos adversos en el hombre, en los animales, vegetales o materiales expuestos que sobrepasen los niveles aceptables en la naturaleza, tal es el caso de las conchas de moluscos, que es una coraza rígida y resistente creadas por animales de cuerpo blando como mecanismo de protección ante sus agresores y a su vez para el soporte anatómico de las partes blandas. Es un material natural y ecológico que al acumularse en grandes cantidades se convierten en un desecho contaminante que altera las costas.

En este trabajo se buscó desarrollar una tecnología para la construcción, la cual constó del diseño de una mezcla de concreto, utilizada para la elaboración de un aislante térmico en una forma tan simple y eficaz con un elemento de mampostería como lo es el ladrillo; dicha mezcla se basó en la sustitución de la arena por conchas de

moluscos trituradas, con la finalidad lograr una reducción en la cantidad de desechos presentes en la zona costera del estado Anzoátegui.

La investigación se estructuró en cinco capítulos, a saber. Capítulo I, el problema, integrado por el planteamiento del problema, objetivo tanto general como específico, el alcance de la investigación y su justificación. En el capítulo II se expone el marco teórico, este a su vez está constituido por los antecedentes afines a la investigación, las bases teóricas que sustentan el estudio y los parámetros legales que definen su calidad. El capítulo III, llamado marco metodológico, define el tipo y nivel de investigación, además, se muestran las técnicas de recolección y análisis de datos, así como también, se describen los instrumentos utilizados. En el capítulo IV se describe y muestra todo el procedimiento del análisis de los resultados según los objetivos del trabajo. El capítulo V presenta las conclusiones obtenidas y las recomendaciones pertinentes al caso. Por último, se presenta un cuerpo bibliográfico y de anexo.

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA

### 1.1. Planteamiento Del Problema

El acero estructural en la actualidad, es un material muy usado en la construcción debido a sus características casi ideales, como son su alta resistencia, uniformidad, durabilidad, ductilidad y tenacidad. Además, este cuenta con varios tipos de conectores como son la soldadura, los tornillos y los remaches, posibilidad de prefabricar los miembros de una estructura y rapidez de montaje. Por otro lado, las columnas de este material son elementos estructurales que sirven para transmitir las cargas de la estructura al cimiento, por lo que, su alta resistencia y durabilidad resulta idóneo.

Sin embargo, estas no escapan de la exposición a elementos de la naturaleza como el fuego; cuando dicho elemento está sometido a un incendio, su temperatura aumenta, y sus propiedades mecánicas se reducen. Por consiguiente, la capacidad portante disminuye y su deformación aumenta; ocasionando así el colapso de la estructura. Por lo que requieren, de una protección térmica de gran calidad, un sistema que pueda resistir altas temperaturas y prohibir en su totalidad que las columnas alcancen su límite de temperatura de 538 °C, de acuerdo a parámetros establecidos según la norma *Instituto Americano de Construcción de Acero (IACA) 360-16*.

En efecto, un aislante térmico es aquel que se caracteriza por su baja conductividad térmica, siendo la medida más eficaz de protección pasiva contra el fuego para las estructuras metálicas. Uno de los aislantes térmicos más empleados es la lana de roca mineral, debido a su

estructura fibrosa multidireccional que le permite albergar aire en su interior. A pesar de sus ventajas, esta al ser fabricada con roca volcánica y al requerir, explosivos volátiles para la extracción de la roca, la gran cantidad de combustible requerida por la maquinaria utilizada para su excavación y al ser sometida en un horno a más de 1600 °C, hasta convertirse en lava como en su estado inicial, produce grandes impactos ambientales en su elaboración.

Lo anteriormente expuesto, comprueba que este producto requiere de una compleja elaboración por lo que, sugiere un elevado costo, lo que aumenta los presupuestos de construcción; por ello, se hace necesario proponer un aislante térmico factible y resistente aprovechando algún material ecológico y de accesible costo que logre proteger las columnas de acero. Aunado a esto, la concha de moluscos es una cobertura dura y rígida, es un material duradero que, al acumularse en grandes cantidades, pueden considerarse como un pasivo ambiental y puede ser reutilizado como un agregado con el fin de proponer un sistema para protección pasiva en columnas de acero estructural con ladrillos ecológicos a base de concreto con dicho material.

En este mismo orden de ideas, el estudio estuvo enfocado en cinco etapas, comenzando por la identificación del estado del arte en los sistemas para protección pasiva, requerida y utilizada en las columnas de acero estructural, para conocer cuáles son los métodos actuales y tradicionales en torno a la protección térmica y a su vez, conocer la temperatura máxima que puede soportar este elemento estructural y su tiempo de exposición al fuego. En la segunda etapa, se procedió a establecer los diferentes prototipos de mezclas variando la proporción y granulometría de concha/cemento para obtener la mezcla con mayor resistencia térmica aplicando el método de dosificación en cada una de ellas.

Por otro lado, en la tercera etapa se realizaron pruebas químicas de absorción de agua, pruebas mecánica de resistencia a la compresión y pruebas de resistencia térmica ante el fuego, según los parámetros establecidos en la norma de Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) 1-78 ladrillos de arcilla y según la IACA Guía de Diseño de Acero 19 – Resistencia de Fuego del Enmarcado de Acero Estructural, con el fin de obtener como resultado un ladrillo óptimo que cumpliera con todos los requisitos estandarizados. Seguidamente, en la cuarta etapa se presentó un análisis de costo mediante la utilización del “software” Ip3, para evidenciar la factibilidad económica de la producción de ladrillos aislantes térmicos a base de conchas de moluscos, el cual fue comparado con los sistemas de protección pasiva similares con bloques tradicionales existentes en el mercado.

No obstante, en la última etapa se elaboró un análisis de ciclo de vida utilizando el “software” SimaPro 8.5.0, a fin de identificar los aspectos ambientales como la durabilidad, el proceso de elaboración y disminución del impacto ambiental que se pueden generar en la producción y utilización de dicha protección térmica a base de conchas de moluscos que posteriormente, fue comparado con los análisis de ciclos de vida de los sistemas de protección convencionales.

A fin de crear nuevos productos con menos inversión en su producción y utilizando materiales de desechos para combatir el impacto ambiental que ocasionan, esta investigación tuvo como alcance definido proponer un sistema para protección térmica pasiva en columnas de acero estructural con ladrillos ecológicos a base de concreto con concha de moluscos, identificando el estado del arte en los sistemas de protección contra fuego, estableciendo los diferentes prototipos de mezclas de concreto con conchas, para posteriormente realizar pruebas de absorción de agua, compresión y térmicas según la normativa

correspondiente, presentar un análisis de costo comparativo para evidenciar la factibilidad de su fabricación y finalmente, elaborar un análisis de ciclo de vida comparativo para identificar cada uno de sus aspectos ambientales.

En relación con las implicaciones, es importante mencionar que existe un estudio realizado en Ecuador por Carrera (2015), en el cual se hizo un análisis y desarrollo para la fabricación de bloques de concreto como aislantes térmicos basados en la biomasa de la cascarilla de cacao; además, se tomó como referencia la investigación realizada en Brasil por Gaggino, Arguello y Barretta (2007), el estudio realizado por Wadel (2003), y un artículo escrito por Rojas (2011), ambos llevados a cabo en España. Por otra parte, no existen indicios de estudios realizados en Venezuela donde empleen la concha de moluscos para la elaboración de un aislante térmico, por lo que se consideró acertado dicho estudio, ya que brindará un gran aporte a la implementación de materiales de desechos como materiales alternativos y permitirá dar un paso más en la tarea de contribuir con el ambiente.

Por último, esta investigación servirá como referencia a próximas investigaciones afines a la Ingeniería Civil, que dirijan su enfoque hacia la utilización de desechos sólidos como materiales alternativos que permitan obtener productos duraderos, eficaces y sustentables en el mundo de la construcción; logrando así que la Universidad de Oriente, genere aportes significativos en la disciplina de tecnología y desarrollo profesional, así como en estudios de nuevos materiales ecológicos.

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo General

Proponer un sistema para protección térmica pasiva en columnas de acero estructural con ladrillos ecológicos a base de concreto con concha de moluscos *Crassostrea rhizophorae* y *Crassostrea virginica*.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- › Identificar el estado del arte en los sistemas de protección térmica pasiva, requeridas y utilizadas en las columnas de acero estructural.
- › Establecer los diferentes prototipos de mezclas variando la proporción y granulometría de concha/cemento.
- › Realizar pruebas de absorción, pruebas de resistencia a la compresión y pruebas de resistencia térmica ante el fuego, según la norma COVENIN 1-78 ladrillos de arcilla y según la IACA Guía de Diseño de Acero 19 – Resistencia de Fuego del Enmarcado de Acero Estructural.
- › Presentar un análisis de costo comparativo de ladrillos aislantes térmicos con conchas de moluscos y sistemas tradicionales de protección pasiva.
- › Elaborar un análisis de ciclo de vida comparativo de sistema para protección térmica pasiva a base de conchas de moluscos con los sistemas de protección tradicionales.

## 1.3. Delimitaciones

- **Delimitación Temática:** el sistema propuesto para la protección térmica pasiva en columnas de acero estructural con ladrillos ecológicos a base de concreto con concha de moluscos, estuvo destinado para viviendas sociales y privadas.

- **Delimitación Geográfica:** La investigación se llevó a cabo dentro del territorio venezolano, en la ciudad de Cantaura Estado Anzoátegui. La realización de un sistema para protección térmica pasiva en columnas de acero estructural con ladrillos ecológicos a base de concreto con concha de moluscos, los ensayos experimentales para el estudio de propiedades se realizaron en la Empresa Armando soluciones constructivas (Alexcar, C.A), con el apoyo del Prof. Jesús Álvarez, donde se contó con todos los implementos necesarios para llevarlos a cabo, prestando especial cuidado en cumplir con los parámetros establecidos en las normativas correspondientes.
- **Delimitación Temporal:** El tiempo estimado en que se llevó a cabo la presente investigación (en cuanto al estudio de las propiedades de sistema para protección térmica pasiva con ladrillos ecológicos a base de concreto con conchas de moluscos, la factibilidad económica y análisis de Ciclo de Vida de los mismos) comprendió un lapso de 6 meses, correspondientes a los meses de Julio de 2020 hasta diciembre de 2020.

#### 1.4. Justificación

En la actualidad la utilización de materia prima alternativa está recobrando espacio en la construcción debido a la poca disponibilidad de los materiales directos tradicionales. Aunado a esto, se encuentra el constante crecimiento de desechos sólidos en las costas del país. Venezuela está entre los países generadores de más basura per cápita y con menos disposición de los desechos reciclables, lo cual la está llevando al deterioro ambiental.

Sobre la base de las consideraciones anteriores se buscó ampliar el uso del material ecológico como materia prima en la creación de ladrillos

aislantes que cumplan con los requerimientos exigidos según las normas COVENIN 1-78 ladrillos de arcilla y la IACA Guía de Diseño de Acero 19 – Resistencia de Fuego del Enmarcado de Acero Estructural, de igual manera generar un aporte significativo al medio ambiente reduciendo la explotación de las montañas y la acumulación de las conchas de moluscos en costas.

### **1.5. Alcance de la investigación**

Esta investigación estuvo enfocada en proponer un sistema para protección térmica, realizando distintas mezclas de concreto, sustituyendo parcialmente la arena por partículas de conchas de moluscos, tales mezclas fueron utilizadas para fabricar ladrillos aislantes, los cuales posteriormente fueron sometidos a diferentes pruebas, tales como, temperatura, absorción y resistencia a la compresión; a su vez, se presentó un análisis de costo y análisis de ciclo de vida comparativos, a fin de comprobar su factibilidad económica y ambiental.

En este sentido, en el presente trabajo de investigación se diseñó una mezcla factible, la cual tuvo como beneficio ladrillos más económicos, ecológicos y aislantes, sin poner en riesgo o sobrepasar su temperatura crítica, según la norma COVENIN 1-78 ladrillos de arcilla y según la IACA Guía de Diseño de Acero 19 – Resistencia de Fuego del Enmarcado de Acero Estructural.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes**

Se realizó una búsqueda de información en diversos trabajos de investigación anteriormente ejecutados, que tuvieran relación con el tema en estudio, sirviendo de soporte y consulta en el desarrollo de esta investigación, a continuación, se describen las investigaciones con mayor similitud.

Según lo establecido anteriormente, Carrera (2015), se realizó un análisis y desarrollo para la fabricación de bloques de concreto como aislantes térmicos basados en la biomasa de la cascarilla de cacao, analizando las características mecánicas, físicas y térmicas de los materiales con la combinación de cemento con fibras de cascarilla de cacao, elaborando modelos constructivos a partir de la mezcla con cascara de cacao, cemento y arena, para determinar su resistencia y comprobar que fuese un buen aislante térmico, amigable con el ambiente, viable económicamente y que garantizara el confort de las viviendas. Este estudio sirvió de guía para el diseño, cálculo y redacción en la elaboración de un aislante térmico sustituyendo materiales convencionales por materiales de desecho, en este caso conchas de moluscos.

Seguidamente, Rojas (2011), en su artículo explicó el proceso al que son sometidas las conchas de moluscos para la elaboración de un material aislante del fuego, así mismo, expresó que este se fabrica de la manera más sencilla y económica posible, para que el costo sea solo en materia prima. Dicha investigación fue llevada a cabo por los equipos de científicos de la Universidad de Sevilla (España), Ingeniería de Residuos y Procesos, tras una fase inicial de pruebas el producto fue sometido a

distintos ensayos para su homologación y patente, superando con éxito los ensayos de tipo mecánico, térmico y medioambiental. Para esta investigación, este artículo se utilizó de base, como un manual del proceso de elaboración del producto final con la implementación de equipos básicos que no generen grandes gastos.

De manera similar, en el trabajo de grado de Gaggino, y Barretta (2007), estudiaron como la aplicación de plásticos reciclados mejora la resistencia en elementos constructivos a base de cemento. Dicha investigación fue realizada en Campo Grande (Brasil), utilizando como materia prima el plástico triturado como sustituto de los áridos pétreos; minimizando costos y a su vez, logrando obtener una conductividad térmica y resistencia mecánica idóneas. La relación con esta investigación del presente trabajo de grado, fue la integración de un material de desecho a la mezcla de concreto para la elaboración de elementos de mampostería, a fin de reducir la contaminación que produce al acumularse en grandes cantidades, tal es el caso de la acumulación de conchas de moluscos.

Por otra parte, Wadel (2003), en su trabajo de investigación estudió cómo se puede reducir el impacto ambiental con el diseño de aislantes térmicos de lana de oveja y algodón como aporte a la construcción sostenible, lo demostró mediante un análisis de ciclo de vida y con la comparación de materiales mediante indicadores ambientales (consumo de energía, emisiones de CO<sub>2</sub> y toxicidad). Uno de los propósitos de dicha investigación fue conocer los aspectos económicos, certificación técnica, y factores clave en la selección de materiales de aislamiento térmico. De este mismo modo, dicha investigación generó un aporte al presente trabajo de grado al momento de describir las conchas de moluscos como un material sustentable y ecológico y al evidenciar la factibilidad económica de la producción del aislante térmico.

## **2.2. Bases Teóricas Referenciales**

### **2.2.1. Estado del arte**

Según Piedad (2005), el estado del arte es un estudio analítico del conocimiento acumulado que hace parte de la investigación documental, la cual se basa en el análisis de documentos escritos y que tiene como objetivo inventariar y sistematizar la producción en un área del conocimiento. Su objetivo es la fundamentación o justificación de estudios o trabajos de investigación, además constituye un paso obligatorio dentro del proceso de construcción de conocimiento y permite no solo en la contribución al mejoramiento de la teoría y la práctica de un tema en específico, sino también llegar a conclusiones y respuestas nuevas que se proyecten a futuro.

### **2.2.2. Sistema de protección térmica en edificios**

Según Carrera (2015), al hablar de sistema de protección térmica de una edificación, se habla de su influencia directa en el confort térmico de sus ocupantes, ya que protege la vivienda de condiciones exteriores adversas permitiendo que al interior existan condiciones agradables. El confort térmico depende de la temperatura, que a su vez obedece a 4 factores definidos: temperatura del aire, temperatura de radiación de los elementos circundantes, humedad del aire y velocidad del mismo.

De acuerdo a Burgos et. al (2008), la transferencia de calor se produce por conducción, convección y radiación. El aislar una edificación o vivienda hace que este calor no se transmita por conducción desde el exterior al interior y viceversa. Es así que se utilizan materiales aislantes, cuya función en esencia es resistirse al paso de calor, siendo el material más aislante el que permite mantener quieto el aire en su interior, por ende, se encuentran en este grupo los materiales porosos.

El sistema de protección térmica es un factor clave en la gestión energética de edificaciones ya que controla el gasto innecesario por pérdidas debido a la transferencia de calor de un cuerpo a otro. Entre sus principales ventajas se encuentran:

- Ahorran energía al mantener temperaturas de confort.
- Evitan condensación en muros previniendo efectos nocivos y mejorando la higiene ambiental.
- Disminuyen manchas producidas por los puentes térmicos y muchas veces los eliminan ayudando a mantener equilibrios y reduciendo costos por mantenimientos.
- A nivel macro disminuyen gastos en salud y gastos energéticos en viviendas por uso de petróleo y gas.

La elección y el grado de aislamiento se basan en una serie de factores:

- Durabilidad
- Instalación
- Costo
- Impacto ambiental
- Clima
- Efectos tóxicos

Los materiales aislantes naturales pueden ser reutilizados reciclados, y son totalmente biodegradables. No son tóxicos, son libres de alérgenos y pueden ser manejados con seguridad e instalado.

### **2.2.3. Mezclas**

En definitiva y siguiendo con lo establecido por Pérez et. al (2012), una mezcla es una materia constituida por diversas moléculas. Están formadas por varias sustancias que no mantienen interacciones, por otra parte, una mezcla surge cuando se incorporan distintas sustancias sin

interacción química a un todo. Si la misma está formada por sustancias puras que no pierden sus propiedades naturales en la integración, se habla de mezcla homogénea.

#### **2.2.4. Granulometría**

Se define como la distribución del tamaño de las partículas mediante un tamizado de una masa de agregado; entendemos por granulometría la composición del material en cuanto a la distribución del tamaño de los granos que lo integran.

#### **2.2.5. Ladrillos**

Según (*The Brick Industry Association, 2006a*), el ladrillo es un mampuesto reconocido a nivel mundial, que por varios años se ha mantenido en el mercado. La mayor parte de los ladrillos son producidos a base de arcilla y en la antigüedad han sido fabricados por negocios pequeños mediante métodos sencillos. Sin embargo, los avances tecnológicos han hecho que las plantas de ladrillo contemporáneo sean mucho más eficientes y hayan mejorado la calidad general de los productos.

Existen principalmente dos métodos para la fabricación de ladrillos en donde adquieren su forma, tamaño y resistencia. Uno de estos métodos es mediante extrusión, que brinda la resistencia del material mediante la cocción a altas temperaturas y el último es a través del moldeado donde el ladrillo adquiere su resistencia en los días de curado (no requiere de cocción).

##### **2.2.5.1. Ladrillos cocidos**

Kadir et. al (2013a), expresa que el ladrillo cocido está hecho a base de arcilla, el mismo que es moldeado, secado y cocido en un producto cerámico duradero. El proceso de cocción en la fabricación de

ladrillos es la parte esencial en la elaboración de este material ya que modifica sus propiedades físicas y mecánicas. El color, apariencia y resistencia es alterada mediante este proceso. Cuando los ladrillos son sometidos a temperaturas apropiadas, las partículas de arcilla fusionan lo que provoca un aumento considerable a la resistencia. Además, el ladrillo logra su color a través de los minerales en el fuego, esto proporciona un color duradero que no se desvanece o disminuye con el tiempo.

De acuerdo a lo establecido por (*The Brick Industry Association*, 2006b), el proceso de fabricación de ladrillos cocidos tiene seis fases:

- Extracción, almacenamiento y preparación de materiales,
- Moldeo del ladrillo,
- Secado,
- Cocción y enfriamiento,
- Almacenamiento de productos terminados.

#### **2.2.5.1.1. Extracción, almacenamiento y preparación de materiales.**

La mayor parte de las arcillas se extraen de pozos abiertos con maquinaria pesada para lograr la obtención de grandes cantidades del material requeridas para muchos días de operación de la planta de fabricación de ladrillos. Posteriormente, la arcilla es transportada a varias áreas de almacenamiento lo que facilita la mezcla de las arcillas. Previo a la mezcla de la arcilla, se deben romper grandes grumos y piedras presentes en el material mediante máquinas de reducción de tamaño. Por lo general, el material se procesa a través de pantallas vibratorias inclinadas para controlar el tamaño de partícula. Seguidamente, se realiza la mezcla que produce material más uniforme, ayuda a controlar el color y permite el control de la materia prima para la fabricación del ladrillo.

#### **2.2.5.1.2. Moldeo del ladrillo**

Lo primero que se debe hacer para la formación de un ladrillo es generar una mezcla homogénea plástica mediante la adición de agua en la arcilla. Esta mezcla es realizada en un molino que cuenta con 1 o más ejes giratorios con extensiones de cuchillas.

Después de la mezcla del 15-20% de agua en la arcilla, se realiza la desaireación, fase en el cual, la arcilla pasa a través de una cámara de reducción de vacíos. Este proceso elimina los agujeros de aire y las burbujas, lo que aumenta la trabajabilidad y la plasticidad de la arcilla, obteniendo como resultado una mayor resistencia. Finalmente, la arcilla pasa por la máquina extrusora que genera columnas de arcilla sólida a las cuales se les aplica la textura y forma del ladrillo. Un cortador automático rebana a través de la columna de arcilla para crear el ladrillo individual.

#### **2.2.5.1.3. Secado**

Del proceso de extrusión, los ladrillos presentan una humedad entre 7% y 30%, razón por la cual necesitan del proceso de secado previo la cocción del mismo. La mayor parte de esta humedad se evapora en cámaras secadoras a temperaturas que varían entre 100 °F y 400°F (38 °C a 204 °C). El grado de tiempo de secado, que varía con diferentes arcillas, generalmente es entre 24 a 48 horas. En todos los casos, el calor y la humedad deben regularse cuidadosamente para evitar que se agriete en el ladrillo.

#### **2.2.5.1.4. Cocción y enfriamiento**

Los ladrillos son sometidos al proceso de cocción entre 10 y 40 horas, dependiendo del tipo de horno y otras variables. Hay varios tipos de hornos usados por los fabricantes. El tipo más común es un horno de túnel, seguido de hornos periódicos. El combustible puede ser gas

natural, carbón, gas o una combinación de estos combustibles. En un horno de túnel los ladrillos son cargados en los coches del horno, que pasan a través de varias zonas de temperatura a medida que viajan a través del túnel. Las condiciones de calor en cada zona se controlan cuidadosamente, y el horno se opera continuamente.

Las temperaturas en cada etapa de la cocción son variadas, el secado tiene lugar a temperaturas de hasta 204 °C, deshidratación de aproximadamente 149 °C a 982 °C, oxidación de 538 °C a 982 °C, y vitrificación 871 °C a 1316 °C. La vitrificación es una de las etapas más importantes ya que permite que la arcilla se convierta en una masa dura y sólida con una absorción relativamente baja por lo cual, la clave al proceso de cocción es controlar la temperatura en el horno para que se produzca una fusión incipiente y una vitrificación parcial, pero se evita la fusión viscosa.

Una vez que la temperatura ha alcanzado su punto máximo y se mantiene durante un tiempo preestablecido, comienza el proceso de enfriamiento. El tiempo de enfriamiento es de máximo 10 horas para hornos de túnel y de 5 a 24 horas en hornos periódicos. El enfriamiento es una etapa importante en la fabricación de ladrillos porque la velocidad de enfriamiento tiene un efecto directo sobre el color.

#### **2.2.5.1.5. Almacenamiento de productos terminados.**

Los ladrillos son clasificados y empaquetados según su tamaño y textura. Luego, se colocan en un patio de almacenamiento o se cargan en camiones para su entrega. La mayoría de los ladrillos de hoy en día están empaquetados en cubos atados que se pueden descomponer en paquetes atados individualmente para facilitar su manejo en el lugar de trabajo.

### **2.2.5.2. Ladrillos sin cocción**

Kadir et. al (2013b), indica que, con el aumento de las emisiones de dióxido de carbono, el calentamiento global y el cambio climático, surge la necesidad de nuevos estudios en relación a mejoras prácticas con respecto al desarrollo de nuevos productos de construcción. Existen nuevas investigaciones sobre materiales no cementicios para el desarrollo sostenible de la construcción las mismas que se enfocan en el ahorro de energía, y reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

Uno de estos materiales es el ladrillo de arcilla no cocido, el cual tiene como objetivo reducir el uso de energía mediante una construcción más eficiente. Los ladrillos de arcilla no cocidos son extremadamente bajos en energía incorporada, proporciona masa térmica, un buen aislamiento acústico, se colocan de la misma manera que el ladrillo y requieren menos mano de obra que los ladrillos de extrusión.

### **2.2.6. Ensayo de compresión y adsorción.**

#### **2.2.6.1. Ensayo de compresión**

El ensayo de compresión es un ensayo de materiales utilizados para conocer su comportamiento ante fuerzas o carga de compresión, aplicándose sobre todo en probetas de materiales que van a trabajar a compresión, como el concreto, la fundición e incluso en piezas acabadas. El ensayo se realiza sobre una probeta del material, normalmente de forma cilíndrica en una máquina universal de ensayo. Antonio Pérez (2014).

#### **2.2.6.2. Ensayo de adsorción de agua**

Yaneth Niniahp (2016), Es el incremento en la masa de un agregado seco cuando es sumergido en agua durante 24hrs, a temperatura ambiente. Este aumento de masa tiene lugar debido al agua que se introduce en los poros del material y no incluye el agua adherida a

la superficie. Se expresa como por ciento de la masa seca, y es el índice de la porosidad del material.

$$ABS = \frac{(P_2 - P_1)}{P_1} * 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

### 2.2.7. Clasificación según la norma venezolana COVENIN 1-78 “Ladrillos de arcilla”.

- Según su tipo: Ladrillo macizo, ladrillo hueco.
- Según su fabricación: Ladrillo prensado, ladrillo hecho a máquina, ladrillo hecho a mano.
- Según su uso: Ladrillo para obra limpia, ladrillo común.
- Según su resistencia: Ladrillo tipo “A”, ladrillo tipo “B”.

#### 2.2.7.1. Características geométricas

Las características geométricas de los ladrillos se refieren a las dimensiones de los mismos, largo, ancho, altura. Las dimensiones usuales de los ladrillos de arcilla según la norma venezolana COVENIN 1-78, son indicadas en la tabla 1. Pueden fabricarse ladrillos con otras dimensiones siempre y cuando cumpla con lo especificado en esta norma.

**Tabla 1. Dimensiones de los ladrillos de arcilla.**

<b>DIMENSIONES (cm)</b>	<b>TOLERANCIAS %</b>
Largo (e) 25	± 3
Ancho (a) 12	± 3
Alto (h) 5,5	± 5

**Fuente:** Norma COVENIN 1-78 Ladrillos de arcilla (1978).

#### 2.2.7.2. Características físicas

Los ladrillos cumplieron con la resistencia a la compresión simple, adherencia y absorción de agua. Los ladrillos no presentaron disgregaciones al tacto, sales, granos de carbonato de calcio y otros

defectos en número tal que puedan influir en su calidad, reducir su resistencia o limitar su uso. Por lo que se cumplieron con las especificaciones establecidas en la norma COVENIN 1-78 ladrillos de arcilla, según su clase como se indica en la siguiente tabla:

**Tabla 2. Resistencia a la compresión y absorción de los ladrillos de arcilla.**

	TIPO A		TIPO B		NORMA A UTILIZAR
	Promedio de 5 Ladrillos	Mínimo para un Ladrillo	Promedio de 5 Ladrillos	Mínimo para un ladrillo	
Resistencia a la compresión	200 Kg/cm <sup>2</sup>	160 Kg/cm <sup>2</sup>	140 Kg/cm <sup>2</sup>	110 Kg/cm <sup>2</sup>	COVENIN 23
Absorción	15%		20%		

**Fuente:** Norma COVENIN 1-78 Ladrillos de arcilla (1978).

### **2.2.8. Protección de estructuras de acero contra incendios.**

De acuerdo a la IACA Guía de diseño de acero 19 – Resistencia de fuego del enmarcado de acero estructural, aunque el acero estructural ofrece la ventaja de no ser combustible, el límite elástico efectivo y el módulo de elasticidad se reduce a temperaturas elevadas. Por esto, tanto la fuerza como la rigidez disminuyen con el aumento de la temperatura.

Un enfoque importante para mejorar la seguridad contra incendios de una estructura de acero es retrasar la tasa de temperatura que aumenta en el acero para proporcionar tiempo para la evacuación del medio ambiente, para permitir que los combustibles sean agotados sin consecuencia estructural, y aumentar el tiempo para extinguir el fuego. Este enfoque, que implica aislar el acero o proporcionar un disipador de calor, se clasifica como sistema de protección pasiva contra el fuego. Por esto, resultan de gran importancia las especificaciones establecidas como, límite crítico de temperatura, tiempo de resistencia ante la exposición al fuego, curva de tiempo-temperatura, etc.

Un mayor período de resistencia al fuego es requerido para las ocupaciones que presentan un mayor riesgo de seguridad para los ocupantes. El grado de protección puede también variar con el tipo de material de construcción, ya sea combustible o no combustible.

### 2.2.8.1. Límite crítico de temperatura

La capacidad de una columna para continuar portando la carga ha sido confirmada siempre que la exposición al fuego no cause que la temperatura promedio en cualquier sección transversal eleve por encima de 1,000 ° F (538 ° C) 1,2. Estándares de prueba de fuego imponen un límite de temperatura adicional de 1,200 ° F (649 ° C). Este 1,200 La temperatura de °F (538 °C) a menudo se conoce como la temperatura crítica, temperatura que típicamente representa el momento en las cual ocurre una pérdida de fuerza del 50 por ciento. Estas los límites de temperatura pueden usarse como base para un análisis de transferencia de calor y pueden representar los criterios de falla para una prueba de una columna aislada.

**Tabla 3. Límites críticos de temperatura para columnas de acero estructural.**

Columnas cargadas	El elemento ya no puede sostener su carga superpuesta.
Columnas no cargadas	La temperatura media excede 1,000 °F (538 °C).
	La temperatura de ningún punto excede 1,200 °F (649 °C).

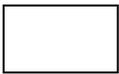
**Fuente:** Ramírez, V. (2022).

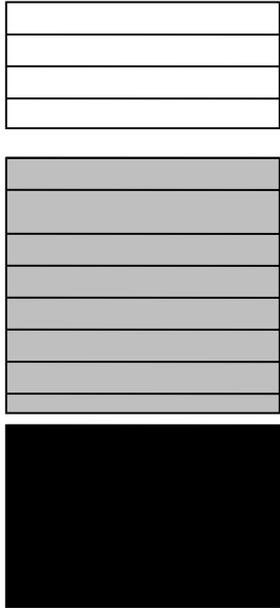
### 2.2.8.2. Tiempo de exposición ante el fuego

Según Manual de estructuras de acero PROPERCA 5-332, es importante destacar que para alcanzar una resistencia al fuego entre media hora y cuatro horas, se deben aprovechar los elementos de mampostería que se usan para construir paredes y fachadas como elementos de protección contra el fuego. En todos los sistemas de protección con elementos de mampostería la clave del éxito y la mayor

incidencia en costos se refiere al tipo de material utilizado en la fabricación del elemento y el espesor de la pieza.

**Tabla 4. Tiempo-resistencia al fuego**

Protección Componentes	Nivel de		
			
Muros Estructurales	1 hora	2 horas	2 horas
Columnas	1 hora	2 horas	3 horas
Vigas	1 hora	2 horas	3 horas
Techos	30 minutos		
Pisos	1 hora	2 horas	2 horas
Paredes Interiores	1 hora	2 horas	2 horas
Paredes Exteriores	1 hora	2 horas	2 horas
Inflamable	1 hora	1 hora	1 hora
No inflamable	30 minutos	30 minutos	30 minutos



**Fuente:** Ramírez, V. (2022).

### 2.2.9. Concha de moluscos

Rojas (2011a), define que es una protección externa, dura y rígida que poseen ciertos animales. Es una estructura de importancia esencial para la defensa del animal, son el escudo de los moluscos para protegerse ante agresiones externas de sus depredadores además de usarla como anclaje y soporte de las partes blandas, Es decir, para la protección y el soporte anatómico. Son muy duraderas y permanecen mucho más tiempo que los animales que las producen.

Los moluscos construyen sus conchas. Estas crecen en grosor desde el interior y en superficie por los bordes, porque son las zonas que están en contacto con el manto, que es el tejido de la parte blanda del animal encargado de depositar el material del que está hecha la concha. El material antes mencionado le extrae el calcio de su alimento, del

agua, de las rocas y del ambiente. Llegan a través del flujo sanguíneo al manto, que los concentra y los transforma en cristales, que son depositados en capas.

#### **2.2.9.1. Aplicación de las conchas de moluscos en la construcción.**

Según Rojas (2011b), la invención es aplicable, fundamentalmente, en forma de placas o proyección con manguera de alta presión (gunitado), en el sector de la construcción de edificios como protección pasiva contra el fuego, en tabiques, falsos techos, etc. Este material se dispone en soluciones constructivas, a modo de placas integradas en un tabique interior que separa dos habitaciones contiguas. Cuando se produce un incendio, el producto actúa de barrera, retardando varios minutos la propagación del fuego por radiación al otro lado del tabique. Su disposición, grosor y la combinación con otros elementos constructivos puede intervenir retardando aún más la transmisión del fuego por radiación.

#### **2.2.9.2 Reciclado y reutilización comercial utilizando conchas de moluscos.**

Así mismo, Rojas (2011c), explica que reciclar conchas de moluscos es aplicable fundamentalmente al ámbito de la obtención de materiales resistentes al fuego utilizables en un amplio espectro de formas y utilidades en el sector de la construcción de edificios, naves e instalaciones industriales. Estos materiales pueden utilizarse en forma de revestimientos, enfoscados, gunitados y paneles, sean estos flexibles, rígidos o semi-rígidos. Destaca que su uso en divisiones o compartimentaciones resistentes al fuego como puertas cortafuego, tabiques, mamparas, trasdosados, falsos techos y en la protección de estructuras metálicas, mediante placas o mediante proyectado (gunitado).

#### **2.2.10. Análisis de costo**

Francisco Valera (2016), el análisis de precio unitario es un modelo matemático que adelanta el resultado expresado en moneda, de una situación relacionada con una actividad sometida a estudio. También es una unidad dentro del concepto costo de obra, ya que tenemos que el “presupuesto” es la suma de producto “precio unitario” por “cantidad”.

#### **2.2.11. Análisis de ciclo de vida**

Rieznik y Hernández (2005), el análisis de ciclo de vida (ACV), es un proceso para evaluar de la forma más objetiva posible, las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad identificando y cuantificando el uso de materias y energías y los vertidos al entorno; para determinar el impacto que ese uso de recursos y vertidos producen en el medio ambiente, y para el evaluar y llevar a la práctica mejoras ambientales.

Este estudio incluye el ciclo completo del producto, proceso o actividad, teniendo en cuenta las etapas de: extracción y procesado de materias primas, producción, transporte y distribución, usos, reutilización y mantenimiento, reciclado y disposición del residuo.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Tipo de Investigación**

La presente estuvo enmarcada como una investigación de tipo experimental y documental, debido a que, se analizó la normativa de protección pasiva contra fuego, las conchas de moluscos *Crassostrea rhizophorae* y *Crassostrea virginica*, fueron sometidas a diferentes condiciones a fin de comprobar que es un material sustentable, ecológicos y de baja conductividad térmica; se realizaron varios tipos de mezclas y diferentes pruebas de absorción, resistencia a la compresión y resistencia térmica y se obtuvo un prototipo de ladrillo que cumplió con los estándares requeridos.

Según Arias (2006a), la investigación experimental es el proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento, para observar los efectos o reacciones que se producen. Por otra parte, define la investigación documental como el proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis crítica, así como también, interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores, en fuentes documentales, en el cual el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos.

#### **3.2. Nivel de Investigación**

Con el propósito de cumplir todos los objetivos, el trabajo de grado (TG), estuvo fundamentado en un proceso metódico y sistemático de búsqueda e indagación y solución de problemas; en esta investigación se dió una solución práctica a la problemática del alto costo de los aislantes

térmicos convencionales, los cuales son requeridos como protección para las estructuras de acero y así mismo, a la problemática ambiental que genera la acumulación de conchas de moluscos *Crassostrea rhizophorae* y *Crassostrea virginica* al proponer un sistema para protección térmica pasiva en columnas de acero estructural con ladrillos ecológicos a base de concreto con dicho material de desecho.

Por su parte, el nivel de investigación quedó enmarcado como una investigación explicativa según lo establece, Arias (2006b), esta se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas, como de los efectos, mediante la prueba de hipótesis. Sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimientos.

### **3.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

#### **3.3.1. Técnicas**

Según Arias (2006c), las técnicas de recolección de datos son las distintas formas o maneras de obtener la información. Son ejemplos de técnicas, la observación directa, la encuesta y la entrevista, el análisis documental, de contenido, entre otros. En cuanto a los instrumentos, el autor citado anteriormente afirma que son los medios materiales que se emplean para recoger y almacenar la información, ejemplo de ellos son: formatos de cuestionarios y guías de entrevistas.

Con la finalidad de cumplir con el procedimiento técnico referente a la obtención de información requerida, para el desarrollo de la presente investigación, se utilizaron como técnicas de recolección de datos el análisis documental y la observación directa no estructurada. De acuerdo a fichas técnicas, a continuación, se detallan los instrumentos y herramientas que fueron empleados para la adecuada ejecución de la

investigación, para así describir cada comportamiento y resultado obtenido en la elaboración de ladrillos aislantes hechos a base conchas de moluscos.

Según Balestrini (1998), el análisis documental se concibe como una lectura general de los textos que poseen las fuentes de información de interés para el investigador, y que le permiten extraer los datos que le sean de utilidad para la investigación. En relación a las implicaciones anteriores, se inició con la búsqueda y revisión bibliográfica de documentos, archivos e investigaciones referentes a las propiedades de las conchas de moluscos, a la normativa de protección contra el fuego y al estado del arte del mismo, utilizando fichas, computadora y sus unidades de almacenaje como instrumento de recolección.

Por otra parte, la observación directa es definida por Tamayo (1991), como aquella en la cual el investigador puede visualizar y recoger datos mediante su propia observación. En este sentido, se llevó a cabo la recolección de conchas, realizando una inspección visual de las costas de Caicara de Barcelona. Posteriormente se elaboró 3 prototipos de mezclas y se realizaron las diferentes pruebas de absorción de agua, resistencia a la compresión y resistencia térmica a las muestras obtenidas.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, en el desarrollo de dichas pruebas, se utilizó cámara fotográfica y de video y diario de campo como instrumentos principales. Finalmente, se hizo uso del Software Ip3, para elaborar un análisis de costo a fin de evidenciar la factibilidad en la fabricación de ladrillos aislantes, así como el debido uso del programa SimaPro 8.5.0 para realización del análisis de vida correspondiente del producto final a modo de conocer su tiempo de vida útil y su contribución con el ambiente.

### **3.3.2. Procedimiento técnico**

#### **3.3.2.1. Revisión bibliográfica.**

Por medio de diferentes investigaciones, documentos y archivos referentes al tema se obtuvo un gran aporte de información que contribuyó a esta investigación, la cual fue almacenada en la computadora, debido a que sus fuentes son digitalizadas. En tal sentido, fue necesario consultar y regirse por distintas normas

- Norma COVENIN 1-78 Ladrillos de arcilla.
- Norma IACA Guía de diseño de acero 19 - Resistencia de fuego del enmarcado de acero estructural.

#### **3.3.2.2. Análisis de costo:**

Se procedió a la realización de un análisis de costo el cual se basó en establecer por partes los recursos necesarios utilizados en la elaboración del ladrillo, dicho análisis fue llevado a cabo con la implementación del “software” Ip3. En el que se desglosaron la cantidad de materiales, equipos y mano de obra requeridos con sus precios establecidos en el mercado actual, a fin de obtener el precio unitario de un ladrillo aislante como sistema de protección térmica pasiva y a su vez, fue comparado con los ladrillos convencionales presentes en el mercado.

### **3.3.3. Técnicas de análisis y procesamientos de datos**

#### **Análisis de los datos:**

En el desarrollo de la presente investigación se utilizaron las técnicas de análisis cualitativo, para analizar y comprender el estado del arte en los sistemas de protección térmica pasiva requerida y utilizada en las columnas de acero estructural. Por otra parte, fue requerido el análisis cuantitativo primeramente para determinar las proporciones y granulometría de concha/cemento para el diseño de los diferentes prototipos de mezclas; así como también fue necesario para interpretar los datos que se obtuvieron de las diferentes pruebas para verificar su

resistencia y los datos tanto del análisis de costo como los del análisis de ciclo de vida a fin de evidenciar su factibilidad económica de producción y su posterior perduración a través del tiempo respectivamente.

#### **3.3.3.1. Análisis Cualitativo:**

Según Sabino (2003), “Se refiere al que procedemos a hacer con la información de tipo verbal que, de un modo general se ha recogido.” (pág.134). A fin de desarrollar el estudio, se utilizó este tipo de análisis para el tratamiento de la información obtenida una vez aplicada las entrevistas no estructuradas.

#### **3.3.3.2. Análisis Cuantitativo:**

Según Sabino (2003), “Este tipo de operación se efectúa, naturalmente, con toda la información numérica resultante de la investigación.” (pág.134). Es decir, los resultados obtenidos en los ensayos y los arrojados por los “software” Ip3 y SimaPro, se presentaron como un conjunto de cuadros y gráficas a las cuales se les calcularon sus porcentajes con su debida interpretación. El procesamiento de los mismos se elaboró por medio de programas como Excel, con la finalidad de organizar y mostrar los datos de una manera clara y precisa.

#### **3.3.3.3. Análisis de ciclo de vida:**

Se efectuó un análisis de ciclo de vida del producto final el cual consistió en un estudio completo desde la etapa de recolección de conchas de moluscos hasta el fin de su vida útil, de esta forma se estimó de forma exacta la perduración medida en cantidad de tiempo de cada ladrillo aislante y se evaluó su impacto medioambiental atribuible.

#### **3.3.4. Herramientas y Equipos**

- Computador.
- Dispositivo de almacenamiento masivo (pendrive).

- Impresora.
- “Software Ip3”.
- “Software SimaPro 8.5.0”.
- Calculadora CASIO fx-570ES PLUS.
- Máquina eléctrica digital para ensayos de concreto.
- Soplete.
- Termómetro.
- Artículos de oficina: hojas tipo carta para la impresión de documentos, bolígrafos, lápices, borradores, carpetas de manila, etc.

### **3.4. Procedimiento metodológico**

#### **Búsqueda y revisión bibliográfica.**

Se inició a recabar la documentación relacionada al tema en estudio, mediante la búsqueda y revisión de material bibliográfico implementando así el análisis documental (Arias 2006d). Se examinaron trabajos de investigación, tesis, documentos, proyectos y fuentes electrónicas que contenían información acerca de aislantes térmicos hechos a partir de materiales ecológicos, se indagó sobre la utilización de las conchas de moluscos como material ecológico para la elaboración de nuevos materiales constructivos.

Duración: 16 semanas.

#### **Identificación del estado del arte en los sistemas de protección térmica pasiva requerida y utilizada en las columnas de acero estructural.**

Se procedió a examinar los métodos y medidas de protección térmica utilizadas frecuentemente en la construcción con acero estructural mediante la lectura, análisis y revisión documental de textos, guías de diseño, normas y páginas web, para conocer detalladamente los sistemas térmicos tradicionales y modernos más utilizados, así como también los

parámetros y requisitos reglamentarios de protección pasiva contra el fuego; específicamente de los elementos estructurales columnas, a fin de conocer su temperatura máxima y sus métodos de protección existentes, datos que fueron utilizados como límites y guía referencial en la realización de la etapa de experimentación.

Duración: 4 semanas.

**Establecimiento de los diferentes prototipos de mezclas variando la proporción y granulometría de concha/cemento.**

Consistió en el inicio del desarrollo experimental de la investigación aplicando la observación directa (Tamayo, 1991b), donde variando la granulometría de las conchas y en conjunto con los elementos de uso tradicional se obtuvieron las características físicas de los diferentes prototipos de mezclas para ladrillos aislantes, utilizando así, la metodología técnica de dosificación de mezcla. Los resultados de esta fase, fueron la base principal para obtener una mezcla idónea para la posterior elaboración de ladrillos aislantes modelo que se ajustaron a los estándares y requerimientos de las normas internacionales anteriormente citadas.

Duración: 4 semanas.

**Realización de pruebas de absorción, pruebas de resistencia a la compresión y pruebas de resistencia térmica ante el fuego, según la Norma COVENIN 1-78 ladrillos de arcilla y según la AISC Guía de Diseño de Acero 19– Resistencia de Fuego del Enmarcado de Acero Estructural.**

Obtenidos los diferentes ladrillos aislantes modelos se procedió a llevar a cabo, la realización de las diferentes pruebas térmicas, químicas y mecánicas, utilizando como guía referencial y de estados límites permisibles la norma de Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) 1-78 ladrillos de arcilla y según la AISC Guía de Diseño de Acero 19 – Resistencia de Fuego del Enmarcado de Acero Estructural. En la prueba química se sometió a un ladrillo aislante modelo a la prueba de

absorción de agua, se sumergió en agua durante un lapso de tiempo determinado y fue pesado después de que se secó su superficie, con la finalidad de medir la capacidad que tuvo el ladrillo de aumentar su peso mediante el fenómeno de absorción y verificando así que cumplía con los requerimientos establecidos en la normativa nacional.

### **Muestra de cálculo del coeficiente de Absorción**

$$ABS = \frac{(P_2 - P_1)}{P_1} * 100$$
$$ABS = \frac{(1,94 - 1,77)}{1,77} * 100 = 9,57\%$$

ABS= Coeficiente de absorción (%)

P<sub>1</sub>= Peso seco (Kg)

P<sub>2</sub>= Peso húmedo (Kg)

Seguidamente, la prueba térmica consistió en someter a los ladrillos aislantes modelos a una fuente directa de fuego a alta temperatura en una de sus caras, en simulación de un incendio real; mientras que, en la cara posterior con la utilización de un termómetro digital se midió la temperatura máxima alcanzada. Lo que permitió conocer la capacidad del ladrillo para soportar el calor requerido de un aislante térmico como protección a columnas de acero estructural, verificando así, que cumplió con los estándares establecidos en la norma internacional.

Al culminar las pruebas anteriormente descritas, se realizó la prueba mecánica de resistencia a la compresión, la cual consistió en aplicar con una máquina eléctrica digital para ensayos de concreto la capacidad requerida para producir la ruptura de los ladrillos aislantes y así, obtener el resultado de resistencia máxima a la compresión de cada uno de los ladrillos y posteriormente realizar un análisis comparativo.

### Muestra de cálculo de la resistencia a la compresión

$$S_b = L_b * A_b \quad (\text{Ec. 2})$$

$$S_b = 23\text{cm} * 11,5\text{cm} = 264,5\text{cm}^2$$

S<sub>b</sub>= Área bruta (cm<sup>2</sup>)

L<sub>b</sub>= Largo bruto en cm

A<sub>b</sub>= Ancho bruto en cm

### Esfuerzo a la compresión

$$R_c = \frac{C_m}{S_b} \quad (\text{Ec. 3})$$

$$R_c = \frac{690\text{Kg}}{264,5\text{ cm}^2} = 2,61\text{ Kg/cm}^2$$

R<sub>c</sub>= Resistencia o esfuerzo a la compresión (Kg/cm<sup>2</sup>)

C<sub>m</sub>= Carga máxima soportada en Kg

S<sub>b</sub>= Área bruta (cm<sup>2</sup>)

Duración: 4 semanas.

### Presentación de un análisis de costo para evidenciar la factibilidad económica de la producción de ladrillos aislantes térmicos con conchas de moluscos.

Se evaluó la factibilidad económica utilizando como metodología técnica el manejo y aplicación del “software” Ip3, para el cálculo del costo de los materiales, equipos y mano de obra necesarios; se obtuvo el precio unitario del ladrillo aislante térmico con conchas de moluscos y así posteriormente se comparó con el costo unitario de los aislantes convencionales.

Duración: 4 semanas.

**Elaboración de un análisis de ciclo de vida comparativo de sistema para protección térmica pasiva a base de conchas de moluscos con los sistemas de protección tradicionales.**

Se evaluaron las ventajas y desventajas ecológicas que generan los ladrillos aislantes térmicos a base de concreto con conchas de moluscos, partiendo desde la extracción del material utilizado como materia prima desde la costa de Caicara de Barcelona, siguiendo con el proceso de fabricación con la implementación de equipos básicos hasta el final de vida útil del producto; a modo de conocer los aportes ambientales positivos y negativos que este genera. El mismo se realizó, mediante el uso del programa SimaPro 8.5.0.

Duración: 4 semanas.

**Ordenamiento, redacción y encuadernación del trabajo de grado.**

Para finalizar, en esta etapa se procedió a ordenar la información derivada de las etapas previstas; posterior a esto, se hizo entrega del trabajo de grado a las autoridades competentes de la Universidad de Oriente, para luego llevar a cabo la presentación y defensa del mismo. Es importante destacar que el trabajo final se redactó a lo largo de los meses de trabajo señalados en el cronograma de actividades.

Duración: 6 semanas.

### 3.4.1. Cronograma de Actividades

*Propuesta de sistema para protección térmica pasiva en columnas de acero estructural con ladrillos ecológicos a base de concreto con conchas de moluscos *Crassostrea rhizophorae* y *Crassostrea virginica*.*

	Julio			Agosto			Septiembre			Octubre			Noviembre			Diciembre		
N° Etapas																		
I. Búsqueda y revisión bibliográfica.																		
II. Identificación del estado del arte en los sistemas de protección térmica pasiva requerida y utilizada en las columnas de acero estructural																		
III. Establecimiento de los diferentes prototipos de mezclas variando la proporción y granulometría de concha/cemento.																		
IV. Realización de pruebas de absorción, pruebas de resistencia a la compresión y pruebas de resistencia térmica ante el fuego, según la norma COVENIN 1-78 "Ladrillos de arcilla" y según la AISC Guía de Diseño de Acero 19 - "Resistencia de Fuego del Enmarcado de Acero Estructural".																		
V. Presentación de análisis de costo para evidenciar la factibilidad económica de la producción de ladrillos aislantes térmicos con conchas de moluscos.																		
VI. Elaboración de un análisis de ciclo de vida comparativo de sistema para protección térmica pasiva a base de conchas de moluscos con los sistemas de protección tradicionales.																		
VII. Ordenamiento, redacción y encuadernación del trabajo de grado.																		

Realizado por: Ramírez P. Víctor D. Fecha de inicio: 01 de Julio de 2020. Fecha de culminación: 27 de Diciembre de 2020.

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS Y RESULTADOS**

En este capítulo se plasmó la esencia del presente trabajo de investigación, iniciando con la descripción del estado del arte en los sistemas de protección térmica pasiva, sirviendo de base teórica y de comparación para las demás etapas de la presente investigación.

En mismo sentido, se mostraron los pasos realizados para desarrollar los diseños de ladrillos ecológicos a base de concreto con concha de moluscos como sistema de protección térmica pasiva en columnas de acero estructural. Además, se describieron los procedimientos llevados a cabo en cada ensayo y sus resultados con el objeto de verificar que se cumplieron con las propiedades mínimas establecidas en las Normas COVENIN 1-78. Este paso fue crucial debido a que, si se pretendió romper paradigmas en cuanto al uso de materiales reciclables en la elaboración de elementos constructivos, fue necesario demostrar con hechos comprobables su correcta funcionalidad.

Por otro lado, se realizó un análisis de ciclo de vida (ACV), para medir los impactos ambientales originados por la fabricación de los ladrillos propuestos, en comparación con los sistemas tradicionales de protección pasiva. Finalmente, se llevó a cabo un análisis de precios unitarios (APU), en donde fueron comparados los costos de elaboración de ladrillos con materiales tradicionales y los costos utilizando el material alternativo propuesto con el objeto de establecer ventajas económicas.

#### **4.1. Identificar el estado del arte en los sistemas de protección térmica pasiva, requeridas y utilizadas en las columnas de acero estructural.**

##### **4.1.1. Descripción de sistemas de protección contra incendios de columna.**

En el estudio del arte de los materiales existentes para el aislamiento térmico se encontró una gama interesante, evidenciándose que su implementación puede adaptarse a distintas situaciones y que el tiempo de resistencia a las altas temperaturas, fue el indicador principal a comparar dentro de este estudio de fabricación de ladrillos aislante, a continuación, se describen los distintos sistemas de protección térmica pasiva:

###### **4.1.1.1. Unidades de construcción prefabricadas**

La resistencia ante el fuego puede ser provista utilizando paneles prefabricados patentados. Estos sistemas son limitados y no se han visto un uso extensivo de los mismos. Un componente crítico de la protección es su estructura panel-a-panel y panel-a-columna como un mecanismo adjunto.

###### **4.1.1.2. Columnas ignífugas prefabricadas**

Columnas de acero prefabricadas, con resistencia de duración de 2 a 4 horas, consisten en un núcleo de acero en forma de W o sección tubular rodeado de una protección cementosa ligera y una chaqueta de acero. Las columnas son prefabricadas con placas de tapa, placas de base, y componentes de conexión intermedios como necesario.

###### **4.1.1.3. Materiales de tapetes endotérmicos y cerámicos**

La envoltura endotérmica bloquea la penetración de calor al absorber químicamente la energía térmica. Al exponerse altas temperaturas, este material libera agua químicamente ligada para enfriar

la superficie exterior, estas envolturas endotérmicas pueden por lo tanto lograr obtener una resistencia al fuego de duración que va de 1, 2 y 3 horas. Todo en función del número de capas de la envoltura endotérmica aplicada alrededor de la columna.

#### **4.1.1.4. Cerramientos de tableros fibra mineral**

Los cerramientos de tableros de fibra pueden usarse para crear una protección ante el fuego de resistencia térmica de hasta 4 horas. Los tableros de minerales están disponibles pre-acabados o con una superficie adecuada para el acabado.

#### **4.1.1.5. Cerramientos de listones y yeso**

El yeso es normalmente una composición de arena, agua y cal. que se endurece al secarse. Si la arena se sustituye por minerales expandidos como la perlita o vermiculita, las propiedades de aislamiento se mejoran y el resultado es un yeso liviano puede usarse para proporcionar protección contra incendios para columnas de acero. La sección de la columna se envuelve con listón de metal o tela de alambre con respaldo blando para crear un sustrato para el yeso. Llegando a proporcionar una protección contra incendios de hasta 4 horas.

#### **4.1.1.6. Sistemas de placas de yeso**

Los ensamblajes de paneles de yeso son sistemas no combustibles que protegen las columnas liberando químicamente agua en forma de vapor cuando se somete a calor intenso. El vapor crea una barrera térmica conocida como el plano de calcinación. El material de yeso inmediatamente detrás de la barrera se eleva a temperaturas solo ligeramente superiores a 212. ° F (100 ° C), el punto de ebullición del agua. Esta temperatura Está muy por debajo del punto en que el acero comienza a perder fuerza.

#### **4.1.1.7. Recubrimientos de masilla**

Esta cubre los recubrimientos de masilla intumescentes que se expande cuando se calienta para crear una barrera de aislamiento y para reflejar el calor. Recubrimientos finos, generalmente son suficientes para satisfacer la protección de resistencia al fuego requerida. La superficie de recubrimiento es duradera y, a menudo, adecuado para la aplicación de un buen acabado final. Los recubrimientos se aplican generalmente en múltiples capas y un material de refuerzo dentro de la masilla es a menudo necesario. Los materiales de refuerzo pueden ser de malla de fibra de vidrio o galvanizado o malla de alambre soldada.

#### **4.1.1.8. Materiales resistentes al fuego aplicados por pulverización (MRFP).**

El método más utilizado de aislamiento de columnas es a través del uso de materiales resistentes al fuego aplicados por pulverización (MRFP). Pueden ser categorizados en dos grupos básicos, cementosos y a base de fibra. A pesar de lo que sugieren estas categorías, tanto en cemento Portland o a base de yeso proporciona una adecuada cohesión a ambos tipos de MRFP. Ambos son esparcidos por toda la sección a proteger formando una capa sobre el acero.

#### **4.1.1.9. MRFP fibroso.**

Fibras creadas al derretir roca o escoria de hierro hilado, logra producir una masa filamentosa con peso ligero y propiedades incombustibles. La aplicación del material fibroso consiste en la mezcla de aglutinantes y fibras secas con agua en la boquilla de la manguera, luego se rocía-aplica el material para revestir el miembro a proteger.

#### **4.1.1.10. MRFP cementoso.**

Las protecciones MRFP contienen yeso mineral que proporciona protección contra incendios a los elementos estructurales a través de la liberación de agua químicamente combinada del yeso en la forma de vapor. Una protección adicional también es proporcionada mediante la inclusión de agregados de vermiculita o de perlita, que se expanden y aíslan en condiciones extremas de calefacción. Se prepara MRFP cementoso mezclando la lechada en una tolva y entregando el MRFP bajo presión en una boquilla para rociar. En lugar de pulverizar, la lechada puede ser esparcida con paleta en su lugar.

#### **4.1.1.11. Columnas rellenas de concreto.**

El relleno de concreto en secciones estructurales huecas puede sostener efectivamente las cargas durante una exposición al fuego. La masa de concreto proporciona un aumento en la capacidad para absorber el calor causado por el fuego y así se extiende la duración de la resistencia a la carga.

El comportamiento al fuego de una columna rellena de concreto mejora cuando se produce la absorción de calor gracias a la humedad en el concreto que se convierte en vapor. El calor absorbido durante este cambio de fase es significativo, sin embargo, el vapor resultante debe ser liberado para prevenir los efectos adversos.

#### **4.1.1.12. Cerramientos de mampostería.**

Un recinto aislante se puede proporcionar para la sección de la columna de acero usando unidades de mampostería de concreto o unidades de mampostería de arcilla. Se ha probado en columnas en condición descargada, limitando el aumento de temperatura promedio a 1,000 ° F (538 ° C), para cualquier sección o 1,200 ° F (649 ° C), para cualquier punto individual. La protección dada por estos elementos viene

dada por el flujo de calor a través de la mampostería. El flujo de calor puede predecirse en base a varios parámetros, incluyendo el espesor equivalente de la mampostería, la conductividad térmica de la mampostería, la densidad tanto de la mampostería como del acero, la calefacción perímetro del acero, y el perímetro interior de albañilería.

#### **4.1.1.13. Protección de concreto**

Los revestimientos de concreto prefabricado se utilizan a menudo para extender el tiempo en que una columna puede continuar sosteniendo la carga usando la capacidad térmica del concreto a la columna como ventaja. La capacidad del concreto para absorber calor es influenciada por el contenido de humedad del concreto.

#### **4.1.1.14. Recubrimientos intumescentes**

Los recubrimientos intumescentes son aislantes químicos que producen capas delgadas que retardan la acción del fuego, es una mezcla de aglutinantes, resinas, cerámicas y rellenos refractarios. Estas se expanden bajo alta temperaturas y forman una capa de espuma celular duradera y adherente resistente al fuego. Mientras la capa de espuma se carboniza, su baja conductividad térmica crea una capacidad térmica reducida que actúa para retardar el flujo de calor al acero. La capa de espuma actúa como disipador de calor apreciable durante la intumescencia, luego como un aislante razonable. Sistemas intumescentes aplicados a los miembros de acero consisten típicamente en una capa base, que contiene elementos con la capacidad de crear la capa de espuma, colocada encima de la imprimación de acero. Una capa superior es colocada luego sobre la capa base. Esta capa proporciona la protección con las cualidades estéticas deseadas, al tiempo que proporciona protección contra la humedad, la abrasión y los productos químicos. Los revestimientos se colocan de manera similar a la pintura, y se puede aplicar con rodillos, brochas o spray.

Tabla 5. Tiempo-resistencia al fuego

Sistemas de protección térmica	Tiempo de protección
Unidades de construcción prefabricada	2 horas
Columnas ignífugas prefabricadas	2 – 4 horas
Tapetes Endotérmicos	3 horas
Cerramientos de listones y yeso	4 horas
Sistemas de placas de yeso	2 – 4 horas
Recubrimientos de masilla	3 horas
MRFP	2 – 4 horas
Columnas rellenas de concreto	2 horas
Cerramientos de mampostería	2 horas
Protección de concreto	2 – 4 horas
Recubrimientos intumescentes	4 horas

Fuente: Ramírez, V. (2022).

#### 4.1.2. Recolección de conchas de moluscos

Se procedió a recolectar las conchas de moluscos en las costas de Caicara de Barcelona para su posterior estudio (ver figura 1). Este material antes de ser estudiado, fue lavado con agua y se sometió a un procedimiento de secado por 6 horas a temperatura ambiente, y posteriormente fue utilizado como el agregado ecológico en fabricación de ladrillo aislante.



Figura 1. Conchas de moluscos *Crassostrea rhizophorae* y *Crassostrea virginica*.  
Fuente: Ramírez, V. (2022).

#### 4.1.2.1. Estudio de las conchas de moluscos

Dentro de la investigación minuciosa y de tipo documental de las conchas de moluscos *Crassostrea rhizophorae* y *Crassostrea virginica*, en la cual se buscó información sobre su composición química, conductividad y clasificación combustible a fin de comprobar que era un material ecológico idóneo para la fabricación de los ladrillos.



Figura 2. Conchas de moluscos *Crassostrea rhizophorae* y *Crassostrea virginica*.  
Fuente: Ramírez, V. (2022).

#### 4.2. Establecimiento de los diferentes prototipos de mezclas variando la proporción y granulometría de concha/cemento.

En esta etapa se dio inicio al desarrollo experimental de la investigación según Tamayo (1991), en el cual se varió la granulometría de las conchas:

**Agregado #1:** Para este agregado se utilizaron conchas de moluscos en su estado natural de tamaño de partícula de 25.4 mm aproximadamente, sin atravesar por proceso de trituración alguno, ni emplear el uso de un cedazo en específico

**Agregado #2:** Este agregado atravesó por un proceso de trituración sencillo agregando concha de moluscos dentro de un saco y golpeándolo con un objeto contundente, se utilizaron los cedazos  $\frac{1}{4}$ ' y el cedazo #4, para seleccionar un agregado de tamaño de partículas de entre 6.30mm y 4.76mm aproximadamente, que correspondieron a los cedazos anteriores.

**Agregado #3:** Este agregado atravesó por un doble proceso de trituración, de igual forma agregando las conchas de moluscos al interior de un saco y posteriormente golpeándolo con un objeto contundente, repitiendo el proceso 1 vez más, se implementó el uso del cedazo #5 y el cedazo #6, para finalmente seleccionar un agregado de tamaño aproximado entre 4.00 mm y 3.36mm, correspondiente a los cedazos anteriores.

Estas variaciones de la granulometría en conjunto con los elementos de uso tradicional permitieron obtener las características físicas de los diferentes prototipos de mezclas para ladrillos aislantes, utilizado así, la metodología técnica de dosificación de mezcla (ver tabla 5). Los resultados de esta fase, se muestran a continuación.

**Tabla 6. Tabla de dosificación de mezclas.**

	Mezcla 1 C/A=1:8,18			Mezcla 2 C/A=1:7,71			Mezcla 1 C/A=1:7,93		
# Bloques	40			35			35		
Materiales	Kg	m <sup>3</sup>	l/gr	Kg	m <sup>3</sup>	l/gr	Kg	m <sup>3</sup>	l/gr
Agua	0,24	0,00024	240	0,24	0,00024	240	0,34	0,00034	340
Cemento	0,5	0,000332	500	0,5	0,000332	500	0,5	0,000332	500
Concha	1,15	0,001355	1150	1,95	0,002297	1950	2,50	0,002945	2500
Σ=	1,89	0,001927		2,69	0,002869		3,34	0,003617	

**Fuente:** Ramírez, V. (2022).

Según la tabla 6, se evidenció el cambio en la cantidad de conchas de moluscos para obtener variedad en la composición de las mezclas en cuanto a peso, densidad, espacios vacíos para determinar según los distintos ensayos la mejor dosificación a utilizar como aislante térmico. Así mismo, la cantidad de agua utilizada fue la requerida para poder obtener una mezcla consistente con la menor cantidad de humedad y con la trabajabilidad del concreto deseada (ver figura 3).



**Figura 3. Elaboración de mezclas con conchas de moluscos.**

**Fuente:** Ramírez, V. (2022).

#### **4.2.1. Confección de ladrillos ecológicos a base de concreto con concha de moluscos.**

Para su proceso de elaboración de una manera general, primeramente, fueron mezclados los ingredientes secos de concha y cemento, posteriormente se agregó el agua de forma progresiva utilizando solo la cantidad requerida y especificada en la tabla 6 para poder obtener una mezcla consistente que resultó en el asentamiento deseado, se utilizó una muestra de la mezcla para realizar ensayo del cono de Abrams, se obtuvo un asentamiento de 0cm, luego del experimento con la mezcla, se transportó la misma y se vació en el encofrado de medidas 24cmx11,5cmx7cm aproximadamente, verificando su llenado al ras.

Seguidamente, se empleó el método de compactado a presión con la finalidad de compactar la mezcla dentro del molde, recalcando que fue utilizado dicho método en lugar del método de vibrado todo a fin de generar un mejor acomodo de los materiales que resultó en ladrillos con mayor porosidad y espacios vacíos que pudieron retrasar el movimiento del calor, una vez compactada la mezcla se elevó el encofrado completamente dejando así los ladrillos reposados en la superficie elegida, para luego poder repetir dicho proceso. Finalmente, al terminar con todos los ladrillos, se realizó el proceso de identificación de cada mezcla, siendo la base principal para obtener una mezcla idónea para la posterior elaboración de ladrillos aislantes modelo que se ajustaron a los estándares y requerimientos de las normas nacionales e internacionales.

Es importante destacar, que se empleó el uso de un encofrado móvil en forma de "L" con las dimensiones anteriormente mencionadas. Aunado a esto al momento de vaciar y compactar las mezclas en el mismo, se produjo un error humano por parte del autor al ejercer mayor presión ocasionando una variación de tamaño en la dimensión de los ladrillos de la mezcla #1, con respecto a los ladrillos de las mezclas #2 y

#3. Sin embargo, dicho error no influyó de ninguna manera en los posteriores ensayos y resultados expresados en las pruebas de tipo térmica, mecánica, y de absorción. Debido a que ninguna de dichas pruebas depende de una pequeña diferencia de área.



**Figura 4. Prototipo de bloques (23cm x11,5cmx7cm aproximadamente).**  
Fuente: Ramírez, V. (2022).

### **Ensayo de Cono de Abrams**

De forma general el ensayo del cono de Abrams consistió en conocer el asentamiento de cada una de las mezclas elaboradas de concreto con concha de moluscos en sus diferentes variaciones granulométricas, primeramente, se inició tomando una cantidad de mezcla no inferior a 8 litros para la realización del ensayo, seguidamente se procedió a humedecer el cono y la plancha con un poco de agua a fin de evitar que los implementos de la prueba le restaran humedad a la mezcla.

Posteriormente se colocó el molde sobre la plancha de apoyo horizontal, para luego proceder a situarse sobre las pisaderas del cono a fin de evitar el movimiento del molde durante el llenado. Inmediatamente se procedió al llenado del molde en tres capas, la primera capa se llenó hasta  $1/3$  del volumen total del cono, compactándola con 25 golpes de varilla-pisón utilizando la misma ligeramente inclinada alrededor del perímetro. Continuando con el ensayo, la segunda capa se llenó hasta  $2/3$

del volumen total del molde, compactando nuevamente con 25 golpes de varilla-pisón, distribuyendo el apisonado uniformemente. Finalizando el proceso de llenado con la tercera capa, en la cual se completó el llenado del volumen total del cono hasta desbordarlo, compactando de nuevo con 25 golpes más de varilla-pisón.

Una vez llenado y terminada la compactación, se enrasó la superficie de la capa superior con la utilización de la varilla-pisón y se limpió el concreto derramado alrededor del cono y la plancha. Seguidamente se procedió al levantamiento del cono, sujetando el mismo con ambas manos sobre las asas y dejando las pisaderas libres, se elevó el molde en dirección vertical sin perturbar el concreto en un lapso de tiempo de 3 a 7 segundos. Finalmente se procedió a realizar la medición del asentamiento, colocando la varilla-pisón de forma horizontal sobre el cono invertido, a modo de extenderse sobre el concreto asentado, a continuación, con la ayuda de una regla graduada se midió la distancia en centímetros entre la varilla-pisón y el eje central de la parte superior del concreto siendo este dato el resultado del asentamiento generado.

Tomando este resultado se procedió repetir el ensayo para los diferentes tipos de mezclas.

Al llevar a cabo y posteriormente finalizar el ensayo del cono de Abrams para cada una de las mezclas con diferente granulometría en el agregado utilizado de concha de moluscos, se pudo obtener un asentamiento de 0 cm con un margen de error  $\pm 1$  para las mezclas #1, #2 y #3, por lo tanto, todas fueron categorizadas como mezclas de consistencia seca. Conteniendo esta categoría a todas las mezclas de concreto que resultan en un asentamiento de 0 – 2 cm

#### **4.2.2. Equipos y materiales utilizados para la elaboración de los ladrillos**

A continuación, se muestra los equipos y materiales utilizados durante la ejecución de los trabajos:

##### **a) Equipos**

- Pala de construcción: Marca Fermetal
- Espátula de construcción: Marca Fermetal
- Tobo con asa: Marca Cebra; Capacidad: 5 Lt.
- Carretilla para el transporte de concha de moluscos: Marca RUTEL; Capacidad: 110 Lt.
- Manguera para el lavado de conchas: Marca TRUPER; Capacidad: 20 mt.
- Serie de Tamices para agregado fino.
- Tamizador RO-TAP para agregado fino: Marca Tiler.

##### **b) Materiales**

- Cemento Portland Tipo I.  
Origen: CEMEX VENEZUELA, S.A.C.A
- Agua potable.  
Origen: Tomada del acueducto de Cantaura, estado Anzoátegui.
- Conchas de moluscos.  
Origen: Recolectadas en las costas de Caicara de Barcelona, estado Anzoátegui.
- Madera



Figura 5. Foto de sacos de conchas recolectadas.  
Fuente: Ramírez, V. (2022).

#### **4.3. Realización de pruebas de absorción, resistencia a la compresión y resistencia térmica ante el fuego, según la norma COVENIN 1-78 ladrillos de arcilla y según la IACA Guía de Diseño de Acero 19 – Resistencia de Fuego del Enmarcado de Acero Estructural.**

Una vez culminada la etapa anterior y por ende, obtenido los diferentes ladrillos aislantes modelos se procedió a llevar a cabo, la realización de las diferentes pruebas térmicas, químicas y mecánicas, utilizando como guía referencial y de estados límites permisibles la norma de Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) 1-78 ladrillos de arcilla y según la IACA Guía de Diseño de Acero 19 – Resistencia de Fuego del Enmarcado de Acero Estructural.

El principal objetivo de este estudio fue el poder obtener un material aislante resistente al fuego que cumpliera con las especificaciones de la norma IACA Guía de Diseño de Acero 19 – Resistencia de Fuego del Enmarcado de Acero Estructural. Al no permitir el sobrepasar la temperatura crítica de las columnas de **538°C**.

Para el cumplimiento de este objetivo, se realizó un ensayo de resistencia térmica a un ladrillo de cada tipo de mezcla. En la misma se obtuvo que los ladrillos soportaron una llama directa de 1600°C durante 2

horas, sin producir ninguna falla en las piezas ensayadas, resultando ser una prueba no destructiva, por lo tanto, no se hizo necesario repetir la prueba con otras probetas de cada tipo de mezclas, ya que al concluir el ensayo las muestras se encontraban en perfectas condiciones. Aunado a esto, los ladrillos elaborados con mezclas de diferentes granulometrías, arrojaron resultados semejantes, corroborando las cualidades de este material y la no necesidad de ensayar nuevas probetas.

Por su parte para la realización del ensayo de resistencia a la compresión, por motivos económicos en función de los elevados costos que sugirió la realización del mismo, se procedió a ensayar una sola muestra por cada tipo de mezcla, además es importante recalcar que la finalidad principal fue el diseñar un material apto para protección térmica pasiva de columnas de acero estructural.

Por otra parte, al llevar a cabo el ensayo de absorción máxima de agua, habiendo empleado una sola muestra de los 3 tipos de mezclas en los ensayos de resistencia térmica y resistencia a la compresión, no se consideró pertinente realizar un mayor número de pruebas en este ensayo por lo que se procedió a ensayar la misma cantidad de piezas que en las pruebas anteriormente descritas.

#### **4.3.1. Ensayo de absorción**

Para realizar las pruebas de absorción se utilizaron los siguientes materiales y/o equipos de la empresa de concretos prefabricados Alexcar C.A., ubicado en el sector La Trilla, Cantaura, Estado Anzoátegui:

- Tobo con asa: Marca Cebra; Capacidad: 5 Lt.
- Horno: Marca Precisión; Serial: 645; Temperatura máx: 355 °C.
- Toalla absorbente.
- Balanza digital: Marca K&S, Capacidad: 40kg/10g.

Para este ensayo se tomaron 3 ladrillos, uno de cada mezcla para la realización del mismo, se inició colocando los ladrillos en un horno a una temperatura constante de 115 °C por 24 horas. Seguidamente, fueron retiradas las muestras del horno para luego ser pesadas y así obtener el peso de la muestra seca. Posteriormente, fueron sumergidos los 3 ladrillos completamente en agua durante 24 horas, a temperatura ambiente en un recipiente de agua convencional (tobo) para la realización de dicha prueba.



**Figura 6. Foto de muestra sumergida.**  
**Fuente: Ramírez, V. (2022).**

Transcurrida las 24 horas se procedió a extraer las muestras del agua y fueron secadas una por una con una toalla para absorber el exceso de agua en la superficie de las mismas. Finalmente, fueron pesadas las muestras inmediatamente para así obtener el peso de la muestra húmeda y poder determinar el porcentaje de absorción.



Figura 7. Peso Húmedo.  
Fuente: Ramírez, V. (2022).

#### 4.3.1.1. Porcentaje de Absorción

##### Resultado de Mezcla #01

Tabla 7. Porcentaje de absorción de la mezcla #01.

ABSORCIÓN	
Horas	% de absorción
24	9,57

Fuente: Ramírez, V. (2022).

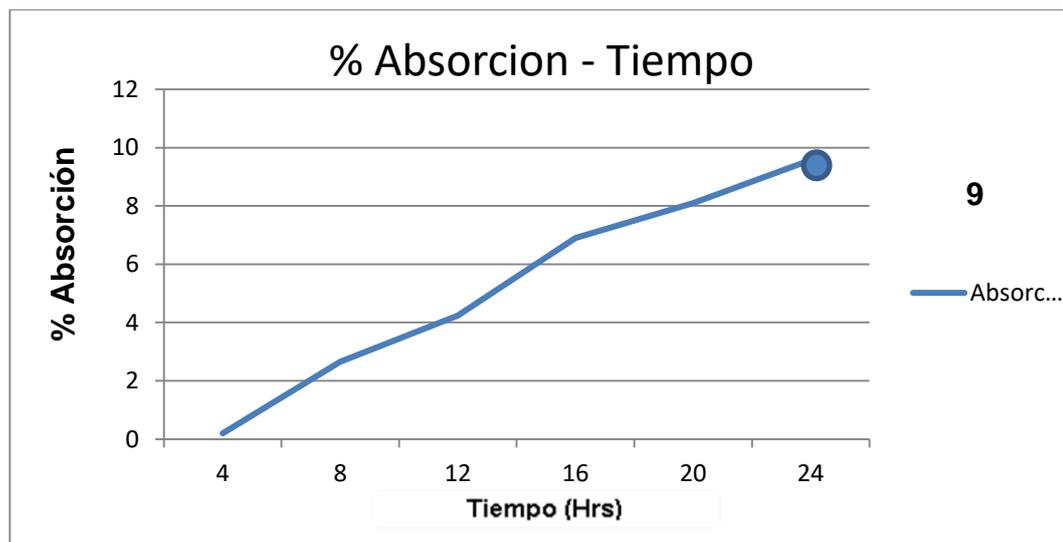
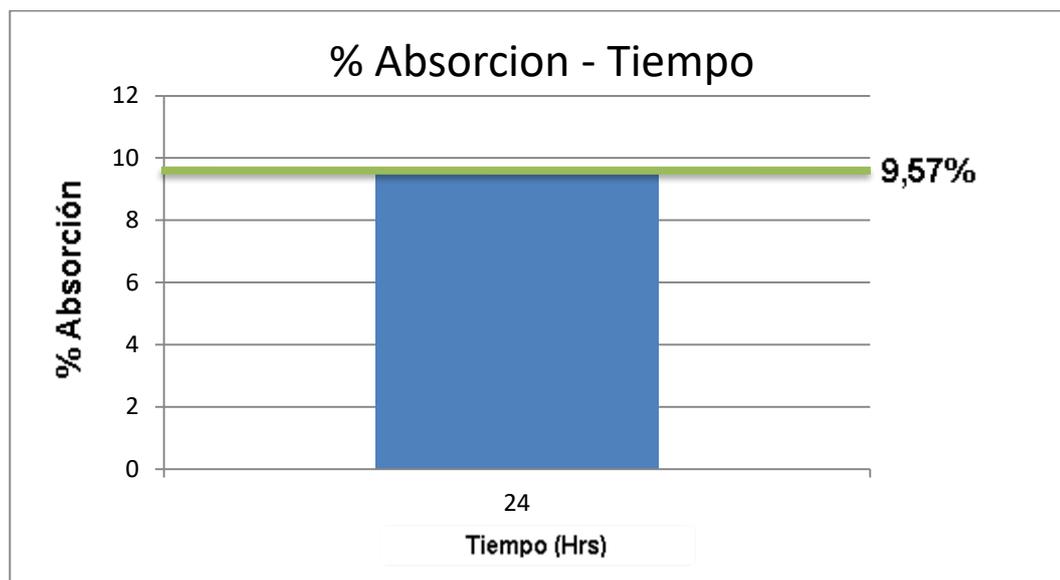


Gráfico 1. %Absorción vs Días del ladrillo de la mezcla #01.

Fuente: Ramírez, V. (2022).



**Gráfico 2. % Absorción vs Días del ladrillo de la mezcla #01.**

**Fuente:** Ramírez, V. (2022).

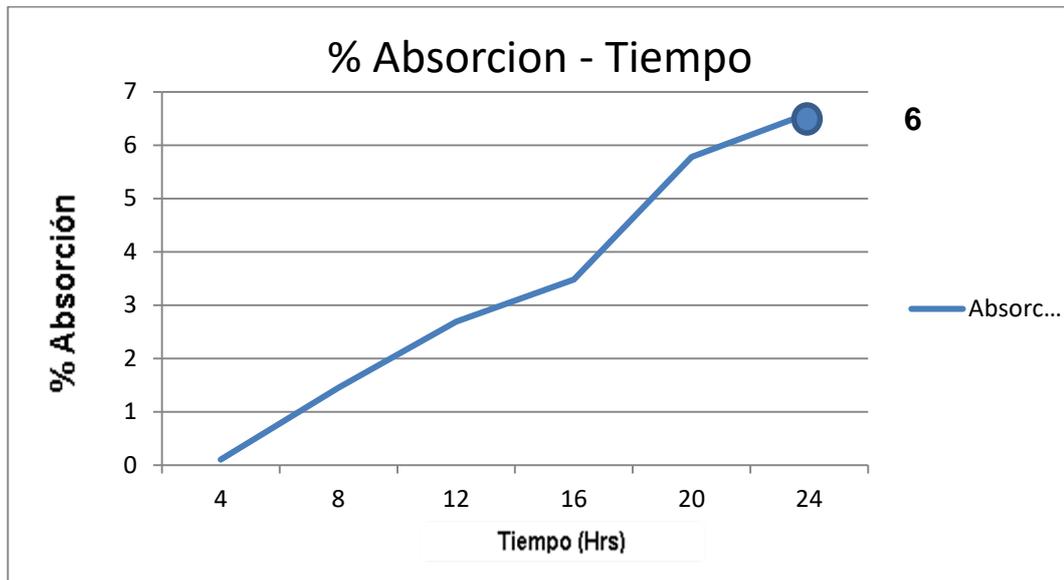
En el ensayo de esta muestra debido al tamaño de las conchas habiendo sido utilizadas en su tamaño original sin algún tipo de proceso de trituración, fue la que teóricamente presentó más alta porosidad, lo cual produjo como resultado un mayor porcentaje de absorción. Por otra parte, esta mezcla presentó el porcentaje de absorción más desfavorable con respecto al resto de las mezclas. No obstante, la muestra cumplió con el parámetro establecido por la Norma COVENIN 1-78 ladrillos de arcilla, al no exceder el valor máximo de absorción, el cual es 15%.

### Resultados de Mezcla #02

**Tabla 8. Porcentaje de absorción de la mezcla #02.**

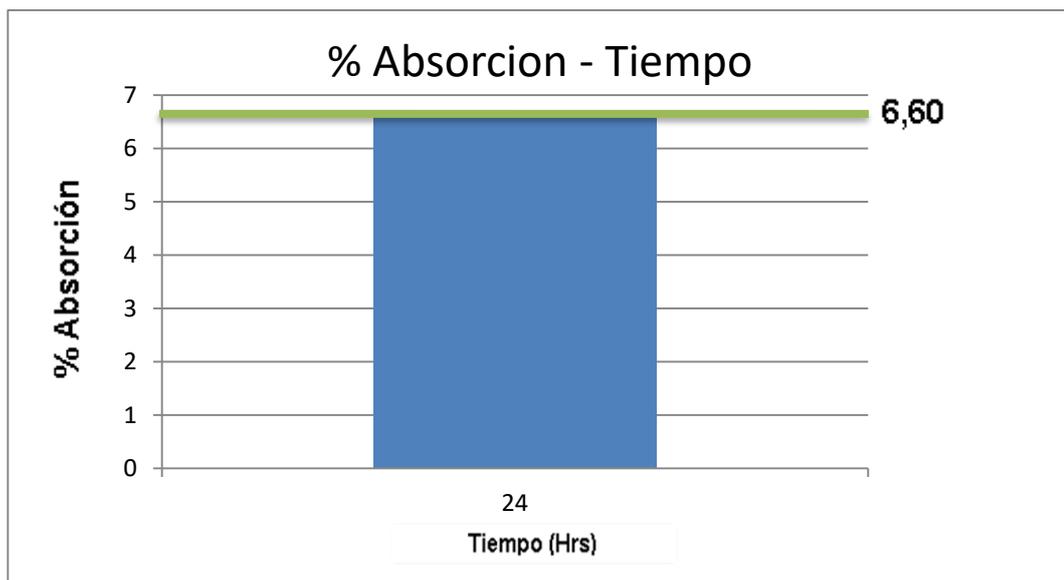
ABSORCIÓN	
Horas	% de absorción
24	6,60

**Fuente:** Ramírez, V. (2022).



**Gráfico 3. %Absorción vs Días del ladrillo de la mezcla #02.**

Fuente: Ramírez, V. (2022).



**Gráfico 4. %Absorción vs Días del ladrillo de la mezcla #02.**

Fuente: Ramírez, V. (2022).

En esta mezcla se varió la granulometría de la concha de moluscos al disminuir el tamaño de este agregado natural mediante un solo proceso de trituración sencillo, de esta manera se logró un mejor acomodo de los agregados y se generó así un elemento de mampostería con menor porosidad, el porcentaje de absorción que se obtuvo en esta

mezcla ha sido el resultado más favorable con respecto a las mezclas diseñadas con conchas de moluscos, por lo que cumplió así las expectativas deseadas respecto al requisito de absorción establecido en la Norma COVENIN 1-78 ladrillos de arcilla.

### Resultado de Mezcla #03

Tabla 9. Porcentaje de absorción de la mezcla #03.

ABSORCIÓN	
Horas	% de absorción promedio
24	9,04

Fuente: Ramírez, V. (2022).

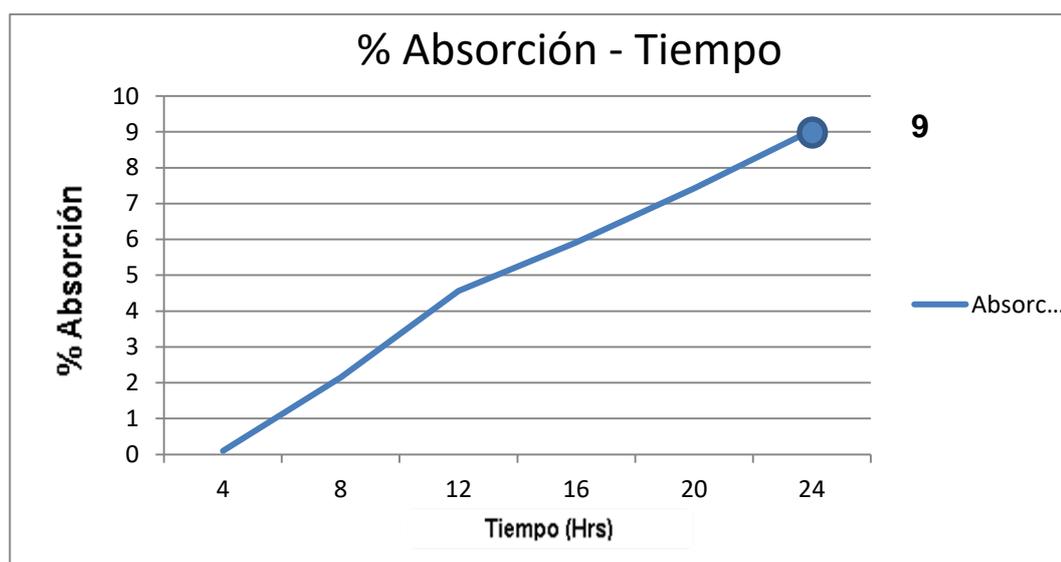


Gráfico 5. % Absorción vs Días del ladrillo de la mezcla #03.

Fuente: Ramírez, V. (2022).



**Gráfico 6. % Absorción vs Días del ladrillo de la mezcla #03.**

**Fuente:** Ramírez, V. (2022).

En la elaboración de esta mezcla se empleó un proceso de trituración de concha más completo y delicado, para obtener un agregado en forma de polvillo de conchas mucho más fino que el utilizado en la mezcla #2, y por ende obtener una muestra con la más mínima cantidad de poros. Sin embargo, esta mezcla presentó resultados semejantes a los obtenidos en mezcla #01, llegando a la conclusión de que al ser una muestra maciza con la mínima porosidad, su capacidad de retención de agua fue mayor que la anterior. No obstante, al poseer un porcentaje de absorción de 9,04%, esta mezcla de igual forma se encontró por debajo del valor máximo permitido por la Norma COVENIN 1-78 ladrillos de arcilla.

#### **4.3.1.2. Porcentaje de absorción de todas las mezclas**

En cuanto al resumen de los porcentajes de absorción de las tres mezclas, se evidenció una inconsistencia en los promedios tal cual se muestra en la tabla 10 y el gráfico 7.

Tabla 10. Tabla resumen porcentaje de absorción de todas las mezclas utilizadas.

ABSORCIÓN			
Mezclas	1	2	3
Peso Seco (Kg)	1,77	2,71	3,20
Peso Húmedo (Kg)	1,94	2,89	3,51
%Absorción Promedio	9,57	6,60	9,04

Fuente: Ramírez, V. (2022).

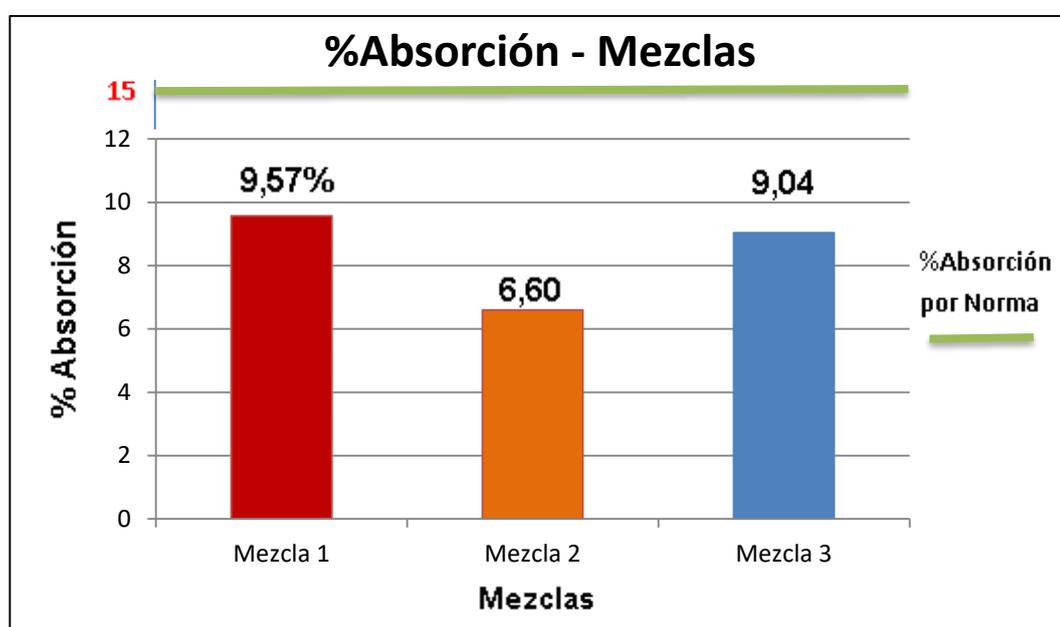


Gráfico 7. Porcentaje de absorción de todas las mezclas utilizadas.

Fuente: Ramírez, V. (2022).

El porcentaje de absorción que fue adquirido por los ladrillos elaborados con las mezclas #1, #2 y #3, mediante el uso del agregado natural de concha de moluscos en todas sus variaciones granulométricas fue claramente menor que el porcentaje máximo de 15% permitido por la Norma COVENIN 1-78 ladrillos de arcilla, siendo destacado el mejor resultado obtenido por el ladrillo de la mezcla #02, se concluyó así que las conchas de moluscos contribuyeron a la porosidad de la pieza sin afectar de forma alguna su porcentaje de absorción.

#### **4.3.2. Ensayo de la resistencia a la compresión**

Las pruebas de compresión de los ladrillos fueron realizadas en el laboratorio CITO (Centro de investigaciones tecnológicas de oriente), ubicada en la zona industrial de Barcelona, donde fue necesaria la utilización de los siguientes equipos:

- Prensa universal: Marca Tinius-Olsen; Capacidad: 100 ton.
- Plato de carga con superficie lisa: Diámetro: 15 cm.
- Gomas de Caucho: Grosor: 20 mm.

Se utilizó para esta prueba una prensa universal Tinius Olsen con capacidad de 100 toneladas, se procedió a encender la prensa y se colocó la plancha especial para ladrillos. Luego se colocó una goma de caucho de 20 mm de espesor sobre la plancha de la prensa, con la finalidad de que la carga fuera distribuida de forma uniforme en toda el área del ladrillo. Una vez colocada la goma, se encendió la máquina y se procedió a cargarla, lo cual consistió en elevar el pistón unos 13 cm aproximadamente. Ya cargada la máquina, se colocó el ladrillo encima la goma de caucho y sobre dicho ladrillo se colocó otra goma de caucho con el mismo espesor, con la finalidad de que la carga fuera aplicada de forma homogénea sobre toda la superficie del bloque.

Posteriormente, se procedió a activar la máquina y se comenzó a subir el pistón de la prensa a una velocidad constante, siendo ejercida una carga de presión sobre el ladrillo, hasta llegar al punto de rotura, punto en el cual la prensa se detuvo automáticamente. Finalmente fueron tomados los datos arrojados por la prensa con respecto a la carga resistente por cada ladrillo, a fin de ser utilizarlos como dato principal en el cálculo de la resistencia del mismo.

## Determinación de resistencia Mezcla #01

Tabla 11. Datos de la mezcla #01.

Muestra	Dimensiones (Cm)			Peso (kg)	Carga rotura (Kg)	Área (Cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión (Kg/Cm <sup>2</sup> )
	Largo	Ancho	Alto				
1	23	11,5	7	1.980	690	264,5	2,61

Fuente: Ramírez, V. (2022).

Tabla 12. Resistencia a la compresión de la mezcla #01.

COMPRESIÓN	
DÍAS	Resistencia a la compresión (Kg/Cm <sup>2</sup> )
28	2,61

Fuente: Ramírez, V. (2022).



Gráfico 8. Resistencia vs Días del ladrillo de la mezcla #01.

Fuente: Ramírez, V. (2022).



Gráfico 9. Resistencia vs Días del ladrillo de la mezcla #01.

Fuente: Ramírez, V. (2022).

Esta mezcla estuvo elaborada con conchas de moluscos enteras sin haberlas pasado por ningún tipo de proceso de trituración y fue la que presentó menor resistencia, se encontró por debajo del mínimo valor establecido por la Norma COVENIN 1-78 ladrillos de arcilla, la cual es de  $110 \text{ kg/cm}^2$ , lo que quiso decir que ésta es la relación conchas-agua-cemento más desfavorable para esta prueba de resistencia.

### Determinación de resistencia de Mezcla #02

Tabla 13. Datos de la mezcla #02

Muestra	Dimensiones (Cm)			Peso (kg)	Carga rotura (Kg)	Área (Cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión (Kg/Cm <sup>2</sup> )
	Largo	Ancho	Alto				
2	24	11,5	7	2.715	9.530	276,0	34,53

Fuente: Ramírez, V. (2022).

Tabla 14. Resistencia a la compresión de la mezcla #02.

COMPRESIÓN	
DÍAS	Resistencia a la compresión (Kg/Cm <sup>2</sup> )
28	34,53

Fuente: Ramírez, V. (2022).



Gráfico 10. Resistencia vs Días del ladrillo de la mezcla #02.

Fuente: Ramírez, V. (2022).



Gráfico 11. Resistencia vs Días del ladrillo de la mezcla #02.

Fuente: Ramírez, V. (2022).

Este ladrillo se elaboró igualmente utilizando conchas de moluscos como agregado, diferenciándose de la mezcla anterior al haber sido variada la granulometría de las conchas, estas fueron parcialmente trituradas y se conservó la misma cantidad de cemento y agua en su elaboración, lo cual ocasionó un aumento favorable en su resistencia con respecto a la mezcla #1, como se pudo observar en la gráfica mostrada. Se pudo visualizar claramente que el resultado arrojado fue mayor, no obstante, y de igual manera que la primera mezcla esta no alcanzó una adecuada resistencia con respecto a la resistencia por norma.

### Determinación de resistencia de Mezcla #03

Tabla 15. Datos de la mezcla #03.

Muestra	Dimensiones (Cm)			Peso (kg)	Carga rotura (Kg)	Área (Cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión (Kg/Cm <sup>2</sup> )
	Largo	Ancho	Alto				
3	24	11,5	7	3.215	3.005	276,0	47,12

Fuente: Ramírez, V. (2022).

Tabla 16. Resistencia a la compresión de la mezcla #03.

COMPRESIÓN	
DÍAS	Resistencia a la compresión (Kg/Cm <sup>2</sup> )
28	47,12

Fuente: Ramírez, V. (2022).



**Gráfico 12. Esfuerzo vs Días del ladrillo de la mezcla #03.**

Fuente: Ramírez, V. (2022).



**Gráfico 13. Resistencia vs Días del ladrillo de la mezcla #03.**

Fuente: Ramírez, V. (2022).

A medida que se comenzó a reducir el tamaño de las conchas en las mezclas la resistencia de los ladrillos comenzó a variar. En la elaboración de esta muestra fueron utilizadas conchas de moluscos luego de atravesar un proceso de trituración con mayor esfuerzo que en el anterior, todo con la finalidad de obtener un agregado con una menor

granulometría en una forma más pequeña y pulverizada que la utilizada en la mezcla #2, obteniendo así un agregado en forma de polvillo. Lo que ocasionó como resultado un incremento en la resistencia, pero aun así no logró obtener resultados favorables al momento de compararlos con Norma COVENIN 1-78 ladrillos de arcilla, la cual establece un valor mínimo de resistencia de 110 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 4.3.2.1. Resistencia de todas las mezclas

Tabla 17. Resistencia a la compresión de todas las mezclas utilizadas.

COMPRESIÓN			
Mezclas	1	2	3
Esfuerzo promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ).	2,61	34,53	47,12

Fuente: Ramírez, V. (2022).

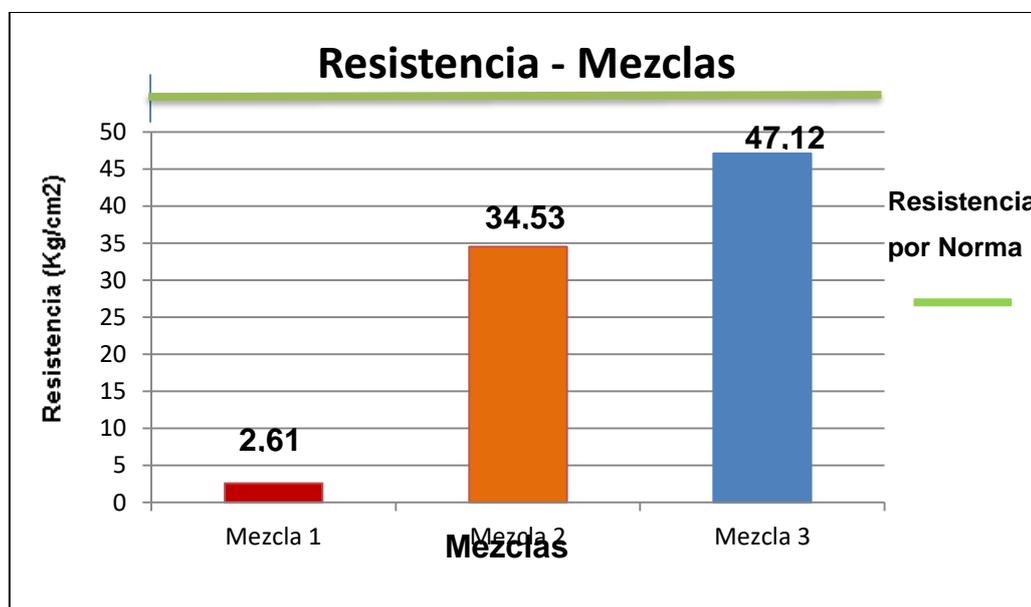


Gráfico 14. Esfuerzo de todas las mezclas utilizadas.

Fuente: Ramírez, V. (2022).

**Tabla 18. Tabla resumen ensayo de esfuerzo a compresión de la mezcla.**

Muestra	Dimensiones (Cm)			Peso (kg)	Carga rotura (Kg)	Área (Cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión (Kg/Cm <sup>2</sup> )
	Largo	Ancho	Alto				
1	23	11,5	7	1.980	690	264,5	2,61
2	24	11,5	7	2.715	9.530	276,0	34,53
3	24	11,5	7	3.215	13.005	276,0	47,12

**Fuente:** Ramírez, V. (2022).

En este mismo orden de ideas, se pudo observar que al reducir la granulometría de la concha de moluscos se produjo un aumento en la resistencia de las mezclas, siendo la mezcla #03 la que arrojó mejores resultados. De acuerdo a los datos obtenidos, se pudo visualizar que las mezclas #1, #2 y #3 no lograron alcanzar el mínimo valor de resistencia establecido por la Norma COVENIN 1-78 ladrillos de arcilla, la cual es de 110 kg/cm<sup>2</sup>. Sin embargo, el uso de este material se diseñó con el objetivo principal de cumplir como una adecuada protección térmica pasiva con los parámetros establecidos en la norma IACA Guía de Diseño de Acero 19 – Resistencia de Fuego del Enmarcado de Acero Estructural. Prohibiendo que las columnas alcancen el valor de temperatura crítica de 538°C.

#### **4.3.3. Ensayo de temperatura**

De igual forma que en el ensayo de absorción, las pruebas de temperatura de los ladrillos se llevaron a cabo en la empresa de concretos prefabricados Alexcar C.A., ubicado en el sector La Trilla, Cantaura, Estado Anzoátegui, y fueron utilizados los siguientes materiales y/o equipos:

- Bombona a gas: Marca Anaco Gas.
- Tubo de cobre
- Ladrillos refractarios artesanales
- Fósforos

- Termómetro digital KT-908.

Para la realización del mismo, se tomó un ladrillo de cada mezcla; Inicialmente se colocó una pequeña base con 3 ladrillos refractarios de sílice ubicados de forma horizontal con una altura de 23 cm, seguidamente se colocó la muestra a ensayar justo en la parte central de la base con 2 ladrillos refractarios a los lados del mismo y finalmente sobre dicha muestra se colocaron 3 ladrillos refractarios más para completar la estructura (Ver Anexo 6), con la finalidad de exponer la mayor cantidad de calor directo al ladrillo probado.

Una vez lista la estructura, se elaboró un poco de lechada que fue colocada entre los orificios y grietas generados por la separación existente entre los ladrillos, esto con la finalidad de cerrar toda abertura que pudiera permitir la transferencia de calor a través de las mismas, de esta manera se pudo constatar que el calor existente en la cara opuesta del ladrillo fue exactamente la cantidad de calor que pasa a través de él en el transcurso de la prueba.

Seguidamente, se adhirió el termómetro digital en la parte posterior de la muestra para así poder tomar los datos de temperatura del ensayo, luego se procedió a ubicar y conectar el quemador de gas en el lugar indicado y se encendió el mismo con la ayuda de un fosforo para dar inicio con la combustión del propano, el cual tuvo una temperatura de llama de 1980 °C. De acuerdo a la distancia de 30cm entre la fuente de calor y la cara delantera del ladrillo, estos fueron sometidos a una fuente directa de fuego aplicando una llama de propano no inferior a 1600 °C (Ver Anexo 8).

Finalmente fueron tomados los datos arrojados por el termómetro digital en la parte posterior de la pieza por un tiempo establecido de 2

horas en intervalos de 10 minutos para la toma de cada lectura (Ver Anexo 5), dando un total de 13 lecturas para un ladrillo. Transcurridas las 2 horas, se cerró el quemador a gas y se retiró la muestra desde la parte central a fin de repetir el proceso para la siguiente muestra.

**Tabla 19. Resultados del ensayo de temperatura.**

Mezcla	Temperatura máxima (°C)
	2 horas
1	58,90
2	50,01
3	55,40

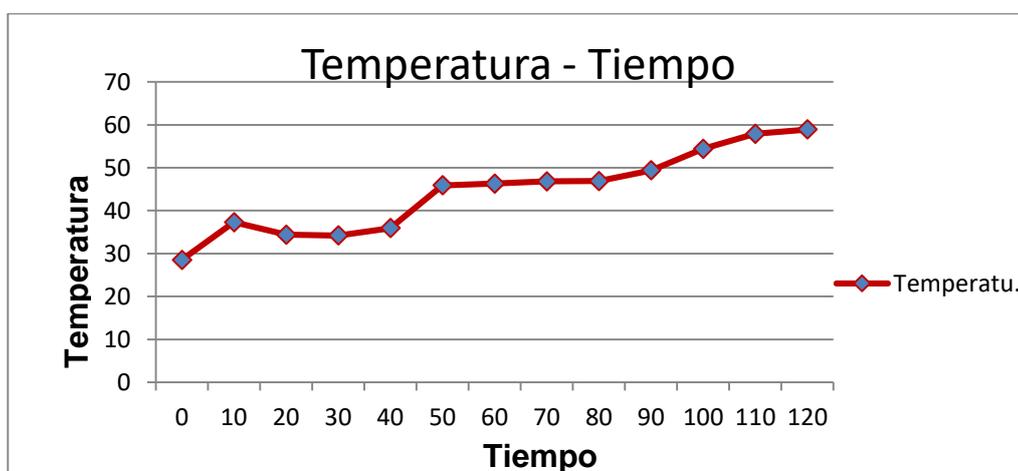
Fuente: Ramírez, V. (2022).

### Resultado de Mezcla #01

**Tabla 20. Temperatura máxima de la mezcla #01.**

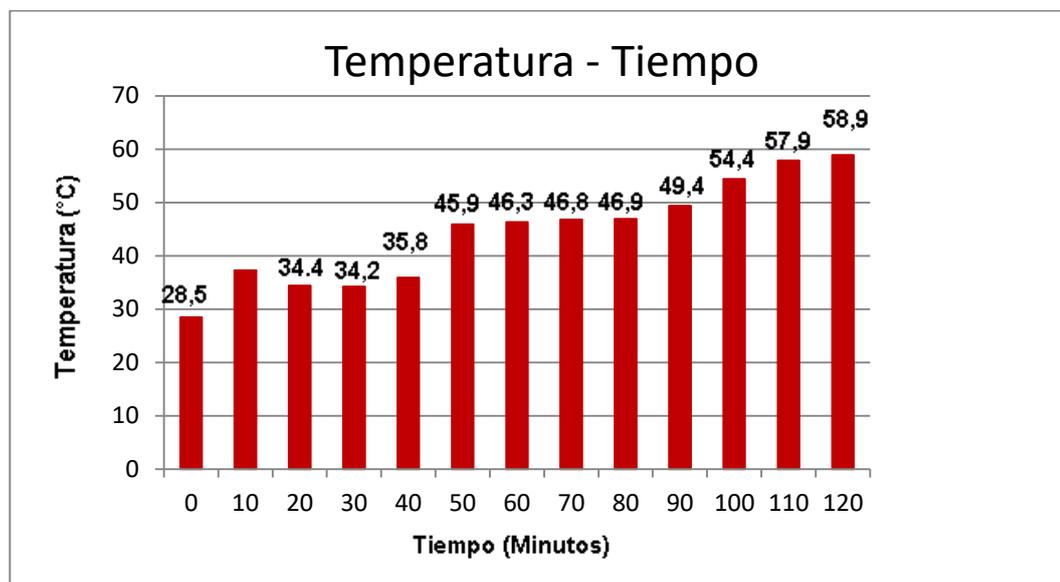
Temperatura	
Tiempo (Minutos)	Temperatura máxima (°C)
120	58,9

Fuente: Ramírez, V. (2022).



**Gráfico 15. Temperatura vs Días de los bloques de la mezcla #01.**

Fuente: Ramírez, V. (2022).



**Gráfico 16. Temperatura vs Días de los bloques de la mezcla #01.**

Fuente: Ramírez, V. (2022).

Esta mezcla fue la que presentó menor protección térmica con respecto a las demás, al estar elaborada con conchas enteras no se generó un adecuado acomodo de estos agregados generando espacios vacíos de gran tamaño por los cuales el flujo de calor en el intervalo de tiempo especificado pudo moverse a través de la muestra a gran velocidad (Ver Anexo 7), logrando así obtener una temperatura de 58,9°C. Sin embargo, esta temperatura se encontró por debajo del máximo valor de temperatura crítica para protección de columnas de acero establecida por la IACA Guía de Diseño de Acero 19 – Resistencia de Fuego del Enmarcado de Acero Estructural.

### Resultado de Mezcla #02

**Tabla 21. Temperatura máxima de la mezcla #02**

Temperatura	
Tiempo (Minutos)	Temperatura máxima (°C)
120	50,01

Fuente: Ramírez, V. (2022).

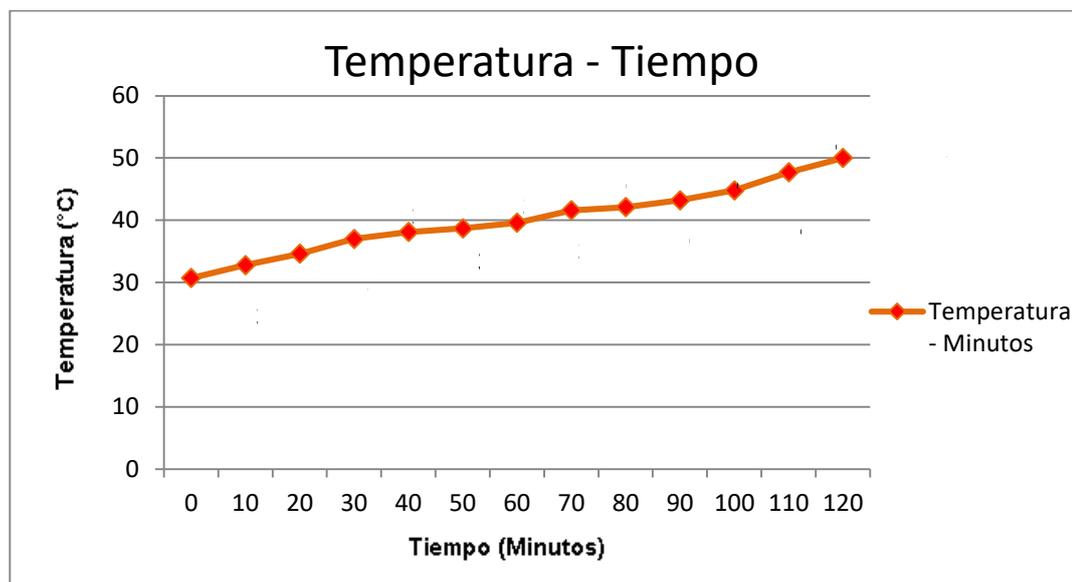


Gráfico 17. Temperatura vs Días de los bloques de la mezcla #02.

Fuente: Ramírez, V. (2022).

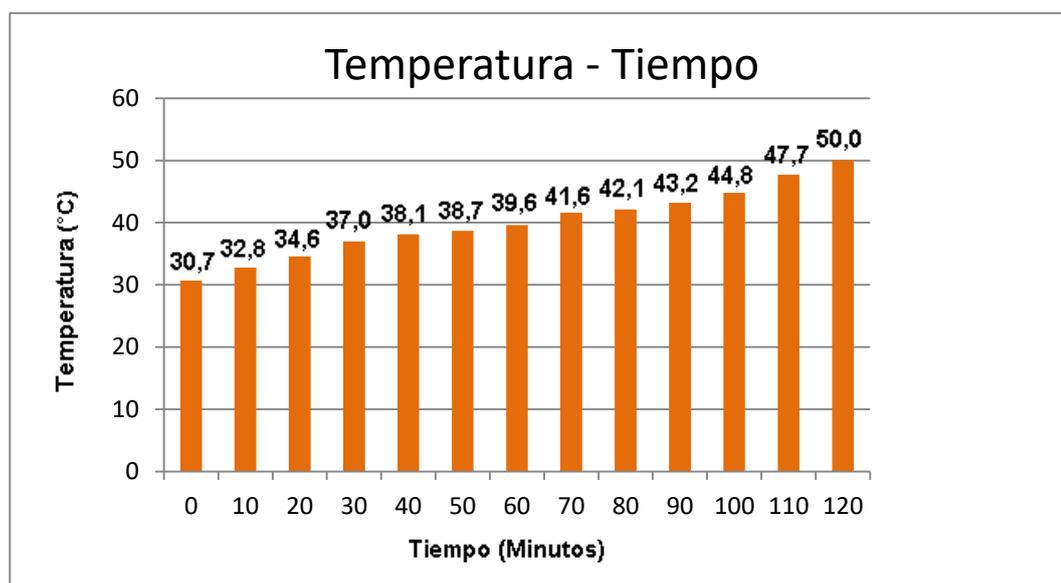


Gráfico 18. Temperatura vs Días de los bloques de la mezcla #02.

Fuente: Ramírez, V. (2022).

De acuerdo a los resultados obtenidos, en el ensayo se pudo observar claramente que las variaciones de temperatura entre los intervalos de tiempo fueron mínimas desde el inicio de la prueba, evidenciando que al haber variado el tamaño del agregado mediante un proceso sencillo de trituración se produjo un mejor acomodo de

agregados, obteniendo así un material capaz de albergar en su interior una mayor cantidad de espacios vacíos de tamaños más reducidos y variados que los de la muestra anterior, que retrasó de esta manera el tiempo y rapidez de conducción lineal del flujo de calor a través de la muestra (Ver Anexo 8). En este mismo orden de ideas, este ensayo obtuvo los resultados más favorables, ya que alcanzó una temperatura máxima de 50,01°C, encontrándose muy por debajo del máximo valor de temperatura establecida por la guía normativa.

### Resultado de Mezcla #03

Tabla 22. Temperatura máxima de la mezcla #03.

Temperatura	
Tiempo (Minutos)	Temperatura máxima (°C)
120	55,40

Fuente: Ramírez, V. (2022).

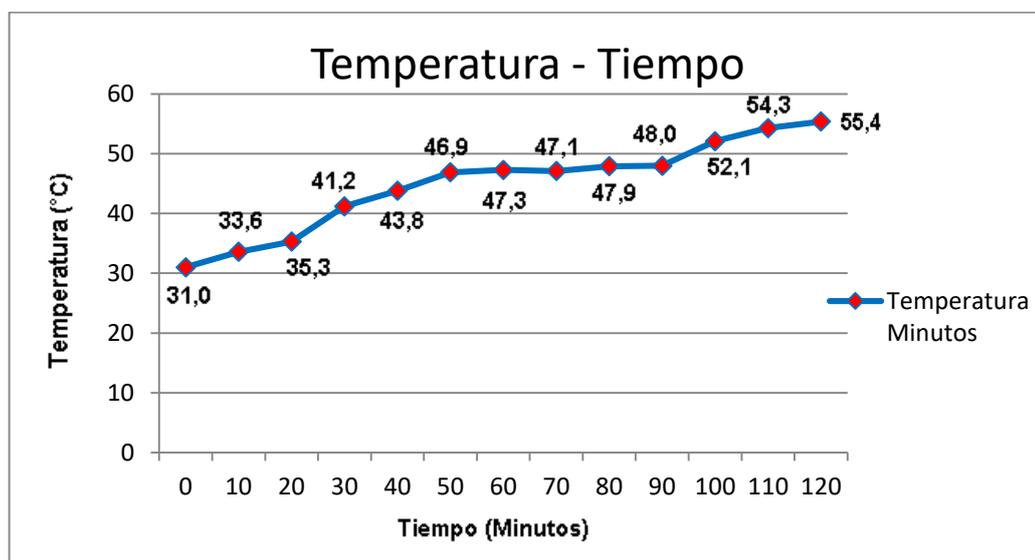
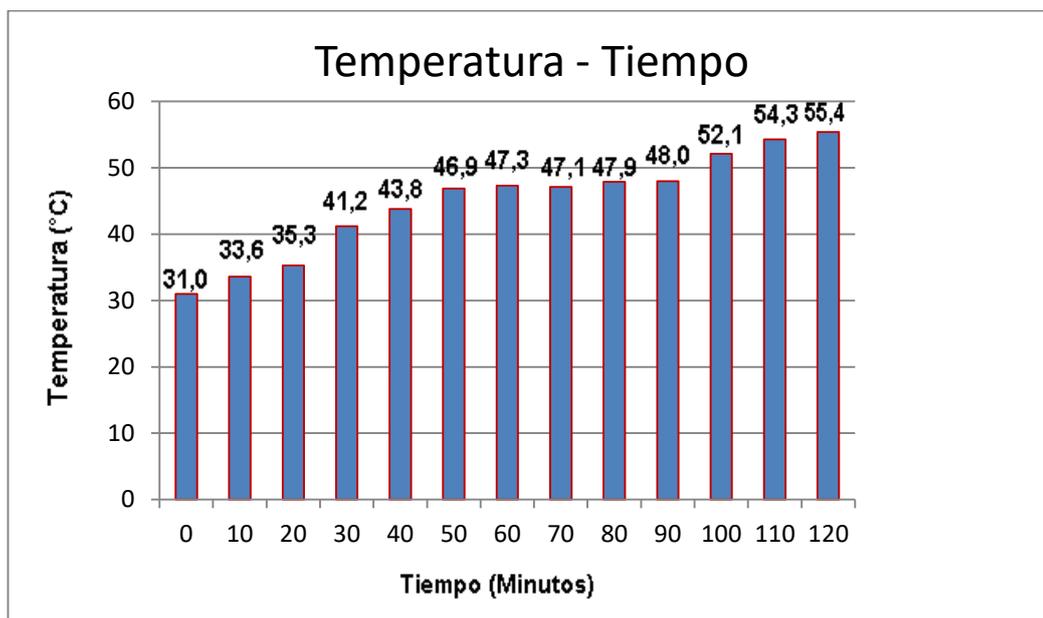


Gráfico 19. Temperatura vs Días de los bloques de la mezcla #03.

Fuente: Ramírez, V. (2022).



**Gráfico 20. Temperatura vs Días de los bloques de la mezcla #03.**

**Fuente:** Ramírez, V. (2022).

Esta mezcla presentó una protección térmica favorable con respecto a la mezcla #1 y desfavorable respecto a mezcla #2, convirtiéndose en un resultado intermedio. Al estar elaborada con polvillo de conchas se logró obtener una muestra de superficie casi completamente lisa, con poros de pequeño tamaño, sin embargo y fuera de todo pronóstico la cantidad de flujo de calor se propagó a través de la muestra de forma más rápida debido a la cercanía de la gran cantidad de espacios vacíos diminutos en el interior de la muestra (Ver Anexo 9), lo que facilitó la conducción de calor hasta alcanzar una temperatura máxima de 55,4°C. No obstante, siguió sin exceder la temperatura máxima establecida en la guía de diseño de la IACA.

#### 4.3.3.1. Temperatura máxima de todas las Mezclas

Tabla 23. Tabla resumen temperatura máxima de todas las mezclas utilizadas.

Temperatura			
Mezclas	1	2	3
Intervalo tiempo 1	28,5 °C	30,7 °C	31,0 °C
Intervalo tiempo 2	29,2 °C	32,8 °C	33,6 °C
Intervalo tiempo 3	34,4 °C	34,6 °C	35,3 °C
Intervalo tiempo 4	34,2 °C	37,0 °C	41,2 °C
Intervalo tiempo 5	35,8 °C	38,1 °C	43,8 °C
Intervalo tiempo 6	45,9 °C	38,7 °C	46,9 °C
Intervalo tiempo 7	46,3 °C	39,6 °C	47,3 °C
Intervalo tiempo 8	46,8 °C	41,6 °C	47,1 °C
Intervalo tiempo 9	46,9 °C	42,1 °C	47,9 °C
Intervalo tiempo 10	49,4 °C	43,2 °C	48,0 °C
Intervalo tiempo 11	54,4 °C	44,8 °C	52,1 °C
Intervalo tiempo 12	57,9 °C	47,7 °C	54,3 °C
Intervalo tiempo 13	58,9 °C	50,0 °C	55,4 °C
Temperatura máxima °C	58,9	50,0	55,4

Fuente: Ramírez, V. (2022).

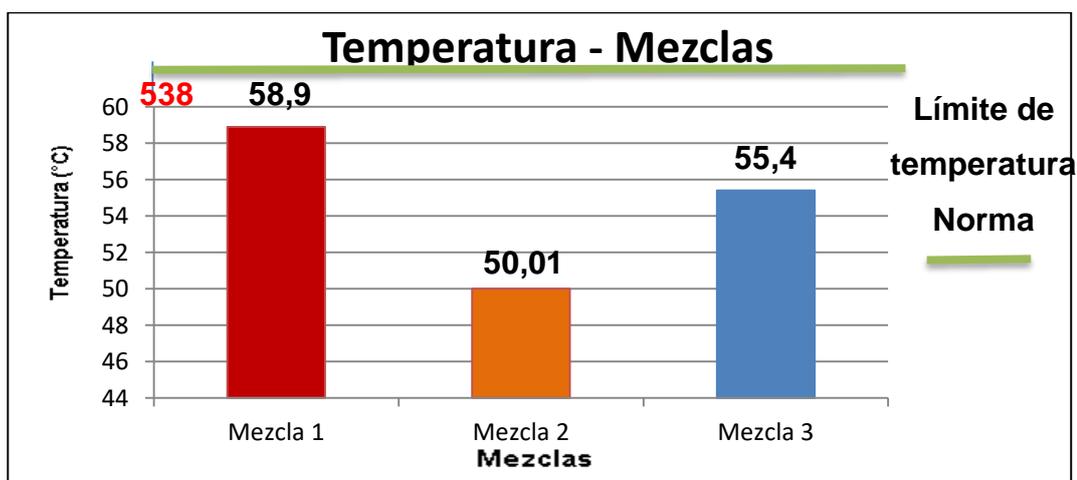


Gráfico 21. Temperatura de todas las mezclas utilizadas.

Fuente: Ramírez, V. (2022).

En este mismo orden de ideas se pudo evidenciar que la temperatura alcanzada por los ladrillos elaborados con las mezclas #1, #2 y #3 se encontraron por debajo de la temperatura crítica máxima en columnas de acero estructural, establecida en la IACA Guía de Diseño de Acero 19 – Resistencia de Fuego del Enmarcado de Acero Estructural, la cual es de 538°C, siendo las temperaturas obtenidas en este ensayo mucho menores que dicho valor máximo, se cumplieron y excedieron las expectativas deseadas, se concluyó de esta forma que las conchas de moluscos contribuyeron al aislamiento térmico de la pieza y por ende son una protección eficaz para las columnas de acero.

#### **4.4. Presentación de un análisis de costo comparativo de ladrillos aislantes térmicos con conchas de moluscos y sistemas tradicionales de protección pasiva.**

En esta fase de la presente investigación, se realizó un análisis de precios unitarios con el propósito de determinar si la fabricación de los prototipos de mezclas con conchas de moluscos (donde se varió la proporción y granulometría de concha/cemento), propuestos como sistema de protección térmica pasiva en columnas de acero estructural, pudieron ofrecer una opción más económica en comparación con los sistemas de protección térmica pasiva tradicionales disponibles en el mercado (elaborado a base de concreto, yeso o masilla), y cuyos costos se reflejaron en la tabla 24.

**Tabla 24. Costo de sistemas de protección térmica tradicionales.**

<b>Tabique</b>	<b>Precio unitario (Bs.D)</b>	<b>Precio (\$)</b>
Columnas ignífugas prefabricadas (6ml)	1.209,50	295,00
Cerramientos de listones y yeso por (Ton)	1.025,00	250,00
Sistemas de placas de yeso (m2)	512,50	125,00
Recubrimientos de masilla por (m2)	635,50	155,00
MRFP cementoso por (m2)	606,80	148,00

**Fuente:** Ramírez, V. (2022).

En este mismo orden de idea, para hacer el cálculo de cantidad de materiales de los ladrillos aislantes propuestos se tomaron las cantidades obtenidas de la preparación de las mezclas para los prototipos, la misma fue detallada en tabla 6, los cuales fueron necesarios para definir las cantidades de materiales indicados en las planillas de APU.

## Bloques Ecológicos

Partida: 1  
IP3-Control de Obras 12

**OBRA:** ANÁLISIS DE COSTO COMPARATIVO DE LADRILLOS AISLANTES TÉRMICOS CON CONCHAS DE MOLUSCOS Y SISTEMAS TRADICIONALES DE PROTECCIÓN PASIVA.

**Contratante:** UNIVERSIDAD DE ORIENTE. EXTENSIÓN CANTAURA

### ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

SUMINISTRO DE MATERIALES PARA LA FABRICACION DE LADRILLOS AISLANTES TÉRMICOS CON CONCHAS DE MOLUSCOS, ACABADO CORRIENTE, PARA LA CONSTRUCCION DE DE PROTECCIÓN PASIVA.

UNIDAD: PZA      Cantidad: 1      Rendimiento: 300,00      CODIGO: S/C

#### 1.-MATERIALES

No	Descripción	Und	Cantidad	Desp	Precio	Total
1	CEMENTO GRIS PORTLAND TIPO 1 (\$ACO 42,5 KG)	sco	0,0020	1,0	28,70	0,05
2	CONCHA DE MOLUSCOS	KG	1,9500	1,0	0,00	0,00
3	AGUA TARIFA INDUSTRIAL	M3	0,0002	0,0	1,50	0,00
Total Materiales:						0,05

#### 2.-EQUIPOS

No	Descripción	Cantidad	COPI/Dep	Precio	Total
1	EQUIPO Y HERRAM. PIPUESTA OBRA CONCRETO	0,2000	0,025000	287,00	1,44
2	CARRETON PARA YACIADO DE CONCRETO	0,2000	0,034000	1.230,00	8,36
3	MOLDE OARA BLOQUE	1,0000	0,000340	5,00	0,00
4					
Total Equipos:					9,80

#### 3.-MANO DE OBRA

No	Descripción	Cantidad	Jornal	Bono	Tot.Bono	Total Jornal
1	OBRERO	0,20	32,80			6,56
2	CARRETERO	0,20	20,50			4,10
						0,00
No. Trabajadores: 0,40					Sub-Total Mano de Obra:	10,66
Horas Hombre: 11,47					1350,00% Prestaciones Sociales:	143,31
Costo Bs./HH: 0,05					Total Jornal y Bono:	154,57
					Total General Mano de Obra:	154,57
						<b>Costo Directo Sub-Total A:</b>
						18,00% Administración y Gastos Generales:
						Sub-Total B:
						10,00% Imprevisto y Utilidad:
						Sub-Total C:
						0,00% Financiamiento:
						<b>PRECIO UNITARIO B:</b>

**Figura 8. A.P.U. de bloque ecológico.**  
Fuente: Ramírez, V. (2022).

Los precios que allí se reflejaron fueron las correspondientes al mes de Noviembre de 2021, expresadas en la actual moneda (Bolívar Digital Bs.D). Sin embargo, las tablas de resultados se mostraron en Dólares (\$), como moneda fuerte que circula actualmente en Venezuela. A continuación, se presentaron los costos totales de fabricación incluyendo transporte, rendimiento y colocación de dichos ladrillos en comparación con bloques tradicionales en el mercado:

**Tabla 25. Comparación de costo con bloques tradicionales.**

Tabique	Precio unitario (Bs. D.)	Precio unitario (\$)	Precio de Construcción por m <sup>2</sup> (Bs. D.)	Precio de Construcción por m <sup>2</sup> (\$)
Bloque de concreto 40x20x10	2,05	0,50	150,64	36,74
Ladrillo de arcilla 30x20x10	1,64	0,40	142,95	34,87
Bloque ecológico 23x11,5x7	0,78	0,19	127,45	31,08

**Fuente:** Ramírez, V. (2022).

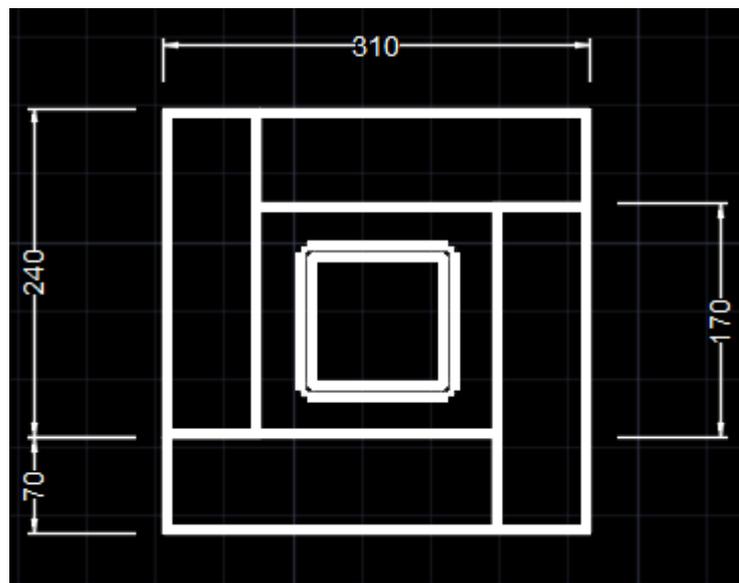
Como se pudo evidenciar en los resultados de los análisis de precios unitarios en la tabla 25, el costo de los ladrillos propuestos para protección térmica fue menores que los bloques tradicionales, de igual forma al comparar costo con los sistemas de protección pasiva tradicionales el costo siguió siendo factible (ver tabla 26).

**Tabla 26. Comparación de costo con sistemas de protección térmica tradicionales.**

Tabique	Precio unitario (Bs.D)	Precio (\$)	Precio por m <sup>2</sup> (Bs.D)	Precio m <sup>2</sup> (\$)
Columnas ignífugas prefabricadas (6ml)	1.209,50	295,00	201,59	49,17
Cerramientos de listones y yeso por (Ton)	1.025,00	250,00	461,25	112,50
Sistemas de placas de yeso (m2)	512,50	125,00	512,50	125,00
Recubrimientos de masilla por (m2)	635,50	155,00	635,50	155,00
MRFP cementoso por (m2)	606,80	148,00	606,80	148,00
Bloque Propuesto 23x11,5x7	0,78	0,19	127,45	31,08

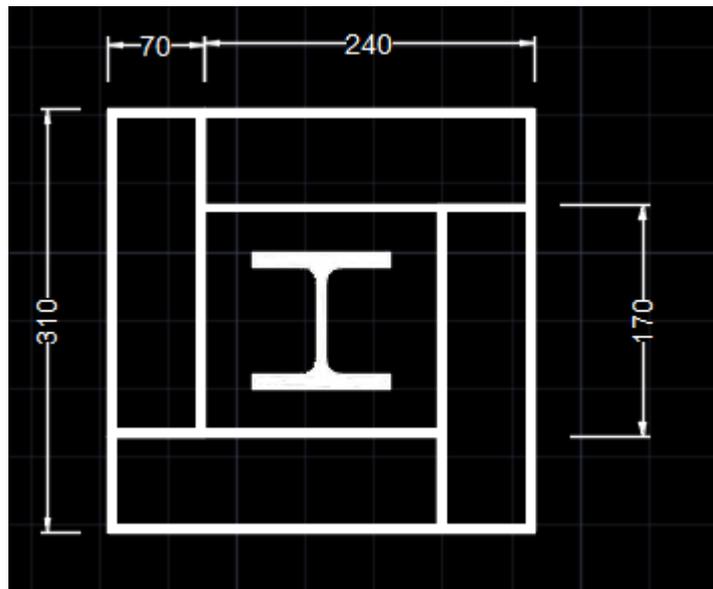
**Fuente:** Ramírez, V. (2022).

Es importante resaltar que la cantidad de ladrillos por M2 siendo utilizados ladrillos de canto ( $24\text{cm} \times 11.5\text{cm} = 276\text{cm}$ ), fueron requeridos aproximadamente 36 Ladrillos. Esto para efecto de comparación de costo, a continuación, en las figuras 9, 10, 11, 12, 13 y 14 se puede apreciar los distintos casos de uso de los bloques aislantes a base de concha de molusco.



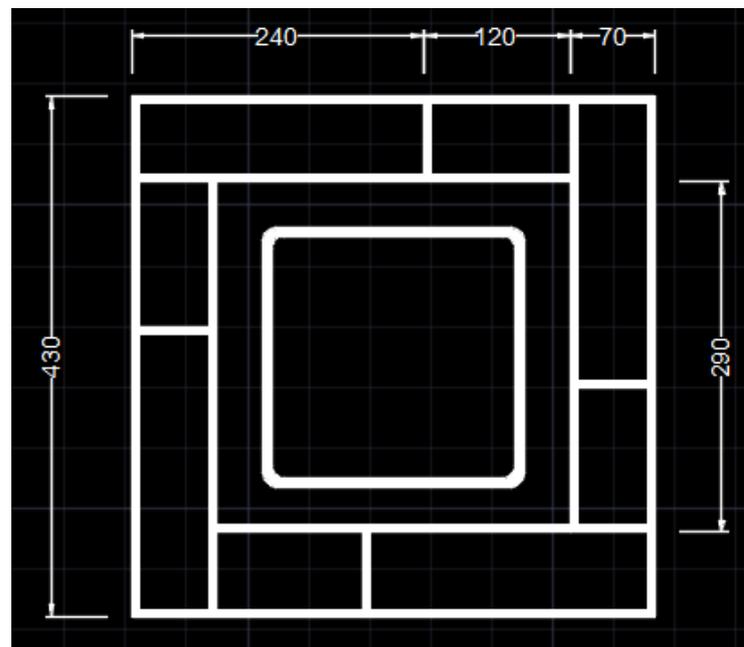
**Figura 9. Detalle de colocación de ladrillo en columna sección cuadrada 100x100mm.**

**Fuente:** Ramírez, V. (2022).



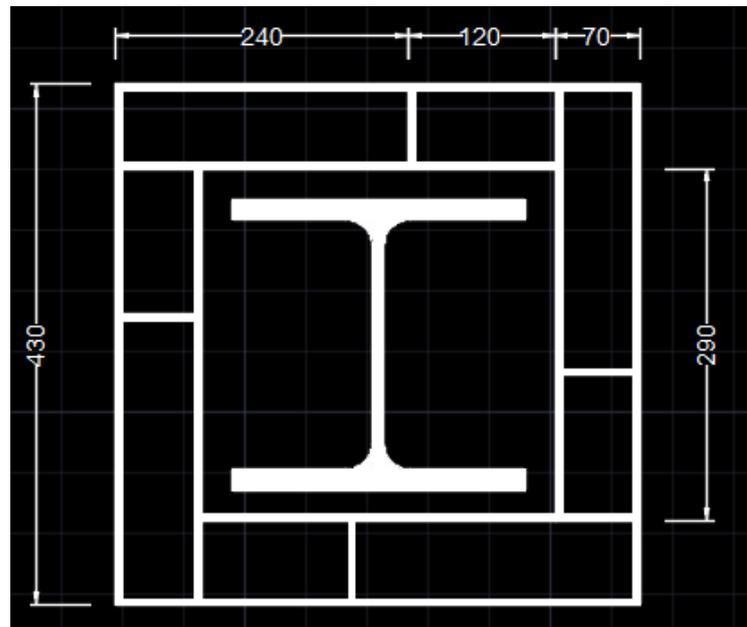
**Figura 10. Detalle de colocación de ladrillo en columna "H" de acero estructural perfil HEB 100.**

**Fuente:** Ramírez, V. (2022).

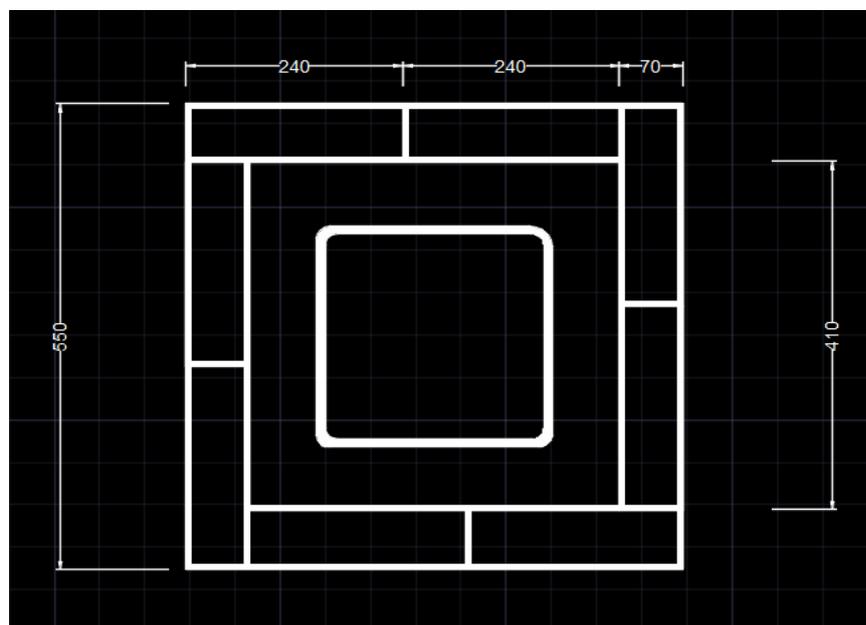


**Figura 11. Detalle de colocación de ladrillo en columna sección cuadrada 200x200mm.**

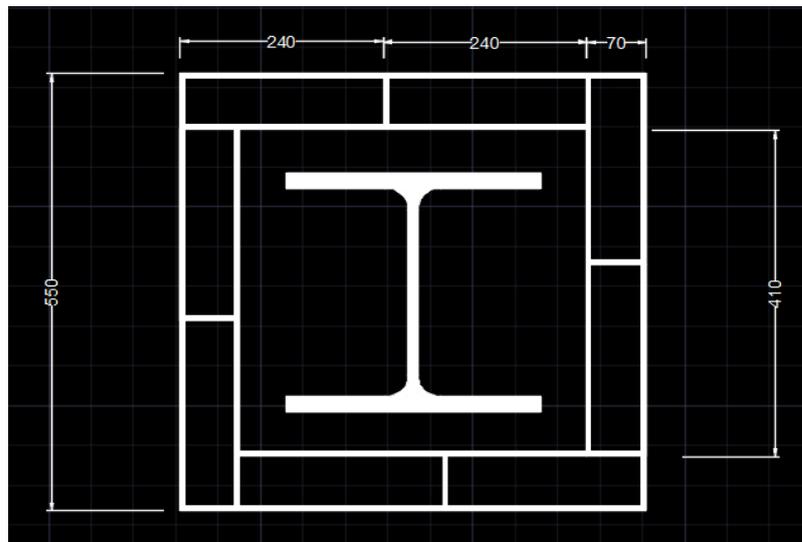
**Fuente:** Ramírez, V. (2022).



**Figura 12. Detalle de colocación de ladrillo en columna "H" de acero estructural perfil HEB 240.**  
Fuente: Ramírez, V. (2022).



**Figura 13. Detalle de colocación de ladrillo en columna sección cuadrada 260x260mm.**  
Fuente: Ramírez, V. (2022).



**Figura 14. Detalle de colocación de ladrillo en columna “H” de acero estructural perfil HEB 300.**

**Fuente:** Ramírez, V. (2022).

#### **4.5. Elaboración de un análisis de ciclo de vida comparativo de sistema para protección térmica pasiva a base de conchas de moluscos con los sistemas de protección tradicionales.**

En esta parte de la investigación se llevó a cabo el análisis de ciclo de vida de los ladrillos de aislamiento propuestos fueron seguidos los pasos indicados en la norma COVENIN 1-78. Es decir, se inició con la definición del objetivo y alcance, la cual fue indispensable para la siguiente fase que consistió en la correcta recopilación de los datos de inventario del elemento constructivo en estudio. Luego de esto, se realizó la evaluación de impactos ambientales mediante el “software” SimaPro 8.5.0, dando lugar a las interpretaciones finales, donde los resultados obtenidos se compararon con el impacto generado por la producción de los sistemas tradicionales antes mencionados.

#### **4.5.1. Etapa I: Definición del Objetivo y alcance del ACV**

##### **4.5.1.1. Objetivo general**

Como objetivo principal se estableció un análisis comparativo entre los ladrillos a base de concha de moluscos con los elementos constructivos tradicionales (unidades de construcción prefabricadas, materiales de tapetes endotérmicos y cerámicos, cerramientos de listones y yeso entre otros), mediante el cálculo de los impactos ambientales que acarrearán durante el proceso de producción de los mismos.

##### **4.5.1.2. Alcance**

La unidad funcional para este estudio fue de 1m<sup>2</sup> de tabiquerías levantadas con los ladrillos aislantes propuestos. Por otro lado, fue necesario calcular la cantidad de piezas que se requirieron para cubrir el metro cuadrado de construcción. Si se consideró que la dimensión del mismo es de 24x11,5x5cm, donde se necesitaron 36 piezas colocadas en forma de canto para conformar metro cuadrado. Dado que los resultados fueron comparados con la misma unidad funcional para sistemas tradicionales, también fue indispensable calcular la cantidad de piezas de estos para conformar dicha unidad (Ver figura 15).

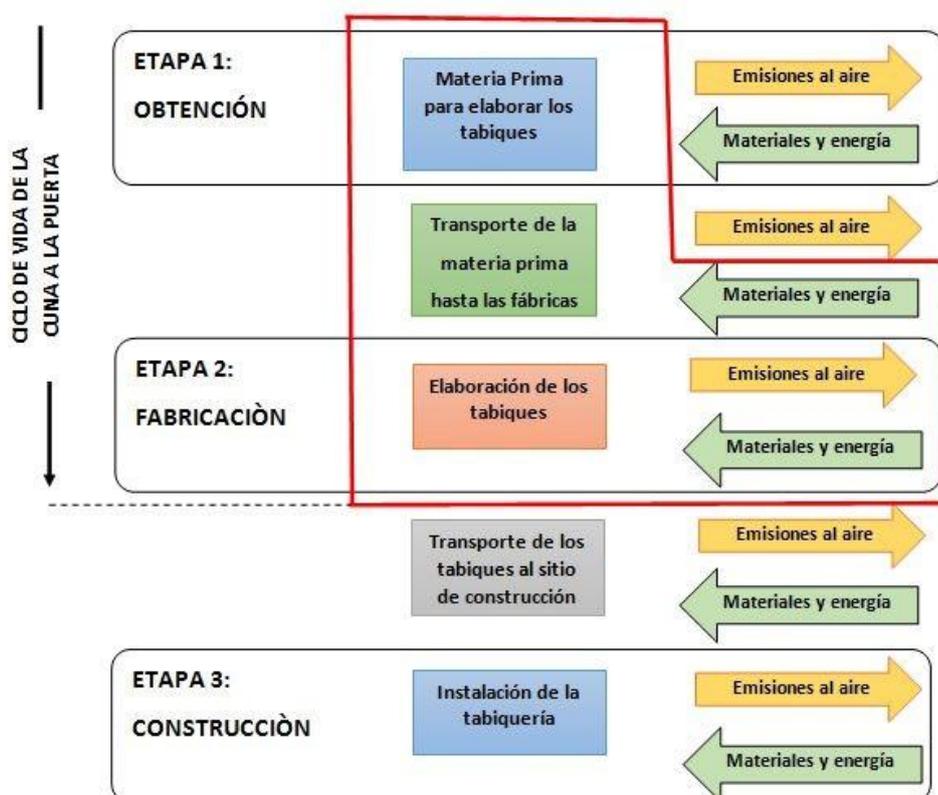


**Figura 15. Bloques prefabricados.**  
Fuente: Ramírez, V. (2022).

##### **4.5.1.3. Límites del sistema**

Para el presente estudio la metodología del ACV, no solo se limitó a impactos ambientales originados por la fabricación de cierto producto, si

no a la producción de la materia prima necesaria para fabricar ese producto. Por lo tanto, la unidad funcional de este ACV tomó en cuenta las etapas de obtención de la materia prima, el transporte de los mismos a los sitios donde se elaboró el elemento constructivo y su posterior fabricación. Esto es lo que se conoce como ciclo de vida de la cuna a la puerta. Las entradas y salidas que se evaluaron son las indicadas en la Figura 16.



**Figura 16. Límites del sistema de los tabiques.**  
Fuente: Bastidas (2018).

Para evaluar el sistema propuesto en dicha investigación, las entradas se redujeron a materiales empleados en la producción de los ladrillos. Además, se consideró la energía empleada por los equipos para la producción de los mismos en cuanto a la electricidad y combustible que utilizan. No se tomaron en cuenta los procesos secundarios relacionados con el ciclo de vida de las maquinarias y herramientas utilizadas en cada

proceso asociado con la extracción y producción de la materia prima y con la elaboración de los elementos propuestos. Con respecto a las salidas a evaluar, las mismas se refirieron a los diversos contaminantes o emisiones al aire, al suelo y agua que pudo traer consigo la fabricación de los ladrillos.

#### 4.5.1.4. Tipos y Fuentes de Datos

Los datos de inventario para el caso de los ladrillos elaborados con conchas de moluscos, se refirieron a las cantidades de energía y materiales, que fueron utilizados para su elaboración. Esto se conoce como datos de entrada. En la tabla 27 se presentaron los tipos y fuentes de datos utilizados para cada uno de los procesos unitarios, los cuales coincidieron con los límites del sistema:

**Tabla 27. Tipos y fuentes de datos por proceso unitario.**

Procesos unitarios	Tipos y fuentes de datos
<b>Obtención de la materia prima</b>	Bases de datos del "software" SimaPro 8.5.0
<b>Transportes de la materia prima desde en las costas de Caicara de Barcelona; datos estimados por el de elaboración de los paneles autor</b>	

**Fuente:** Ramírez, V. (2022).

Se trazaron varias rutas de diferentes zonas para conocer la distancia aproximadas que recorrieron los camiones para transportar la materia prima usada en la elaboración de los ladrillos desde su lugar de procedencia, y la cantidad de combustible Diesel que consumieron por toneladas/kilómetros (tkm). Esos datos fueron utilizados como punto de referencia, suponiendo que, para trasladar los materiales para elaborar los ladrillos, los camiones debieron recorrer las mismas distancias.

En consecuencia, con lo anterior descrito, se estableció que los datos inventariados en la presente etapa correspondiente a la elaboración de los ladrillos fueron estimados y calculados por el autor a lo largo del proceso de investigación y luego fueron transformadas en base a la unidad funcional.

#### **4.5.1.5. Calidad de los datos**

Al llevar a cabo un análisis de Ciclo de Vida, se debe considerar que siempre se genera cierto grado de incertidumbre en los resultados, sobre todo cuando se combina información local con la información proporcionada por las bases de datos disponibles en el “software” SimaPro 8.5.0, las cuales fueron generadas en sitios ajenos al entorno del estudio. Tal es el caso de las bases de datos “Ecoinvent y US LCI”, creados de acuerdo a parámetros europeos y estadounidenses respectivamente.

Sin embargo, debido a la falta de bases de datos precisos y específicos para Venezuela, se hizo necesario implementar, al menos, los datos que estuvieron disponibles en el “software” para las etapas de obtención y suministro de materias primas para la producción de materiales como el cemento y los recursos naturales (agua), empleados para la elaboración de los distintos elementos, siempre considerando que los resultados fueron relativos; es decir, que a pesar de que no fueron del todo precisos para el entorno local, la comparación de los mismos se pudo considerar confiable.



**Figura 17. Bloques aislantes en estudio**

**Fuente:** Ramírez, V. (2022).

Por otro lado, la información local que se obtuvo se pudo considerar fiable, ya que los datos inventariados en la siguiente etapa fueron recopilados directamente por el autor durante el proceso de elaboración de los ladrillos propuestos y mediante investigación documental y de campo en sitios dedicados a la elaboración de los sistemas aislantes existentes.

#### **4.5.2. Etapa II: Inventario del Ciclo de Vida**

Las entradas y salidas mostradas a continuación correspondieron a los procesos de recolección de las conchas de molusco, los cuales fueron los más sencillos ya que no requirieron de procesos químicos o tratamientos agresivos para transformarlos en productos reutilizables. En la figura 18 se mostró el procedimiento de reciclaje y en las Tablas 28 y 29 se indicaron la cantidad de energía y combustible utilizado en cada caso.

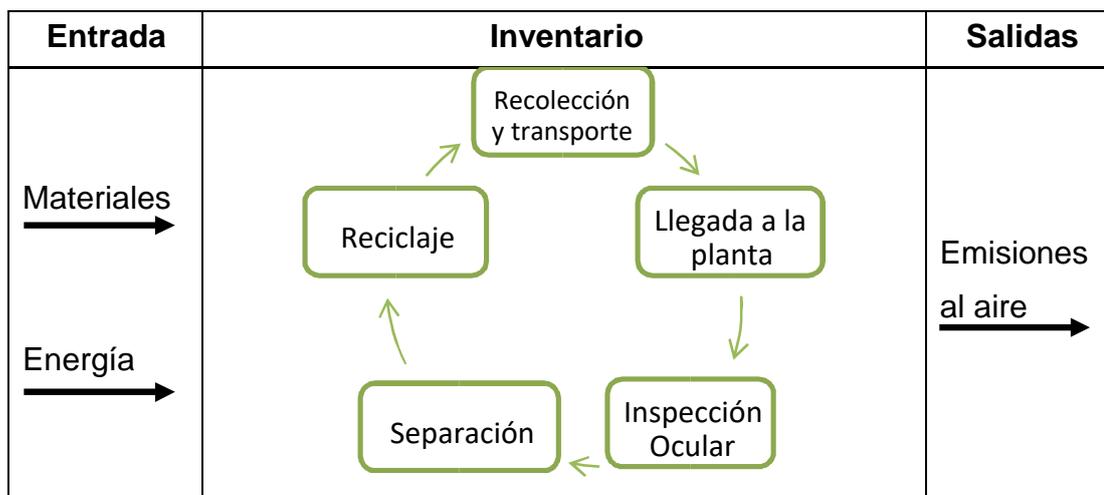


Figura 18. Proceso de reciclaje de concha de molusco *Crassostrea rhizophorae* y *Crassostrea virginica*.

Fuente: Ramírez, V. (2022).

Tabla 28. Datos de entrada de energía utilizada durante el proceso de uso de las conchas de moluscos *Crassostrea rhizophorae* y *Crassostrea virginica*.

Energía	Unidad	Datos de entrada
Electricidad (trituración)	KWh	0,33
Gas natural	m <sup>3</sup>	0,45

Fuente: Ramírez, V. (2022).

Tabla 29. Entrada de combustible Diesel usada por camiones para transporte de materiales a las plantas procesadoras.

Materiales a transportar	Km	Procedencia	Tkm	Entrada de energía Diesel (m <sup>3</sup> )
Conchas de moluscos	115	Caicara de Barcelona	0,24	1,50E-5

Fuente: Ramírez, V. (2022).

En el mismo orden de ideas, una vez recolectados los datos anteriores, se unieron estos con los valores de entrada de materiales y

energía para la producción de ladrillos aislantes propuestos en la presente investigación, lo cuales fueron calculados de acuerdo a la unidad funcional establecida anteriormente, las mismas se mostraron en las tablas 30 y en la figura 19, se observaron los procesos unitarios a considerar en el ACV de los ladrillos prefabricados propuestos.

**Tabla 30. Datos de entrada de materiales y energía para ladrillos aislantes.**

<b>Materiales</b>	<b>Energía</b>	<b>Unidad</b>	<b>Datos de entrada</b>
Concha(muestra #1)	-	Kg	1,15
Concha (muestra #2)	-	Kg	1,95
Concha (muestra #3)	-	Kg	2,50
Cemento	-	Kg	0,5
Agua (muestra #1)	-	Lts	0,24
Agua (muestra #2)	-	Lts	0,24
Agua (muestra #3)	-	Lts	0,34
-	Electricidad	KW/h	0,31 + 0,33
-	Gas natural	MJ	0,35 + 0,45

**Fuente:** Ramírez, V. (2022).

Los datos de entrada de materiales fueron calculados por el autor a lo largo del proceso de investigación. La energía, se refirió al consumo de electricidad utilizado por el horno durante el secado de las conchas de molusco. Y el gas fue el utilizado durante la preparación de los ladrillos de aislamiento.

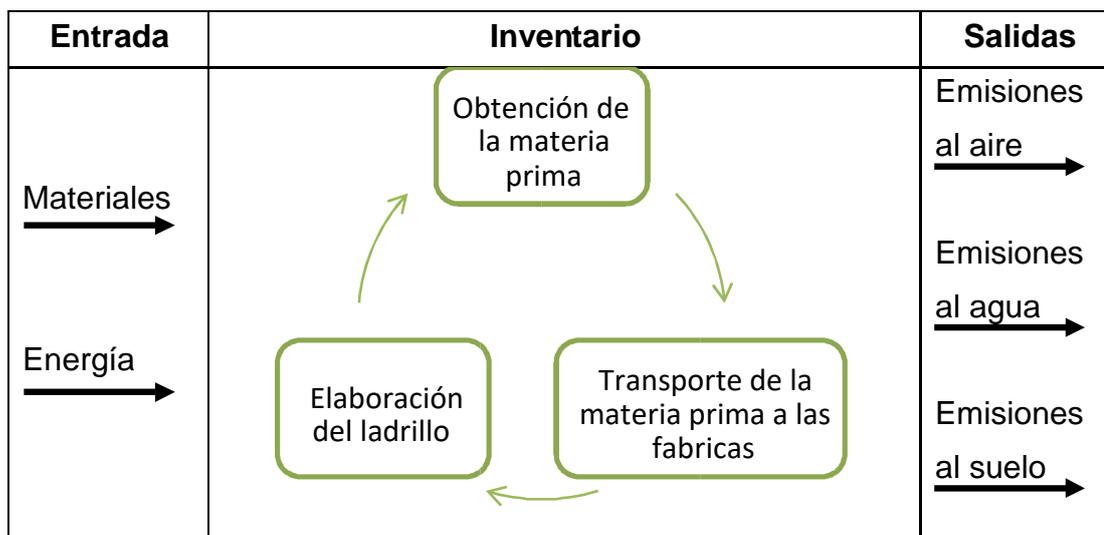


Figura 19. Flujo de proceso de elaboración de bloques aislamiento.

Fuente: Ramírez, V. (2022).

### 4.5.3. Etapa III: Evaluación de impactos de ciclo de vida

#### 4.5.3.1. Aspectos Generales

En esta etapa, mediante el uso del “software” SimaPro 8.5.0 fueron traducidos todos los datos de inventario recopilados en la etapa anterior en un conjunto de información numérica y gráfica que ayudó a comprender mejor el impacto ambiental originado por la fabricación de los ladrillos aislantes con concha de molusco. Cabe destacar que un ecoindicador es un factor adimensional que representa una centésima parte de la carga ambiental de una persona como consecuencia de la elaboración de cierto producto. Esta metodología ubica esas cargas ambientales dentro de una categoría de impacto de punto final, los cuales son medidos en ecopuntos (Pt) y se calculan con la Ecuación 4.

$$\text{Ecopuntos} = \text{CS} \times \text{FC} \times \text{FN} \times \text{FE} \quad (\text{Ec.4})$$

Dónde:

- CS es la cantidad de sustancia emitida
- FC es un factor de caracterización (Contribución Porcentual por categoría)

- FN es un factor de normalización
- FE es un factor de evaluación

A partir de esa información, se pudo deducir cuales procesos energéticos fueron los causantes de los mayores daños a nivel ambiental para establecer alternativas de mejora que puedan contribuir a la reducción de esos daños. En las figuras 20, 21 y 22, se indicaron las categorías de impactos ambientales analizadas por el software y la clasificación de las mismas por daños ocasionados a la salud, al ecosistema y a los recursos naturales con sus respectivas fórmulas para calcularlas.

Categorías de Daños	Formula impacto
-Efectos cancerígenos	
-Efectos Respiratorios	<b>DALY (Años de vida con capacidad ajustados)</b> = (Años de vida perdidos por discapacidad × Ponderación × Incidencia) + (Años de vida perdidos por muerte prematura × Mortalidad)
-Agotamiento de la capa de ozono	
-Calentamiento global	
-Toxicidad terrestre	

**Figura 20. Impactos y daños a la salud medidos en unidades de Daly.**

**Fuente:** Ramírez, V. (2022).

Según la figura 20, DALY es la unidad de medida que se traduce en la fracción de vida que una persona puede acabar perdiendo en caso de sufrir una enfermedad incapacitante debida a la exposición continuada de sustancias contaminantes.

Categorías de impacto	Daños	Formula
Acidificación	I A M O N I A C I O N E S	<b>Calidad del ecosistema</b> = PDF x Área x Tiempo = (Especies de referencia de plantas vasculares – Especies de plantas vasculares después del uso de suelo) / Especies de referencia de plantas vasculares x Área x Tiempo
Ecotoxicidad		
Uso de suelo		

**Figura 21. Impactos y daños al ecosistema medidos en unidades de PDF\*M2yr.**  
**Fuente:** Ramírez, V. (2022).

Según la gráfica anterior los PDF son las siglas inglesas de “Partially Diminished Fraction”, con la que se indica la reducción parcial que sufre determinado ecosistema debida a la exposición de sustancias contaminantes producto de la fabricación de cierto producto.

Categorías de impacto	Daños	Formula
Extracción de combustibles fósiles y minerales	S O B R E E X T R A C I O N E S	<b>MJ surplus (Exceso de energía)</b> = Cantidad total de energía extraída x Número de veces que la cantidad ha sido extraída

**Figura 22. Impactos y daños a los recursos naturales medidos en unidades de MJ Surplus.**  
**Fuente:** Ramírez, V. (2022).

**Nota:** “MJ Surplus” es una medida que se traduce en agotamiento de reservas como consecuencia de la extracción continua de las mismas.

#### **4.5.3.2. Impactos generales producidos por la elaboración de los bloques aislantes prefabricados**

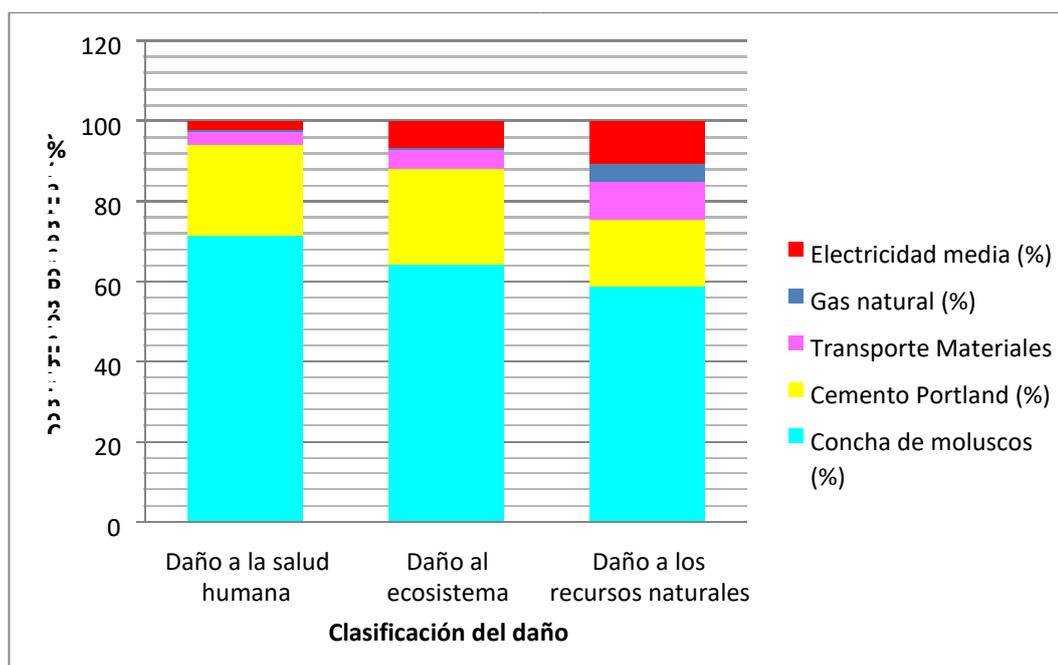
Como fue mencionado anteriormente, la metodología del ACV tomó en cuenta los procesos de producción de los materiales usados para elaborar los ladrillos aislantes, como lo fue el caso del cemento. En el caso de las conchas de moluscos fue considerado desde el instante en que es RSU (residuos sólidos urbanos), proveniente de local comercial y residuo proveniente de la recolección. Por lo que el proceso a considerar fue desde el momento en que son recolectados y transportados hasta la planta recicladora.

El proceso de producción de los mismos no fue necesario para el propósito del presente trabajo de investigación, considerando que las afecciones ambientales originadas por el proceso de reciclaje de los mismos fueron prácticamente nulas. Dicho esto, se procedió a introducir los datos inventariados en el "software" SimaPro 8.5.0, para conocer el impacto ambiental producido por la elaboración de los ladrillos para aislamiento. A continuación, fueron detallados los resultados obtenidos, los cuales se organizaron en un conjunto de gráficas.

Igualmente, el uso de gas natural contribuyó al agotamiento de recursos fósiles con una contribución porcentual de 4,9%. Mientras que el uso de electricidad emitió los mayores impactos en la categoría de agotamiento de la capa de ozono y de recursos fósiles con porcentajes de participación de 7,32% y 10,8% respectivamente. Además, la contribución porcentual negativa del uso de las conchas de moluscos observados en la categoría de uso de suelo, indicó que los daños ambientales fueron evitados, es decir, no se produjeron ni se emitieron contaminantes al ambiente en dicha categoría, lo que representó un beneficio ambiental.

## Evaluación de daños ambientales

Por su parte, la metodología del ecoindicador 99 (H), también evaluó los datos obtenidos en cada categoría de impacto en ecopuntos (Pt), los mismos tuvieron como finalidad dar una idea de que tan por encima o por debajo estaba un valor con respecto a otro.



**Gráfico 22. Contribución porcentual por daños ocasionados al ambiente debida a la elaboración de los ladrillos aislante (Evaluación del daño).**

**Fuente:** Ramírez, V. (2022).

La combustión del diesel que fue usado por los transportes también ocasionó daños a la salud, al ecosistema y a los recursos con un 2,81%, 4,36% y 9,03% respectivamente. El uso de la energía eléctrica durante la producción de los ladrillos aislantes ocasionó el 2,13%, 6,43% y 10,35% de daños en las 3 clasificaciones. Por su parte, la producción y uso de gas natural fue responsable del 0,52% y 0,55% de los impactos negativos en la salud y en el ecosistema, y contribuyó al agotamiento de recursos naturales con un 4,38%.

Al evaluar esos porcentajes en unidades de DALY, PDF Y MJ Surplus, se obtuvo como resultado una pérdida de años de vida de  $4,26 \times 10^{-6}$  DALY como consecuencia de los contaminantes emitidos durante la producción de la materia prima para la elaboración de los ladrillos, una reducción del ecosistema de 0,122 PDF producto de las partículas contaminantes y una cantidad de energía extraída de 2,32 MJ Surplus.

- **Beneficios a la salud humana:** Al incorporar la concha de molusco como agregado del concreto, la fabricación de los ladrillos contribuyó de manera respectiva a una reducción de pérdidas de años de vidas iguales a 0,00000738, 0,00000741 y 0,00000534 DALY.
- **Beneficios al ecosistema:** se evitó la reducción respectiva de 0,193 y 0,789 m<sup>2</sup> de ecosistema debido a la disminución de fracciones de partículas. Contribuyendo a una reducción de metros cuadrados de afectación a ecosistemas igual a 0,231 y 0,849 PDF
- **Beneficios a los recursos naturales:** Al incorporar la concha de molusco como agregado en la mezcla de ladrillos aislante, se contribuyó a una reducción del agotamiento de recursos minerales y fósiles de 3,78, de 7,94 y de 0,88 MJ Surplus en la escala de daños en la salud humana, en el ecosistema y recursos naturales respectivamente.

Como resultado general, se obtuvo que los ladrillos aislantes con conchas de moluscos, causaron menos daños con 0,225 Pt, lo que equivale a una reducción del impacto de casi 2 y 3 veces, en comparación con ladrillos de concreto y arcilla.

#### **4.5.3.4. Comparación de Impactos ambientales producidos por el uso de camiones que usan combustible Diesel para trasladar los materiales hasta el sitio de fabricación de los ladrillos propuestos y los sistemas tradicionales.**

En este punto fueron comparados los impactos ocasionados por el combustible Diesel usado por los camiones para trasladar los materiales para la elaboración de los ladrillos y los sistemas tradicionales, desde su procedencia hasta el sitio de fabricación de los mismos. La cantidad de combustible depende de las tkm, las cuales se calcularon multiplicando las distancias por el peso que fue trasladado. Como las distancias recorridas fueron prácticamente las mismas, los resultados observados variaron debido a que el peso por metro cuadrado de cada tipo de ladrillo es diferente.

Mientras mayor sea las tkm mayor será la cantidad de combustible y mayores las consecuencias ambientales. Donde se observa que los mayores daños en todas las categorías de impacto asociados a este aspecto, ocurren durante el traslado de los materiales de fabricación de los sistemas con concreto, masilla y yeso.

Finalmente, el total de daños ocasionados en cada categoría de impacto medidos en ecopuntos, indicó que las pocas cantidades de combustible para el traslado de materiales para elaborar ambos modelos de ladrillos causaron menos daños con 0,0136 y 0,0133 Pt, lo que equivale a reducir el daño ambiental casi 6, 7 y 2 veces, en comparación con el impacto generado por el uso de las cantidades de diesel requerido para el traslado de materiales para los sistemas elaborados con concreto, masilla y yeso.

#### **4.5.3.5. Comparación de emisiones contaminantes emitidas durante la producción de cada elemento**

En este punto fueron comparadas las cantidades de emisiones contaminantes producidas durante la elaboración de los ladrillos tradicionales (Materiales de tapetes endotérmicos y cerámicos, cerramientos de listones y yeso, sistemas de placas de yeso, recubrimientos de masilla, materiales resistentes al fuego aplicados por pulverización (MRFP), MRFP fibroso, MRFP cementoso), y el propuesto, mediante la metodología del “Ecopoints 97 (CH)”.

Según lo descrito en el párrafo anterior, se indicaron los efectos que traen consigo las emisiones de los contaminantes más perjudiciales según la categoría de impacto a la que pertenezca. De acuerdo a los resultados arrojados, para cada sistema tradicional y el ladrillo a base de concha de molusco, se pudo concluir lo siguiente:

**Efectos cancerígenos:** Los COVDM (Compuestos orgánicos volátiles distintos al metano), en función de su composición (Benceno, cloruro de vinilo y 1,2 dicloroetano), y toxicidad, son sustancias muy dañinas a la salud humana debido a que son los mayores responsables de las emisiones que provocan la Cancerogenesis. Según el Ecoindicador 99 (H), estas sustancias se emitieron en menores cantidades con un valor de 15,7 Pt si se elaboran los paneles propuestos), en vez de los sistemas tradicionales, los cuales provocaron casi 6, 9 y 3 veces más niveles de contaminantes respectivamente.

**Efectos respiratorios:** Los óxidos de azufre (SOx), los óxidos de nitrógenos (NOx), y las partículas sólidas de polvo (Dust PM10), son las sustancias responsables de los daños causados en el sistema respiratorio humano debido a la inhalación de los mismos. Durante la fabricación de sistemas de concreto, yeso y masilla, se emiten 6, 13 y 5 veces más contaminantes de SOx respectivamente, en comparación con las que fueron producidas durante la elaboración de los ladrillos propuestos.

Igualmente, las emisiones de NOx y Dust, son inferiores al fabricar los modelos de ladrillos prefabricados con reducciones de entre 11 y 32 veces respectivamente.

**Cambio climático:** Con la fabricación de los ladrillos aislante con concha de moluscos, se logró disminuir las emisiones de esta sustancia casi 7 y 20 veces, en comparación con las emitidas por la producción de los sistemas tradicionales de concreto, casi 4 y 12 veces si se compara con la producción de materiales con masilla y; casi 2,3 y 4,6 veces menos al elaborar estos ladrillos en vez de sistemas con yeso.

**Daño a la capa de ozono:** Con la fabricación de los ladrillos propuestos, se logró disminuir las emisiones de estas sustancias con valores inferiores a 213 Pt de NOx y 14 Pt de COVDM respectivamente, en comparación con las emitidas por la producción de los sistemas tradicionales de concreto, masilla y yeso, cuyos valores correspondientes sobrepasan los 440 Pt de Nox y los 43 Pt de COVDM.

**Ecotoxicidad:** La fabricación de los ladrillos ocasionó menores daños al ecosistema con reducciones en los niveles de contaminantes como el cadmio (Cd), plomo (Pb), y el mercurio (Hg). Por otro lado, los VOCDM son precursores de ozono (O<sub>3</sub>), que al combinarse con otros contaminantes como el óxido nitroso, forma ozono a nivel de suelo, originando el smog fotoquímico más perjudicial para el ecosistema. Los valores de estos contaminantes también disminuyeron considerablemente al fabricar los ladrillos propuestos en vez de los tradicionales de concreto, masilla y yeso, cuyos niveles contaminantes se sitúan 4, 8 y 3 veces por encima de las emitidas durante la producción de los modelos propuestos.

**Agotamiento de recursos minerales:** Los procesos de producción de los aglutinantes que fueron utilizados en la elaboración de los ladrillos fueron los responsables de emisiones de entre 0,40 Pt y 50 Pt de estas sustancias al agua. Mientras que los proceso de producción de la materia prima usada para elaborar los ladrillos de concreto y los procesos de

cocción de los ladrillos de arcilla y los paneles de yeso provocan emisiones de mayores rangos.

**Contaminación por extracción de recursos fósiles:** Durante el proceso de extracción de la materia prima para la producción de los ladrillos, como el cemento, yeso, masilla entre otros, se originan gases de efectos invernadero como el CO<sub>2</sub>. Sin embargo, las cantidades de las mismas fueron reducidas con la incorporación de la concha de molusco.

**Tabla 31. Tabla resumen de impactos ambientales en elaboración de ladrillos aislantes.**

Daños ambientales	Daños (Pt)	Reducción de impacto
Salud, ecosistema y recursos ambientales	0,225	2 y 3 veces
Combustible Diesel	0,0136 – 0,0133	6 y 7 veces
Efectos cancerígenos	15,7	6 y 9 veces
SOx - NOx		11 y 32 veces
Concreto		7 y 20 veces
Capa de ozono	213 NOx y 14 COVDM	2 y 3 veces
Ecotoxicidad	Cd, Pb y Hg	4, 8 y 3 veces
Agotamiento de recursos	0,40 y 50	

Fuente: Ramírez, V. (2022).

#### 4.5.4. Etapa IV: Evaluación de resultados

##### 4.5.4.1. Conclusiones finales obtenidas del ACV

De forma general, y de acuerdo con los resultados obtenidos en las evaluaciones de impacto ambiental llevados a cabo del ACV con la metodología del Ecoindicador 99 (H), se pudo afirmar que durante todo el proceso que comprende la elaboración de los ladrillos propuestos como sistema de protección térmica pasiva, requeridas en las columnas de acero estructural (obtención de la materia prima, traslado de los mismos y su posterior fabricación), se ocasionan menos daños al ambiente debido a la reducción de las emisiones contaminantes responsables de los

mayores daños a la salud humana y al ecosistema, además de reducir el agotamiento de los recursos naturales.

Todo esto debido, por un lado, a la producción y uso de pocas cantidades de cemento, lo que a su vez significó menor impacto ambiental, mayores beneficios a nivel de la salud humana y al ecosistema y; por otro lado, con la incorporación de la concha de molusco *Crassostrea rhizophorae* y *Crassostrea virginica*, se evitó el aglomeramiento de estas partículas en diversos sitios de almacenamiento o su disposición final, contribuyendo a disminución del impacto ambiental negativo.

Todo lo anteriormente expuesto es un indicativo de la importancia que tuvo la búsqueda de métodos y materiales alternativos que contribuyan al mejoramiento de la calidad ambiental al disminuir las emisiones contaminantes producto de los procesos industriales. Se sabe que gracias al avance tecnológico se ha podido ir más lejos en el desarrollo de nuevos materiales de construcción y de la extracción de infinidad de materias primas, sin embargo, las repercusiones que trae consigo esto, son cada vez más agresivas para el medio ambiente y para la salud. Por lo que se pudo afirmar que, para los propósitos de dicha investigación, el elemento propuesto supuso una alternativa constructiva que surgió como una manera de aportar una solución a los actuales problemas ambientales como consecuencia de la producción de elementos tradicionales.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. Conclusiones**

- De acuerdo al estudio del arte de los sistemas de protección térmica, se evidenció una diversidad de productos con distintas propiedades, en consecuencia, se deben conocer todas sus características para su selección, tal cual se describieron para los ladrillos aislantes a base de conchas de moluscos.

- Conforme a los ensayos de resistencia térmica realizados, los ladrillos aislantes proporcionaron una adecuada protección térmica durante un lapso de tiempo de 2 horas, igualándose a la cantidad de tiempo de protección que generan las columnas ignifugas.

- A medida que se disminuyó la granulometría de conchas, se obtuvo un mejor acomodo de agregados, menor porcentaje de absorción y mayor resistencia térmica, comprobando así que la concha de moluscos requiere de un único proceso de trituración sencillo para ser un agregado óptimo en la elaboración de ladrillos aislantes.

- En función de los resultados mostrados en los ensayos de absorción y resistencia térmica, las muestras elaboradas con la dosificación de mezcla de concreto #2, obtuvieron los resultados más favorables, resultando por ende en la relación concha-cemento-agua más acertada.

Según los resultados obtenidos en los ensayos de absorción (9,7% en el resultado más desfavorable), los ladrillos elaborados con las mezclas #1, #2 y #3, no excedieron el valor de absorción máximo del 15%. Concluyendo así que las conchas de moluscos contribuyeron a la porosidad de la pieza sin afectar su porcentaje de absorción.

- Conforme a los resultados arrojados en las pruebas de resistencia térmica realizadas a las muestras #1, #2 y #3 con un promedio entre ellas de 56°C, se confirmó que todas se encontraron por debajo del límite de temperatura crítica de 538°C. Corroborando así que las conchas de moluscos contribuyeron al aislamiento térmico y convirtieron el ladrillo en una protección eficaz.

- Los ladrillos aislantes elaborados con las mezclas #1, #2 y #3 no lograron cumplir con el mínimo valor de resistencia de 110 kg/cm<sup>2</sup>, sin embargo, obtuvieron la resistencia a la compresión suficiente para su aplicación en cerramientos térmicos no portantes como protección pasiva contra el fuego en columnas de acero estructural.

- Según la clasificación establecida en la Norma COVENIN 1-78 ladrillos de arcilla, y a los resultados arrojados en las pruebas de compresión y absorción, los ladrillos aislantes obtenidos son macizos según su tipo, hechos a mano según su fabricación, para obra limpia según su uso y tipo B según su resistencia y absorción.

- Debido a la sustitución por las conchas de moluscos en las mezclas #1, #2 y #3 con respecto a los ladrillos tradicionales para la construcción, se pudieron obtener ladrillos aislantes ecológicos, logrando así abaratar costos en agregados y traslados del mismo para resultar en una opción de protección más económica.

- El análisis de precio unitario (APU) reflejó una disminución en los costos de cada ladrillo, elaborados con las mezclas #1, #2 y #3, en comparación con otros sistemas de protección térmica aislantes elaborados en el mercado.

- Según el Ecoindicador 99 (H), con la implementación de los ladrillos propuestos en esta investigación (modelo #1, #2 y #3), como protección térmica pasiva se evitaría la pérdida de 0,3 y de 0,5 años de vida y reducciones en el ecosistema.

- De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de ciclo de vida (ACV), la elaboración de los ladrillos aislantes, reducen los daños a la salud humana, el ecosistema y los recursos naturales, disminuyendo la utilización del cemento, la contaminación en las zonas costeras y el impacto ambiental generado en la elaboración de la lana mineral.

## **5.2. Recomendaciones**

- Al momento de realizar la selección del sistema de protección térmica se deben conocer a profundidad las características del mismo, en función de peso, densidad, tipo de material, tiempo de protección y miembro estructural sobre el cual se instalará.

- Al realizar el proceso de trituración de conchas se recomienda ejecutar un solo triturado sencillo para obtener partículas de un tamaño intermedio, lograr un mejor acomodo de agregados y obtener una mejor dosificación de mezcla que resulten en ladrillos con cantidad de espacios vacíos aceptables que aumenten la resistencia térmica.

- Se recomienda utilizar una mínima cantidad de agua a fin de obtener una mezcla semi-seca que permita ser vertida con facilidad en los moldes y ser compactada de forma adecuada en los mismos, ya que el

contenido de agua afecta la consistencia y trabajabilidad de la mezcla al fabricar el ladrillo.

- Se hace necesario llevar a cabo el ensayo de resistencia térmica en espacios cerrados de grandes dimensiones con las medidas de seguridad necesarias, puesto a que al ser ejecutado en espacios abiertos se corre el riesgo de obtener resultados erróneos debido a la influencia del viento en el experimento.

- Al llevar a cabo la elaboración de los ladrillos en la fase experimental se debe tener presente la densidad de los materiales que componen el ladrillo, si se utiliza materiales como arena o cemento de diferentes procedencias pueden cambiar las características mecánicas, físicas y térmicas del ladrillo.

- Al momento de realizar el ensayo de resistencia a la compresión, la carga debe ser aplicada a una velocidad constante, debido a que al aplicar la carga de manera brusca se obtiene resultados erróneos.

- A fin de validar los resultados obtenidos en esta investigación, se hace necesario realizar un mayor número de pruebas y ensayos que certifiquen su validez y sea motivo para un nuevo estudio, para así incentivar el uso de los desperdicios de conchas de moluscos generados en el país.

- La fabricación de ladrillos aislantes a base de concreto con concha de moluscos para su aplicación en el mundo de la construcción, es viable siempre y cuando la fabricación de estos se lleve a cabo en una zona costera donde se encuentre la mayor acumulación de conchas de moluscos en Venezuela, con esto se reduce los costos innecesarios para su producción y posterior comercialización.

## BIBLIOGRAFÍA

- AISC (2003). *Steel Desing Guide 19 – Fire Resistance of Structural Steel Framing*. USA.
- AISC (2016). *Specification for Structural Steel Buildings 360-16*. USA.
- Arias, F. (2006). *El Proyecto De Investigación: Introducción a la metodología científica*. (5ª ed.). Caracas: Episteme.
- Balestrini, M. (1998). *Cómo Elaborar un Proyecto de Investigación*. Venezuela: Consultores Asociados Servicio Editorial.
- Carrera, A. (2015). *Análisis y desarrollo para la fabricación de bloques de hormigón como aislantes térmicos basados en la biomasa de la cascarilla de cacao apto para construcción en edificaciones*. Sangolquí: Universidad de las fuerzas armadas.
- Construcción, C.C. (2008). *Aislación térmica exterior, Manual de diseño para soluciones en edificaciones*. Santiago de Chile: Corporación de Desarrollo Tecnológico.
- COVENIN (1978). *Ladrillos de arcilla 1-78*. Caracas: Fondonorma.
- Ensayo de Absorción*.(s.f.). Scrib. <https://es.scribd.com/document/333670160/ensayo-de-absorcion>.
- Gamboa, W. (2013). *Granulometría del agregado para concreto*. Issu. <https://issuu.com/williamgamboa/docs/granulometra>
- Kadir, A.; Mohajerani, A. (2013). *Physical and mechanical properties of fired clay bricks incorporated with cigarette butts: comparison between slow and fast heating rates*. Suiza: TransTechPublications.

- Molina, N. (2018). *Estado del arte*. Ciencia y tecnología para la salud visual y ocular. <https://ciencia.lasalle.edu.co/svo/vol3/iss5/10/>
- Pérez, A. (2014). *Ensayo de compresión*. Mecapedia. [http://www.mecapedia.uji.es/ensayo\\_de\\_compresion.htm](http://www.mecapedia.uji.es/ensayo_de_compresion.htm)
- Pérez, J.; Gardey, A. (2009). *Definición de Mezcla*. Definicion.DE. <https://definicion.de/mezcla/>
- Rieznik, N.; Hernández, A. (2005). *Análisis del ciclo de vida*. Habitat.aq. <http://habitat.aq.upm.es/temas/a-analisis-ciclo-vida.html>
- Rojas, E. (2011). *Material aislante del fuego hecho con conchas de moluscos*. Sevilla.
- Tamayo, M. (1991). *Metodología formal de investigación científica*. México: 37Limusa/Noriega.
- The Brick Industry Association. (2006). *Technical Notes 9 – Manufacturing of Brick. Technical Notes on Brick Construction*.
- Valenzuela, A. (2014). *De qué están hechas las conchas marinas*. Rtve. <https://www.rtve.esnoticias/20140816/estan-hechas-conchas-marinas/993500.shtml>
- Valera, F. (2014). *Análisis de precios unitarios*. Monografías. <https://www.monografias.com/trabajos75/analisis-precios-unitarios/analisis-precios-unitarios2.shtml>
- Wadel, G. (2003). *Aislamientos térmicos renovables y reciclados de lana de oveja y algodón: Un aporte a la construcción sostenible*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y  
ASCENSO:**

**Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6**

<b>Título</b>	“Propuesta de sistema para protección térmica pasiva en columnas de acero estructural con ladrillos ecológicos a base de concreto con concha de moluscos <i>Crassostrea rhizophorae</i> y <i>Crassostrea virginica</i> .”
<b>Subtítulo</b>	

Autor(es):

<b>Apellidos y Nombres</b>	<b>Código CVLAC / e-mail</b>	
<b>Víctor David Ramírez Paz</b>	<b>CVLAC</b>	25.994.150
	<b>e-mail</b>	vdrp1997@gmail.com
	<b>e-mail</b>	
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	

**PALABRAS O FRASES CLAVES:** protección térmica, columnas, conchas de moluscos.

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Escuela de ingeniería y ciencias aplicadas	Ingeniería Civil

Resumen (abstract):

### Resumen

El presente estudio se realizó con la finalidad de encontrar un material sustentable y de bajo impacto al medio ambiente para la elaboración y propuesta de un sistema de protección térmica pasiva en columnas de acero estructural con ladrillos ecológicos a base de concreto con conchas de moluscos *Crassostrea rhizophorae* y *Crassostrea virginica*. En búsqueda del cumplimiento de los objetivos de dicha investigación se identificaron los principales métodos de protección térmica pasiva mediante la comparación del tiempo de resistencia de la conducción del calor como indicador principal de protección, se establecieron tres prototipos de dosificación de mezclas de concreto con conchas de moluscos, variando su granulometría a través de procesos de trituración y tamizado para cada una, se realizaron ensayos de resistencia a la compresión, absorción máxima de agua y resistencia térmica, para finalmente elaborar un análisis de precio unitario y un análisis de ciclo de vida evaluando la factibilidad económica y ambiental del sistema respectivamente, obteniendo como resultado ladrillos como protección térmica más aislantes, económicos y ecológicos con un promedio de temperatura de 56 °C, cumpliendo con los parámetros establecidos en las Normas COVENIN 1-78 y la IACA Guía de Diseño de Acero 19.

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail										
<b>Álvarez, Jesús</b>	ROL	CA		AS		TU	X	JU			
	CVLAC	CI: 4.510.362									
	e-mail	Sainca40@yahoo.com									
	e-mail										
<b>Cabrera, Daniel</b>	ROL	CA		AS		TU		JU	X		
	CVLAC	C.I 17.421.606									
	e-mail	Danieldjc1986@gmail.com									
	e-mail										
<b>Rojas, Laurimar</b>	ROL	CA		AS		TU		JU	X		
	CVLAC	CI: 15.563.371									
	e-mail	Rojaslaurimar@gmail.com									
	e-mail										

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2022	03	16

Lenguaje: **SPA**

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Tesisvictorramirez.doc	Application/msword

### ALCANCE

**ESPACIAL:** (OPCIONAL)

**TEMPORAL:** (OPCIONAL)

### TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Civil

### NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

### ÁREA DE ESTUDIO:

Escuela De Ingeniería Y Ciencias Aplicadas

### INSTITUCIÓN:

Universidad De Oriente – Núcleo De Anzoátegui / Extensión Centro - Sur  
Cantaura

# Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
CONSEJO UNIVERSITARIO  
RECTORADO

CUN° 0975

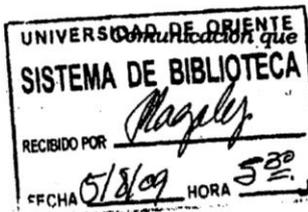
Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano  
**Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ**  
Vicerrector Académico  
Universidad de Oriente  
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Letdo el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.



Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

**JUAN A. BOLANOS CUNEL**  
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/maruja

**Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009):** “Los trabajos de grados son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y solo podrá ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Concejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Concejo Universitario, para su autorización”.

**Autor (es):**

---

**Víctor David Ramírez Paz**

**AUTOR**

---

**Ing. Jesús Álvarez**

**TUTOR**