



UNIVERSIDAD

EVOLUCIÓN A TRAVÉS DE LA HISTORIA DEL LADRILLO COMO MATERIAL DE
CONSTRUCCIÓN

AUTORES:

ANDRES FELIPE LUNA ACOSTA
BRAYAN STIBEN PORRAS VELOSA

UNIVERSIDAD ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ, COLOMBIA 2023-2

EVOLUCIÓN A TRAVÉS DE LA HISTORIA DEL LADRILLO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

AUTORES:

ANDRES FELIPE LUNA ACOSTA
BRAYAN STIBEN PORRAS VELOSA

TRABAJO DIRIGIDO PARA LA OBTENCION DE ENFASIS EN ESTRUCTURAS

DIRECTOR(A):

NANCY TORRES CASTELLANOS, PhD.

CAMPO DE ACCIÓN DEL TRABAJO DIRIGIDO:

Análisis de la evolución de las técnicas de fabricación de ladrillos y bloque a lo largo de la historia para el centro de estudios en estructuras, materiales y construcción.

UNIVERSIDAD ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ, COLOMBIA 2023-2

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS DE LA CONSTRUCCIÓN.....	10
1.1. INTRODUCCIÓN	10
1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	10
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	10
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
CAPÍTULO 2: "RAÍCES TEÓRICAS Y EVOLUCIÓN CONSTRUCTIVA"	11
2.1. EVOLUCIÓN DE LOS MATERIALES CONSTRUCTIVOS.....	11
2.1.1. CLASIFICACIONES.....	11
2.1.2. RECORRIDO HISTORIA DEL BLOQUE Y EL LADRILLO	11
2.3. LA GEOMETRÍA EN LA CONSTRUCCIÓN	15
2.4. NORMATIVAS EN LA INGENIERÍA CIVIL	17
CAPITULO 3: "LA ERA DORADA DE LA ALBAÑILERIA, GRANDES CIVILIZACIONES Y EL ORIGEN DE LA INDUSTRIA"	24
3.1. BLOQUES DE ADOBE	24
3.1.1. HISTORIA UNIVERSAL.....	25
3.1.2. HISTORIA EN COLOMBIA.....	26
3.1.3. COMPOSICIÓN	27
3.1.4. FABRICACIÓN	28
3.2. BLOQUES DE TAPIA PISADA	31
3.2.1. TRAVESIA EN EL ESCENARIO MUNDIAL	31
3.2.2. RELATO EN TIERRA COLOMBIANA.....	32
3.2.3. COMPOSICIÓN	36
3.2.4. FABRICACIÓN.....	36
3.3. LADRILLOS DE ARCILLA COCIDA.....	37
3.3.1. RECORRIDO A LO LARGO DE LOS TIEMPOS	37
3.3.2. INICIOS Y EVOLUCIÓN EN SUELO COLOMBIANO	42
3.3.3. COMPOSICIÓN	44
3.3.4. FABRICACIÓN	46
CAPITULO 4: "EVOLUCION Y DESCRUBRIMIENTOS EN SIGLOS ANTERIORES"	48
4.1. BLOQUES DE CONCRETO.....	48
4.1.1. DESDE LOS INICIOS CON EL CEMENTO, UNA HISTORIA ANTIGUA	48
4.1.2. LA INDUSTRIALIZACIÓN EN COLOMBIA	49
4.1.3. IMPACTO DE LOS BLOQUES DE CONCRETO EN LA ARQUITECTURA MODERNA.....	50
4.1.4. COMPOSICIÓN	52
4.1.5. FABRICACIÓN	53

4.2.	LADRILLOS SILICO-CALCAREOS	61
4.2.1.	PEQUEÑOS VESTIGIOS A LO LARGO DE LA HISTORIA	61
4.2.2.	INICIOS, INDUSTRIALIZACIÓN Y APLICACIÓN EN TIERRA COLOMBIANA	62
4.2.3.	COMPOSICIÓN	63
4.2.4.	FABRICACIÓN	64
4.3.	LADRILLOS DE CENIZA VOLANTE	67
4.3.1.	HISTORIA UNIVERSAL	68
4.3.2.	HISTORIA EN COLOMBIA	69
4.3.3.	COMPOSICIÓN	70
4.3.4.	FABRICACIÓN	71
CAPITULO 5: “LA INDUSTRIA DEL BLOQUE Y LADRILLO SIENDO AMIGABLE CON EL MEDIO AMBIENTE”		75
5.1.	LADRILLOS Y BLOQUES ECOLOGICOS	75
5.1.1.	HISTORIA UNIVERSAL	75
5.1.2.	HISTORIA EN COLOMBIA	76
5.1.3.	COMPOSICIÓN	77
5.1.4.	FABRICACIÓN	78
CAPITULO 6: “COMPARATIVA, VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MATERIALES MENCIONADOS”		81
CAPITULO 7: “ESTUDIOS RECIENTES EN MEJORAS Y EXPERIMENTACIÓN DEL LADRILLO Y BLOQUE”		89
7.1.	ADOBE	89
7.2.	RCILLA COCIDA	90
7.3.	TAPIA PISADA	91
7.4.	SILICO-CALCAREOS	93
7.5.	CONCRETO	95
7.6.	CENIZA VOLANTE	98
7.6.	ECOLOGICOS	101
CAPÍTULO 8: "CONCLUSIONES Y REFLEXION"		104
8.1.	CONCLUSIONES	104
8.2.	REFLEXION	106
CAPITULO 9: BIBLIOGRAFIA		108

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Nomenclatura de las dimensiones de un ladrillo y bloque (UNODC, 2017).....	16
Ilustración 2. Nomenclatura de las partes de un ladrillo (CeraWiki, 2015).....	17
Ilustración 3 Mampostería de cavidad reforzada (http://blogguernuevo.blogspot.com/ , 2016)	20
Ilustración 4. Mampostería reforzada (http://blogguernuevo.blogspot.com/ , 2016).....	21
Ilustración 5. Mampostería parcialmente reforzada (http://blogguernuevo.blogspot.com/ , 2016)	21
Ilustración 6. Mampostería no reforzada (Legis, 2021).....	22
Ilustración 7. Mampostería de muro confinado (QUIROGA, 2023)	22
Ilustración 8. Mampostería de muros diafragma (QUIROGA, 2023).....	22
Ilustración 9. Mampostería reforzada externamente (Tiusaba, 2019).....	23
Ilustración 10. Tipos de bloques (Aceros Arequipa S.A, 2020)	24
Ilustración 11. Bloques de adobe (pereira, 2015)	24
Ilustración 12. Elaboración de ladrillos con molde (CICER, 2021)	25
Ilustración 13. Pirámide de Micerinos (Geografic, 2020).....	25
Ilustración 14. Casa con bloques de adobe (hernan rivera salcedo, 2021).....	26
Ilustración 15. Uniformidad de los bloques (pereira, 2015)	29
Ilustración 16. Prensa manual (pereira, 2015)	30
Ilustración 17. Prensa automática (pereira, 2015).....	30
Ilustración 18. Bloque de tapia pisada (ACOSTA, 2020).....	31
Ilustración 19. Casa de Barro en Togo (Trujillo, 2015).....	32
Ilustración 20. Tierradentro (Trujillo, 2015).....	32
Ilustración 21. Amacillado de la tierra (Patiamarillos, 2019)	33
Ilustración 22. Vista de limite elástico de la tierra (Patiamarillos, 2019)	33
Ilustración 23. Armado de formaleta (Patiamarillos, 2019).....	34
Ilustración 24. Casas de tapia pisada (Gélvez., 2020).....	35
Ilustración 25. Pisado de la tierra con apoyo de animales (Patiamarillos, 2019).....	35
Ilustración 26. Casa en Barichara	36
Ilustración 27. Pisón para tapia pisada (ACOSTA, 2020)	37
Ilustración 28. Formaleta para tapia pisada (ACOSTA, 2020).....	37
Ilustración 29. El friso de los arqueros (CICER, 2021)	38
Ilustración 30. Zigurat de Ur (Geografic, 2020)	39
Ilustración 31. Acueducto romano (Geografic, 2020)	39
Ilustración 32. Ladrillos con arroz (ERTL, 2016).....	40
Ilustración 33. Horno Hoffman (CICER, 2021)	40
Ilustración 34. Tipos de ladrillos huecos (CICER, 2021)	41
Ilustración 35. Ladrillera San Cristóbal (Sarmiento, 2019)	43
Ilustración 36. Unidades huecas y perforadas (CANO LAGOS, 2015).....	45
Ilustración 37. Unidades macizas (CANO LAGOS, 2015)	46
Ilustración 38. Unidades tubulares (CANO LAGOS, 2015).....	46
Ilustración 39. Mipibu home (Franco, 2018)	51
Ilustración 40. Edificio F de la Universidad escuela colombiana de ingeniera Julio Garavito (Bohórquez, 2015)	52
Ilustración 41. Casas catalinas (Franco, 2018)	52
Ilustración 42. Proceso técnico elaboración manual (SENA, 1990).....	53
Ilustración 43. Vertimiento de los materiales en la mezcladora (SENA, 1990)	54
Ilustración 44. Revisión previa de la maquina (SENA, 1990).....	55

Ilustración 45. Preparación de las bandejas (SENA, 1990)	55
Ilustración 46. Acción de palanca (SENA, 1990)	56
Ilustración 47. Acción de bandeja (SENA, 1990).....	56
Ilustración 48. Empuje de bandeja (SENA, 1990).....	56
Ilustración 49. Acción de palanca (SENA, 1990).....	57
Ilustración 50. Vertimiento de la mezcla en la maquina (SENA, 1990).....	57
Ilustración 51. Acomodación del molde en la maquina (SENA, 1990).....	57
Ilustración 52. Ejecución de pisadas (SENA, 1990).....	58
Ilustración 53. Llenado de molde (SENA, 1990).....	58
Ilustración 54. Retiro de material de la maquina (SENA, 1990)	59
Ilustración 55. Tipos de moldes y pisones (SENA, 1990)	59
Ilustración 56. Almacenamiento de bloques (SENA, 1990)	60
Ilustración 57. Curado de bloque de concreto (SENA, 1990).....	60
Ilustración 58. Recubrimiento de bloques (SENA, 1990).....	61
Ilustración 59. Ladrillo silico-calcareo (Arqhys, 2012).....	61
Ilustración 60. Procesos de control automatizados (masa, 2022)	65
Ilustración 61. Descarga de masa de ladrillo silico-calcareo por debajo de la mezcladora (masa, 2022) ..	65
Ilustración 62. Parte inferior del reactor con mezcladora posterior de doble eje (masa, 2022)	65
Ilustración 63. Mesa de prensado con inserto de molde intercambiable (masa, 2022).....	66
Ilustración 64. Generación de vapor (masa, 2022)	67
Ilustración 65. Sistema de transporte dentro de la planta de embalaje (masa, 2022).....	67
Ilustración 66. Ladrillos de ceniza volante (CONSTRUMATICA, 2008)	68
Ilustración 67. Diagrama de flujo de producción de ladrillo de cenizas volantes (surfer, 2023).....	72
Ilustración 68. Producción de cenizas volantes (DASWELL, 2023).....	72
Ilustración 69. Transporte y ciclo de vida de los materiales de construcción (Sierra, 2020).....	75
Ilustración 70. Ladrillos de plástico (PLASTICO, 2023)	79
Ilustración 71. Ladrillos ecológicos (PLASTICO, 2023)	80

TABLA DE TABLAS

Tabla 1. Empresas alfareras y tejares de Bogotá para 1914 (Sarmiento, 2019).....	43
Tabla 2. Comparación entre el contenido químico de la corteza terrestre y la arcilla roja común (CEAC, 1990)	45
Tabla 3. Lista de proceso de producción (masa, 2022).....	64
Tabla 4. Rango de potencia de prensa (masa, 2022).....	66
Tabla 5. Ventajas y desventajas de los materiales Fuente (propia, 2023).....	81

RESUMEN

Este trabajo dirigido se enfoca en plasmar en una revisión bibliográfica el extenso desarrollo de la construcción a lo largo de milenios, específicamente en lo relacionado con los ladrillos y bloques como elementos fundamentales. En este contexto, se analizan diversos tipos de materiales, explorando su evolución histórica y su contribución a la industria de la construcción. Se profundiza en las características, ventajas, desventajas, costos, procesos de fabricación, propiedades mecánicas y avances recientes de estos componentes, destacando su relevancia en la arquitectura y la construcción contemporánea, con un enfoque especial en el contexto colombiano.

Además, se reconoce la importancia de la sostenibilidad en la actualidad y cómo la ciencia juega un papel crucial en este aspecto. El objetivo principal de esta investigación es proporcionar una visión integral de la evolución de los ladrillos y bloques, convirtiéndose en una referencia esencial para profesionales del sector de la construcción en Colombia y más allá.

Este trabajo se complementó con artículos adicionales que ofrecen curiosidades fascinantes sobre la historia de la construcción, datos intrigantes sobre ladrillos y bloques en diferentes culturas, y sugerencias para futuras investigaciones en el campo. Estos artículos adicionales pretenden enriquecer la comprensión del lector y motivar la exploración continua del tema.

PALABRAS CLAVES

Construcción, Materiales de construcción, Historia de la construcción, Evolución constructiva, Ladrillos, Bloques, Ladrillos de arcilla cocida, Ladrillos de ceniza volante, Ladrillos silico-calcáreos, Ladrillos ecológicos, Adobe, Tapa pisada, concreto, Innovaciones constructivas, Desarrollo tecnológico, Sostenibilidad, Ingeniería civil, Arquitectura, Construcción sostenible, Técnicas de fabricación, Investigación en construcción, Alternativas constructivas.

ABSTRACT

This directed work focuses on the extensive development of construction over the millennia, specifically as it relates to bricks and blocks as fundamental elements. In this context, various types and materials are analyzed, exploring their historical evolution and their contribution to the construction industry. The characteristics, advantages, disadvantages, costs, manufacturing processes, mechanical properties and recent advances of these components are discussed in depth, highlighting their relevance in contemporary architecture and construction, with a special focus on the Colombian context.

In addition, it recognizes the importance of sustainability today and how science plays a crucial role in this aspect. The main objective of this research is to provide a comprehensive overview of the evolution of bricks and blocks, becoming an essential reference for professionals in the construction sector in Colombia and beyond.

This work will be complemented by additional articles that will offer fascinating tidbits about the history of construction, intriguing facts about bricks and blocks in diverse cultures, and suggestions for future research in the field. These additional articles are intended to enrich the reader's understanding and encourage continued exploration of the topic.

KEYWORDS

Construction, Building Materials, Construction History, Evolution of Construction, Bricks, Blocks, Fired Clay Bricks, Fly Ash Bricks, Silico-Calcareous Bricks, Ecological Bricks, Adobe, Stamped Earth, Concrete, Construction Innovations, Technological Development, Sustainability, Civil Engineering, Architecture, Sustainable Construction, Manufacturing Techniques, Construction Research, Alternative Construction.

DEDICATORIA

Queremos expresar nuestra profunda gratitud a Dios, quien ha sido nuestra guía y fuente de fortaleza a lo largo de esta travesía. A nuestros padres por brindarnos la invaluable oportunidad de estudiar, así como por su incondicional apoyo a lo largo de esta significativa etapa de nuestras vidas. Los llevamos en nuestros corazones con todo nuestro amor.

Extendemos el reconocimiento a la Decana y directora de nuestro trabajo dirigido, la ingeniera Nancy Torres Castellano. Su apoyo inquebrantable en esta iniciativa ha sido crucial, ya que no solo nos ha guiado en la comprensión de conceptos, sino que también ha contribuido significativamente al enriquecimiento de nuestros conocimientos sobre cultura, ciencia y la historia del mundo. Su orientación ha sido fundamental para nuestro crecimiento tanto académico como personal, y estamos profundamente agradecidos por su dedicación y sabiduría a lo largo de este proceso.

A nuestra querida amiga Valentina, queremos agradecerte, no solo en este proyecto, sino también en el tramo final de nuestra carrera. Tus consejos, orientación y constante motivación nos han impulsado a esforzarnos siempre por mejorar. Apreciamos profundamente tu amistad y apoyo.

Este logro no hubiera sido posible sin el respaldo de cada una de estas personas especiales en nuestras vidas. Les dedicamos este éxito con gratitud y cariño.

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS DE LA CONSTRUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

El estudio de los ladrillos y bloques en el campo de la construcción fue de vital importancia debido a su histórica y funcional relevancia. Estos materiales experimentaron un significativo avance técnico a lo largo del tiempo, resultando en una diversidad de tipos y composiciones que desempeñaron un papel crucial en la ingeniería civil y la arquitectura contemporáneas.

Este trabajo dirigido se enfocó en realizar un análisis exhaustivo de la evolución histórica de los ladrillos y bloques, poniendo énfasis en su desarrollo técnico y en la clasificación de sus diversos tipos y materiales utilizados en su elaboración. El estudio se basó en investigaciones previas debidamente referenciadas. Además, se abordaron cuestiones técnicas relacionadas con la fabricación, las propiedades físicas y mecánicas, así como las consideraciones estructurales y sostenibles asociadas a estos materiales. Se prestó especial atención a las innovaciones recientes en materiales y métodos de construcción, con un enfoque en la sostenibilidad y el respeto por el medio ambiente. Este análisis proporcionó una visión completa de la evolución de los ladrillos y bloques, y sirvió como una valiosa referencia para profesionales de la construcción, con un enfoque específico en su relevancia en el contexto colombiano.

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar una revisión de los tipos de ladrillos y bloques, su evolución técnica, impacto en arquitectura, cultura y su importancia en la construcción.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar los orígenes y técnicas de fabricación históricas de ladrillos y el auge del bloque.
- Analizar la influencia de diferentes estilos arquitectónicos en el uso del ladrillo y el bloque.
- Evaluar la sostenibilidad de los ladrillos y bloques en la construcción moderna.
- Explorar el impacto cultural del ladrillo y bloques en la identidad de las sociedades.
- Identificar e investigar desafíos actuales en la producción del uso de ladrillos y bloques, tales como la sostenibilidad, proporcionando un análisis detallado de cada uno.
- Reflexionar sobre el futuro del ladrillo y el bloque en la construcción y su adaptación a las demandas cambiantes.

CAPÍTULO 2: "RAÍCES TEÓRICAS Y EVOLUCIÓN CONSTRUCTIVA"

2.1. EVOLUCIÓN DE LOS MATERIALES CONSTRUCTIVOS

El desarrollo de materiales de construcción, desde épocas prehistóricas hasta la actualidad, revela transformaciones significativas en la arquitectura a lo largo de la historia. Este capítulo examina cómo los bloques y ladrillos han sido elementos cruciales en este viaje histórico.

- Bloque y ladrillo

La aparición de este material de construcción puede dar la impresión de ser un evento sin mucha trascendencia, pero la realidad es todo lo contrario. Antes de su llegada, la construcción de viviendas se basaba en piedra o madera, materiales susceptibles a la descomposición y a los incendios. La antigüedad del ladrillo es tan vasta que resulta imposible atribuir su invención a un individuo específico, con la posibilidad de que este innovador anónimo haya existido hace más de 20 mil años. (ICESI, 2021)

En sus inicios, los ladrillos diferían significativamente de los modernos, ya que se secaban al sol en lugar de ser cocidos en un horno. Esto afectaba la calidad del material, haciéndolo menos duradero y más vulnerable al agua. Fueron los antiguos egipcios quienes introdujeron la cocción de ladrillos, un proceso que se originó debido a la ubicación de sus asentamientos a lo largo del Nilo, que a menudo causaba inundaciones y dañaba las construcciones de ladrillos secados al sol. (ICESI, 2021)

Desde entonces, el proceso de producción ha experimentado pocos cambios significativos hasta el siglo XIX. En sus inicios, los ladrillos se elaboraban a mano, pero con la llegada de la revolución industrial, la producción masiva mediante máquinas se convirtió en la norma. Sin embargo, a pesar de varios milenios de molde manual, la gente continuó construyendo sus ciudades con ladrillos. En el siglo XIII, se descubrió que el ladrillo no solo servía como material de construcción, sino también como un elemento decorativo. (ICESI, 2021)

2.1.1. CLASIFICACIONES

Los ladrillos y bloques se pueden clasificar de las siguientes maneras de acuerdo con su material, forma y elaboración.

- **MATERIAL:** se clasifican de acuerdo con el material que los compone, ya sea arcilla cocida, concreto, sílice, ceniza volante entre otros, etc.
- **FORMA y solidez:** se clasifican de acuerdo con su forma, ya sea hueco, macizo o tubular
- **MANUFACTURA:** la clasificación de manufactura puede ser artesanal o industrial

2.1.2. RECORRIDO HISTORIA DEL BLOQUE Y EL LADRILLO

Ahora se dará un recorrido histórico desde la vista arquitectónica y como el ladrillo y el bloque influenciaron estas épocas.

I. Tiempos Prehistóricos

En los albores de la historia, la arquitectura prehistórica se caracterizó por la construcción de estructuras enigmáticas que desafiaron la comprensión de los arqueólogos modernos. Desde montículos de tierra hasta círculos de piedra y megalitos, los primeros seres humanos dejaron su huella en monumentales construcciones. En este contexto, se exploraron elementos como el uso de piedras y estructuras de barro, dando paso a la misteriosa pero fascinante arquitectura de ese tiempo. (Moran, 2020)

Aunque en esta época se utilizaron principalmente materiales naturales, se puede especular sobre la posible presencia de ladrillos rudimentarios o bloques de arcilla, aprovechados por las comunidades prehistóricas para construir estructuras básicas. (Moran, 2020)

II. Orígenes en Civilizaciones Antiguas (3500 a.C - 900 a.C.):

Durante el antiguo Egipto, poderosos gobernantes erigieron imponentes pirámides, templos y santuarios monumentales. Las pirámides de Giza, con su precisión geométrica, representaron proezas ingenieriles que alcanzaron alturas impresionantes. Aunque las pirámides están principalmente compuestas de piedra, en algunas construcciones secundarias y en el revestimiento exterior de las pirámides, se utilizó el ladrillo de barro cocido, mostrando una adaptación temprana de materiales de construcción. (Moran, 2020)

En este periodo inicial, las civilizaciones sumerias y egipcias introdujeron el uso del adobe, una mezcla de barro crudo. Este material sencillo, secado al sol, marcó el comienzo de la construcción con elementos de tierra. Aunque primitivo, proporcionó una solución económica para estructuras básicas. No obstante, no se observa un uso significativo de bloques en esta época. (Campbell, 2012).

III. Desarrollo de Ladrillos Cocidos (2000 a.C.):

El avance hacia la cocción de ladrillos, promovido por los babilonios alrededor del 2000 a.C., marcó una transición crucial. Esta técnica mejoró la calidad del material, haciéndolo más resistente y duradero. Los ladrillos cocidos reemplazaron en gran medida al adobe, permitiendo una construcción más robusta. Aunque los bloques aún no eran predominantes, se observan indicios de su potencial. (Campbell, 2012).

IV. Clásico (850 a.C. - 476 a.C.)

Desde la antigua Grecia hasta la caída del Imperio Romano, la arquitectura clásica floreció, guiada por reglas precisas y órdenes arquitectónicos. Los estilos de columna y los diseños de entablamento definieron la época. En este período, la piedra era el material dominante, pero en algunos casos se utilizó ladrillo, especialmente en la construcción de estructuras secundarias y en la creación de bóvedas y arcos. (Moran, 2020)

V. Ladrillos y Bloques Romanos (Imperio Romano - Siglos III a.C. al V d.C.):

Durante el apogeo del Imperio Romano, especialmente desde el siglo III a.C. hasta el V d.C., tanto el ladrillo como el incipiente uso de bloques se convirtieron en componentes esenciales de la arquitectura romana. Los "ladrillos romanos" destacaron por su uniformidad, demostrando avances en la producción. Su uso varió desde viviendas hasta monumentales estructuras como coliseos, subrayando la versatilidad del material. Aunque el uso de bloques no era tan generalizado como el del ladrillo, se evidenció un interés creciente en su fabricación y aplicación en construcciones de la época. (Campbell, 2012).

VI. Bizantino (527-565 d.C.)

Con el traslado de la capital a Bizancio, Después de que Constantino trasladó la capital del Imperio Romano a Bizancio (hoy Estambul) en el año 330 d.C. El uso del ladrillo se consolidó en esta época, destacándose por la creación de estructuras con techos abovedados y detalles ornamentados, como se observa en la arquitectura bizantina. (Moran, 2020)

VII. Edad Media Europea (Siglos V-XV):

A lo largo de la Edad Media europea, que abarcó desde los siglos V al XV, el ladrillo y el bloque siguieron siendo fundamentales, especialmente en la construcción de iglesias y murallas. Aunque la producción era menos estandarizada que en épocas anteriores, la continuidad en el uso de estos materiales señaló su importancia en la arquitectura medieval. (Campbell, 2012).

VIII. Románico (800 d.C. - 1200 d.C.)

Durante el periodo que abarca desde el año 800 hasta el 1200 d.C., con la expansión del Imperio Romano por toda Europa, la arquitectura románica experimentó un crecimiento significativo marcado por la introducción de arcos redondeados. Este estilo arquitectónico se extendió con la influencia del imperio, dejando su huella en la construcción de iglesias y castillos durante la época medieval temprana. Estas estructuras se caracterizaban por sus paredes gruesas y robustos contrafuertes.

Aunque en este periodo el uso del ladrillo fue menos predominante en comparación con otras épocas, en algunas regiones específicas se optó por utilizar bloques y ladrillos para la construcción de arcos y detalles ornamentales, contribuyendo así a la diversidad y riqueza de la arquitectura románica de la época. (Moran, 2020)

IX. Arquitectura Gótica (1100 - 1450)

La arquitectura gótica, con sus arcos puntiagudos, bóvedas acanaladas y arbotantes, alcanzó nuevas alturas de elegancia. Catedrales como Chartres y Notre Dame fueron ejemplos impresionantes de este estilo. Aunque la piedra siguió siendo el material principal, el gótico vio avances en la combinación de piedra y ladrillo para crear arcos y elementos decorativos en las catedrales. (Moran, 2020)

X. Ilustración y Renacimiento (Siglos XVII-XVIII):

Un retorno a las ideas clásicas marcó el inicio de lo que se conoce como la "era del despertar" en Italia, Francia e Inglaterra. Durante este periodo, figuras destacadas como Andrea Palladio y otros constructores se embarcaron en la búsqueda de los órdenes clásicos heredados de la antigua Grecia y Roma. A pesar de que la época del Renacimiento llegó a su fin, su impacto perduró y continuó inspirando a arquitectos en el mundo occidental, quienes se maravillaron ante la arquitectura magníficamente proporcionada de aquel periodo.

En la Ilustración y el Renacimiento, abarcando los siglos XVII y XVIII, se experimentó un renacimiento en el uso de ladrillos y bloques. La arquitectura neoclásica, caracterizada por su adopción de estos elementos, los incorporó en construcciones ornamentadas que reflejaban ideales clásicos. En este contexto, la producción de bloques empezó a ganar terreno como una alternativa estructural en la creación de edificaciones. (Campbell, 2012).

XI. Barroco (1600 - 1830)

El barroco se reflejó en iglesias opulentas en Italia y en la combinación de lo ornamentado con la medida clásica en Francia. La arquitectura barroca se expandió por toda Europa, influenciando estilos arquitectónicos en Rusia. El barroco vio una amplia gama de estilos,

y en algunas regiones se utilizó el ladrillo para crear formas dramáticas y ornamentadas, especialmente en la arquitectura rusa. (Moran, 2020)

- XII. Rococó (1650 - 1790)
Durante la fase final del barroco, el rococó se caracterizó por edificaciones blancas con curvas elegantes, decoradas con volutas y patrones geométricos delicados. Contribución del ladrillo y el bloque: En algunas instancias, el ladrillo se incorporó en la creación de detalles decorativos y formas curvas en edificaciones de estilo rococó. (Moran, 2020)
- XIII. Neoclasicismo (1730 - 1925)
Un renovado interés en las ideas del arquitecto renacentista Andrea Palladio inspiró un retorno a formas clásicas en Europa, Gran Bretaña y los Estados Unidos, con edificios proporcionados según los órdenes clásicos. Aunque la preferencia era por la piedra, en algunos casos se usaron bloques y ladrillos para detalles estructurales y decorativos, adaptándose al resurgimiento de formas clásicas. (Moran, 2020)
- XIV. Revolución Industrial (Siglo XIX):
La Revolución Industrial del siglo XIX transformó la fabricación de ladrillos y bloques. La introducción de maquinaria industrial permitió una producción en serie, reduciendo costos y facilitando la construcción a gran escala. Durante este periodo, también emergieron bloques de concreto como una alternativa robusta. La producción de bloques se intensificó, convirtiéndose en una opción más común. (Campbell, 2012).
- XV. Siglo XX:
En el siglo XX, la diversificación de materiales fue evidente. Desde ladrillos huecos hasta bloques de concreto y arcilla, la experimentación permitió una mayor versatilidad. Los avances tecnológicos llevaron a la creación de ladrillos más ligeros y eficientes en términos de construcción. La producción en masa de bloques y su aplicación en construcciones de gran escala se convirtió en una práctica común. (Campbell, 2012).
- XVI. Estilos Modernistas (1900 - Actualidad)
Los siglos XX y XXI han sido testigos de cambios dramáticos y una sorprendente diversidad en la arquitectura. Desde el Art Moderne hasta la escuela Bauhaus, el deconstructivismo, el formalismo y el estructuralismo, las tendencias actuales exploran una amplia gama de estilos y enfoques. A medida que la arquitectura modernista se expande, algunos arquitectos continúan utilizando ladrillos y bloques, a menudo de manera innovadora, como parte de sus diseños, aportando textura y carácter a estructuras contemporáneas. (Moran, 2020)
- XVII. Postmodernismo (1972 - Actualidad)
En reacción a los enfoques modernistas, el postmodernismo ha dado lugar a nuevos edificios que reinterpretan detalles históricos y adornos familiares. En algunos proyectos postmodernos, se aprecia el uso de ladrillos y bloques como elementos que conectan con la tradición arquitectónica mientras exploran nuevas formas y expresiones. (Moran, 2020)
- XVIII. Siglo XXI: Construcción Sostenible (Actualidad):

Hoy en día, existe un claro impulso hacia la construcción sostenible. La tendencia se ha volcado hacia el desarrollo de bloques y ladrillos respetuosos con el medio ambiente, utilizando materiales reciclados y de bajo consumo energético. Esta era se caracteriza por un avance continuo hacia soluciones constructivas más respetuosas con el entorno, con un enfoque especial en la producción de bloques y ladrillos que sean eco amigables.

2.3. LA GEOMETRÍA EN LA CONSTRUCCIÓN

La geometría de un ladrillo y un bloque se caracteriza por sus formas rectangulares, siendo el ladrillo generalmente más pequeño en comparación con el bloque. La típica forma de un ladrillo consiste en dimensiones que varían, pero suele tener una longitud mayor que su ancho y altura. Este elemento de construcción presenta dos caras principales: la cara vista, que es visible en la estructura final, y el lecho, que es la superficie horizontal en la que descansa el ladrillo. (CeraWiki, 2015)

En contraste, los bloques fueron estructuras rectangulares de mayor tamaño y grosor que los ladrillos. Sus dimensiones también pueden variar, pero los bloques tienden a ser más grandes en longitud, anchura y altura. Al igual que los ladrillos, los bloques presentan caras exteriores visibles en la construcción final y lechos horizontales que van conformando la estructura. Debido a su tamaño y grosor, los bloques fueron comúnmente utilizados en la construcción de paredes de carga y estructuras más robustas, mientras que los ladrillos se destinan a construcciones más pequeñas o decorativas. Cabe destacar que estas características fueron descripciones generales y las dimensiones exactas pueden variar según normas locales y el propósito específico de uso. (CeraWiki, 2015)

- **Perforaciones**

En cuanto a las perforaciones en los ladrillos, es cierto que muchos ladrillos presentan perforaciones a lo largo de su estructura. Estas perforaciones no fueron aleatorias; su presencia obedece a varios propósitos fundamentales en el proceso de fabricación y aplicación en la construcción. Las perforaciones en los ladrillos contribuyen a reducir el peso del ladrillo, facilitan la adherencia del mortero durante la construcción, mejoran la eficiencia en el proceso de cocción, permiten una distribución más uniforme del calor, y proporcionan espacio para albergar elementos de refuerzo, como barras de acero, en aplicaciones estructurales. (S.A., 2018).

En el contexto de las regulaciones colombianas, la Norma Sismo Resistente (NSR-10) en el título D (mampostería estructural) en los apartados unidades de mampostería de perforación vertical (D.3.6.4) y unidades de perforación horizontal (D.3.6.5), desempeña un papel fundamental en la supervisión de la construcción en el país. En lo referente a los ladrillos y sus perforaciones, la NSR establece pautas específicas destinadas a garantizar la seguridad y la resistencia sísmica de las estructuras. Dentro de estas directrices se incluyen recomendaciones sobre la cantidad y distribución de perforaciones permitidas, así como los estándares mínimos de propiedades mecánicas que deben cumplir los ladrillos. Estas medidas están diseñadas para asegurar la estabilidad estructural ante condiciones sísmicas. (NSR-10, 2010).

- **Nomenclatura**

En el contexto de la construcción y la geometría de elementos de construcción como ladrillos y bloques, los términos "largo", "ancho" y "espesor" se utilizan para describir dimensiones específicas.

Largo: El "largo" se refiere a la dimensión horizontal más extensa de un objeto. En el caso de ladrillos o bloques, el largo sería la medida a lo largo de la cara más larga, que generalmente es paralela al suelo cuando se coloca en una estructura. Tal como se puede apreciar en la *ilustración 1*. (UNODC, 2017)

Ancho: El "ancho" se refiere a la dimensión horizontal menos extensa de un objeto. En el caso de ladrillos o bloques, el ancho sería la medida a lo largo de la cara más corta, que generalmente es perpendicular al suelo cuando se coloca en una estructura. Tal como se puede apreciar en la *ilustración 1*. (UNODC, 2017)

Espesor: El "espesor" se refiere a la dimensión vertical de un objeto. En el caso de ladrillos o bloques, el espesor sería la medida desde la parte frontal hasta la parte posterior, es decir, perpendicular a las caras exteriores. En algunos casos, especialmente cuando se trata de elementos delgados, el término "espesor" puede referirse a la dimensión más pequeña, como en el caso de azulejos cerámicos. Tal como se puede apreciar en la *ilustración 1*. (UNODC, 2017)

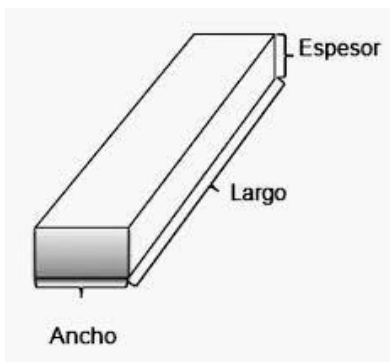


Ilustración 1. Nomenclatura de las dimensiones de un ladrillo y bloque (UNODC, 2017)

En el contexto de la albañilería y la construcción, especialmente al referirse a ladrillos, bloques y otros elementos de mampostería, los términos "testa", "canto" y "tabla" se utilizan para describir diferentes partes y dimensiones de estos elementos:

Testa: La "testa" se refiere a la cara principal o la superficie exterior visible de un ladrillo o bloque. Es la parte que está expuesta y generalmente es la cara que se coloca hacia fuera en una pared o estructura. Como se ve en la *ilustración 2*. (CeraWiki, 2015)

Canto: El "canto" es la dimensión vertical de un ladrillo o bloque. Es la medida perpendicular a las caras exteriores o a la superficie de la testa. El canto se extiende desde la parte superior hasta la parte inferior del ladrillo o bloque. Como se ve en la *ilustración 2*. (CeraWiki, 2015)

Tabla: La "tabla" se refiere a la dimensión horizontal de un ladrillo o bloque. Es la medida que se extiende desde la cara exterior hasta la cara opuesta en el lecho del elemento. La tabla es esencialmente la anchura del ladrillo o bloque. Como se ve en la *ilustración 2*. (CeraWiki, 2015)

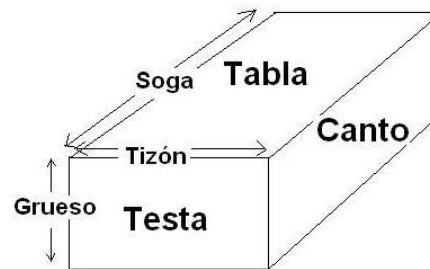


Ilustración 2. Nomenclatura de las partes de un ladrillo (CeraWiki, 2015)

2.4. NORMATIVAS EN LA INGENIERÍA CIVIL

Las normativas juegan un papel crucial en la evolución histórica de los materiales de construcción al establecer estándares, especificaciones y requisitos que establecen características y propiedades que deben cumplir los ladrillos y que influyen en su desarrollo y aplicación. A continuación, se presenta una visión general de cómo las normativas han impactado la evolución de los materiales de construcción a lo largo de la historia: (NTC I. , NORMA TÉCNICA COLOMBIANA Ingeniería Civil y Arquitectura, 2020)

- ✓ Establecimiento de Normas de Calidad: Las normativas definen estándares de calidad para los materiales de construcción. Estos estándares aseguran que los materiales cumplan con requisitos específicos de resistencia, durabilidad, seguridad y otros atributos clave.
- ✓ Seguridad Estructural y Resistencia: A medida que las normativas evolucionan, se centran en garantizar la seguridad estructural de las construcciones. Esto ha llevado al desarrollo de materiales más resistentes y duraderos para enfrentar cargas y tensiones diversas.
- ✓ Innovación en Diseño y Tecnología: Las normativas a menudo impulsan la innovación en diseño y tecnología de materiales. Se fomenta la investigación y el desarrollo para crear materiales más eficientes, sostenibles y capaces de cumplir con los requisitos normativos.
- ✓ Sostenibilidad y Eficiencia Energética: Las normativas modernas cada vez más enfatizan la sostenibilidad y la eficiencia energética. Esto ha llevado al desarrollo de materiales de construcción eco amigables, que buscan reducir el impacto ambiental de las construcciones.
- ✓ Adaptación a Condiciones Locales: Las normativas a menudo se adaptan a las condiciones geográficas y climáticas locales. Esto influye en la elección de materiales de construcción que sean adecuados para resistir ciertos climas, terrenos o desafíos específicos de la región.
- ✓ Mejoras en Procesos de Fabricación: Las normativas también afectan los procesos de fabricación de materiales. Se establecen criterios para garantizar la consistencia y la calidad en la producción, lo que lleva a mejoras en los métodos de fabricación.
- ✓ Integración de Avances Tecnológicos: Las normativas incorporan avances tecnológicos en el sector de la construcción. Por ejemplo, la introducción de nuevos materiales compuestos, nanotecnología o materiales inteligentes a menudo está guiada por normativas que buscan mejorar la eficiencia y la seguridad.
- ✓ Uniformidad en la Industria: Las normativas promueven la uniformidad en la industria de la construcción. Esto facilita la interoperabilidad de diferentes materiales y garantiza que los profesionales del sector sigan prácticas estandarizadas en el caso de Colombia aplican Normas técnicas colombianas. (NTC I. , NORMA TÉCNICA COLOMBIANA Ingeniería Civil y Arquitectura, 2020)

En el ámbito de la construcción, la adherencia a normativas específicas es esencial para garantizar la calidad, seguridad y durabilidad de las estructuras. En este contexto, diversas normas nacionales e internacionales desempeñan un papel crucial en la estandarización y regulación de materiales fundamentales como los ladrillos y bloques de construcción. A continuación, se presenta una breve introducción a algunas de las normas más relevantes:

Aunque el adobe y la tapia pisada son materiales ampliamente utilizados en la construcción en todo el mundo, su regulación normativa es limitada. Algunas de las áreas con una presencia normativa más destacada incluyen Brasil, donde la ABTN tiene un total de 13 normas, la Zona Regional África con la normativa BTC y un conjunto de 14 normas, y Nueva Zelanda, que cuenta con 3 normativas BTC (Cid, Mazarrón, & Cañas, 2011).

En el contexto colombiano, a pesar de la creación de la Norma Sismo Resistente Colombiana (NSR-10) después del terremoto de Popayán en 1983, el cual causó daños significativos en estructuras de adobe, esta normativa no aborda ni propone métodos específicos para la construcción con adobe (Rivero Bolaños & de Valdenebro, 2015). Además, en Colombia no existen normativas oficiales para la adecuación, rehabilitación y construcción de estructuras con adobe, a pesar de la abundancia de patrimonio cultural y arquitectónico construido con este material.

La única normativa en Colombia relacionada con la regulación del adobe es la NTC 5324, titulada "Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de ensayo. Condiciones de entrega". Esta normativa detalla las condiciones bajo las cuales se deben entregar los bloques macizos de suelo de cemento para muros y divisiones. Incluye aspectos como aspecto y textura, capilaridad, resistencia a compresión seca y húmeda, resistencia a la abrasión, granulometría y plasticidad requerida. Además, establece los ensayos necesarios para determinar estas características. Fuente: (Rivera, 2019)

- AIS 610-EP-17 Evaluación e intervención de edificaciones patrimoniales de uno y dos pisos, de adobe y tapia pisada

Esta norma probablemente se centra en edificaciones patrimoniales, es decir, aquellas construcciones con valor histórico o cultural, especialmente de uno o dos pisos y construidas con materiales como adobe y tapia pisada.

- AIS 410-23 Evaluación y Reducción de la Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de Mampostería

Esta norma seguramente se enfoca en viviendas construidas con mampostería y tiene como objetivo evaluar y reducir la vulnerabilidad sísmica de estas estructuras.

- NTC 296 - Dimensiones modulares de ladrillos cerámicos:

Esta norma establece las dimensiones modulares para ladrillos cerámicos, proporcionando pautas para la fabricación y uso consistente en la construcción. Es fundamental para asegurar la uniformidad y la compatibilidad de los ladrillos en proyectos de construcción. (NTC, 2000)

- NTC 922 – Ladrillos silico-calcareos:

Se centra en ladrillos silico-calcareos, definiendo requisitos y especificaciones para estos materiales específicos. Esto incluye propiedades físicas y mecánicas que deben cumplir para garantizar su idoneidad en diversas aplicaciones de construcción. (NTC, 1975)

- NTC 3495 – Resistencia a la compresión de prismas de mampostería:

Esta norma establece métodos para evaluar la resistencia a la compresión de prismas de mampostería, proporcionando directrices para las pruebas y los requisitos mínimos de resistencia. Es esencial para garantizar la seguridad y la estabilidad de las estructuras construidas con mampostería. (NTC, 2003)

- NTC 4017 – Método de ensayo para unidades de mampostería de arcilla cocida y para para bloques y elementos de concreto utilizados en mampostería.:

Especifica los métodos de prueba para evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de mampostería de arcilla cocida, asegurando que cumplan con los estándares de calidad y resistencia necesarios para su uso en construcción. (NTC, 2005)

- NTC 4026 – Unidades bloques y ladrillos de concreto para mampostería estructural:

Enfocada en las unidades de bloques y ladrillos de concreto destinados a la mampostería estructural, esta norma establece requisitos para garantizar la calidad y la resistencia de estos materiales esenciales en la construcción. (NTC, 1997)

- NTC 4205 – Unidades de mampostería de arcilla cocida:

Esta norma se centra en las unidades de mampostería de arcilla cocida, proporcionando requisitos y especificaciones para garantizar su adecuación y rendimiento en proyectos de construcción. (NTC, 2000)

- ASTM C90 - Especificación para Bloques de Concreto para Mampostería:

Emitida por ASTM International, esta norma proporciona requisitos para la fabricación y prueba de bloques de concreto utilizados en aplicaciones de mampostería. (ASTM C 90, 1996)

- EN 771 - Especificación para Unidades de Mampostería de Concreto:

Esta norma europea establece los requisitos para las unidades de mampostería de concreto, incluyendo bloques y ladrillos, y abarca aspectos como dimensiones, propiedades mecánicas y métodos de prueba. (EN, 2016)

- ACI 318 - Código de Construcción de Concreto Estructural:

Publicado por el American Concrete Institute (ACI), este código incluye disposiciones sobre el diseño y la construcción de elementos de concreto estructural, lo que podría incluir bloques y ladrillos de concreto. (ACI, 2014)

- ISO 10628 – Regla de procesos de bloques y Ladrillos de Concreto:

Aunque no es específica para bloques y ladrillos, esta norma de la Organización Internacional de Normalización (ISO) proporciona una terminología común que puede ser relevante en el contexto de la construcción con bloques y ladrillos de concreto. (ISO-UNE-EN-10628, 2001)

Adicionalmente también se cuenta con el título D del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) el cual documenta lo relacionado con el diseño de la mampostería estructural. (NSR10, 2010)

En ella se puede encontrar los requerimientos mínimos de diseño y construcción que requieren las estructuras de mampostería con el fin de proteger la vida y en lo posible los bienes materiales. (NSR10, 2010)

En la norma se encuentra la mampostería estructural y como está la clasifica en diferentes tipos los cuales fueron:

- Mampostería de cavidad reforzada: En la *ilustración 3* se muestra la mampostería con cavidad reforzada la cual se caracteriza por tener un espacio o cavidad en su interior donde se coloca refuerzo estructural, como barras de acero, para mejorar su capacidad de carga y resistencia a esfuerzos sísmicos.

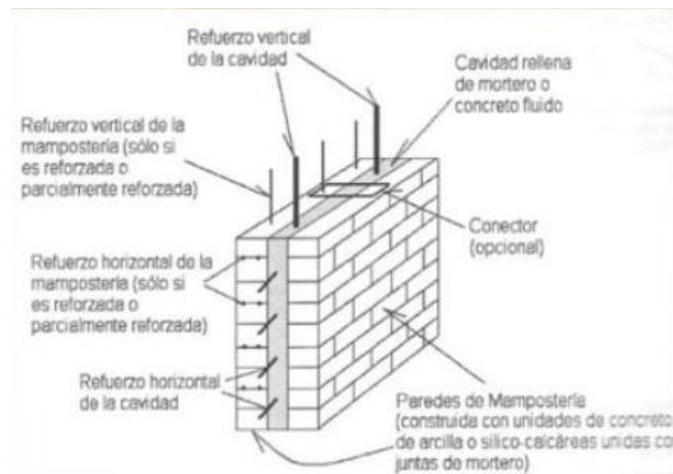


Ilustración 3 Mampostería de cavidad reforzada (http://blogguernuevo.blogspot.com/, 2016)

- Mampostería reforzada: En la *ilustración 4* se observa la mampostería reforzada, que es un método de construcción que utiliza piezas de mampostería perforadas dispuestas verticalmente y unidas mediante mortero, incorporando internamente barras y alambres de acero para mejorar su resistencia y estabilidad estructural.

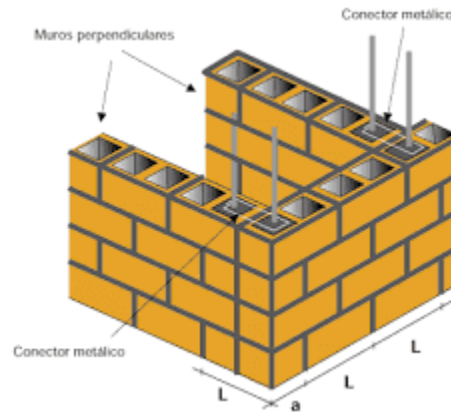


Ilustración 4. Mampostería reforzada (<http://blogguernuevo.blogspot.com/>, 2016)

- Mampostería parcialmente reforzada: En la *ilustración 5* se encuentra la mampostería parcialmente reforzada que son piezas de mampostería con perforaciones verticales que se unen mediante mortero y se refuerzan internamente con barras y alambres de acero. Solo las perforaciones verticales, que están reforzadas, reciben una inyección de mezcla de concreto fluido para alcanzar una capacidad moderada de disipación de energía en el rango inelástico

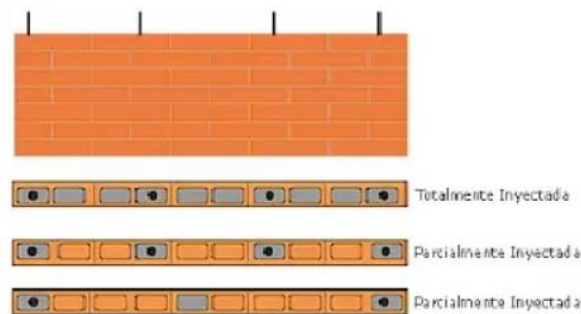


Ilustración 5. Mampostería parcialmente reforzada (<http://blogguernuevo.blogspot.com/>, 2016)

- Mampostería no reforzada: Como se ve en la *ilustración 6* la mampostería no reforzada se trata de una construcción a base de productos de mamposterías unidos mediante mortero de pega que no contienen la cuantía mínima de refuerzo para considerarse parcialmente reforzado



Ilustración 6. Mampostería no reforzada (Legis, 2021)

- Mampostería de muro confinado: En la *Ilustración 7* se puede observar como la mampostería de muro confinado se conforma por muros hechos de ladrillos unidos con mortero y confinados con columnas y vigas de concreto que han sido fundidas en el sitio

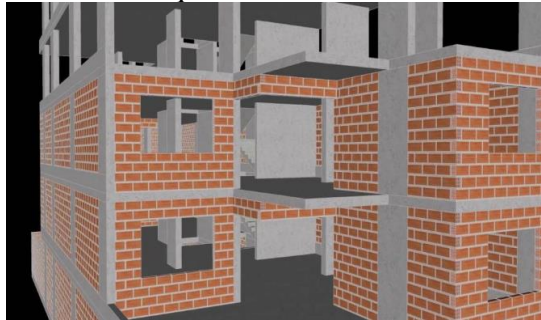


Ilustración 7. Mampostería de muro confinado (QUIROGA, 2023)

- Mampostería de muros diafragma: En la *ilustración 8* se muestra como la mampostería de muros diafragma son aquellos muros que se encuentran dentro de una estructura de pórticos restringiendo el desplazamiento de la estructura bajo cargas laterales

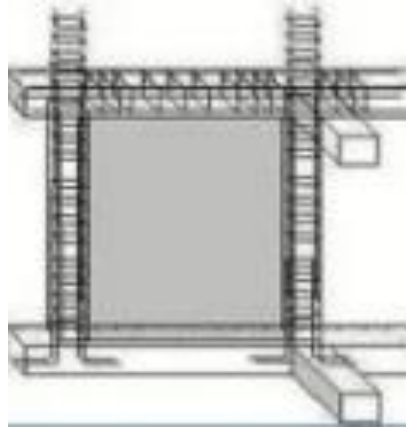


Ilustración 8. Mampostería de muros diafragma (QUIROGA, 2023)

- Mampostería reforzada externamente: En la *ilustración 9* se muestra como la mampostería reforzada externamente se trata de construcciones de mampostería donde el refuerzo se ubica de manera externa en un pañete fijada al muro con clavos o conectores



Ilustración 9. Mampostería reforzada externamente (Tiusaba, 2019)

CAPITULO 3: “LA ERA DORADA DE LA ALBAÑILERIA, GRANDES CIVILIZACIONES Y EL ORIGEN DE LA INDUSTRIA”

Desde las imponentes pirámides egipcias hasta las majestuosas estructuras mesoamericanas, esta era no solo define el ingenio humano, sino que también marca el inicio de una industria que ha evolucionado a lo largo de milenios. Explorar esta historia es sumergirse en los cimientos de la humanidad, descubriendo cómo la albañilería no solo erigió monumentos, sino que también forjó los pilares de la industria que transformaría el mundo.

En la *ilustración 10* se puede apreciar la gran variedad de bloques que existen y de los cuales se van a enfatizar



Ilustración 10. Tipos de bloques (Aceros Arequipa S.A, 2020)

3.1. BLOQUES DE ADOBE

Los bloques de adobe, elaborados con una mezcla de barro, arena, paja y agua, fueron durante mucho tiempo una técnica de construcción arraigada en la historia. Como se ve en la *ilustración 11* los bloques de adobe son moldeados en moldes de madera y secados al sol, estos bloques eran símbolos de la construcción sostenible. Este estudio indagó en la historia, composición y relevancia contemporánea de los bloques de adobe, resaltando su aporte a la arquitectura tradicional y su papel en la narrativa actual de la sostenibilidad.



Ilustración 11. Bloques de adobe (pereira, 2015)

3.1.1. HISTORIA UNIVERSAL

Los registros muestran que los primeros ladrillos en fabricarse datan del periodo Neolítico precerámico del Levante Mediterráneo, aproximadamente hacia el 9.500 a.C. (CICER, 2021)

Los primeros ladrillos fueron creados a partir de arcilla secada al sol, conocidos como adobe, caracterizados por su versatilidad al permitir su colocación con una sola mano. Inicialmente, se elaboraban mediante la extracción de barro del suelo, su posterior mezcla con agua, y su amasado para darle una forma más o menos rectangular, secándolos al sol. (CICER, 2021)

La siguiente gran innovación respecto al ladrillo fue la invención del molde como se aprecia en la *ilustración 12*, el cual le permitía a este tener siempre una forma deseada, las imágenes más antiguas que representan el uso del molde se encontraron en Tebas -Egipto y que datan del año 1450 a.C. (CICER, 2021)



Ilustración 12. Elaboración de ladrillos con molde (CICER, 2021)

Como se evidencia en la *ilustración 13* los egipcios, utilizaron ladrillos de barro secados al sol y piedra cortada para erigir estructuras monumentales como las pirámides. Estos ladrillos, aunque efectivos, eran más susceptibles a la erosión por humedad y al paso del tiempo. (CICER, 2021)



Ilustración 13. Pirámide de Micerinos (Geografic, 2020)

3.1.2. HISTORIA EN COLOMBIA

Es esencial comprender la evolución de los métodos constructivos ancestrales, ya que encierran el valor de las tradiciones y las manifestaciones culturales intrínsecas al uso del adobe como material de construcción. Municipios como Pore, fundado en 1644, y Nunchía, en 1655, han arraigado el adobe en sus edificaciones más antiguas, las cuales han resistido el paso del tiempo, demostrando su durabilidad y eficacia constructiva. Esto se refleja en las palabras de Morales-Calaviz:

"La arquitectura vernácula, al desarrollarse colectivamente por los nativos de una región, se basa en materiales locales que promueven la sostenibilidad, adaptándose eficientemente al clima y siendo fáciles de manejar en sistemas constructivos heredados de generaciones anteriores" (hernan rivera salcedo, 2021)

En Nunchía, enclavada en el piedemonte llanero, el adobe y la tapia pisada fueron materiales preponderantes en la construcción. Las viviendas mantienen su esencia tradicional, utilizando principalmente la tierra como base constructiva en el 56% de las edificaciones, mientras que el 39% opta por materiales industriales y el 4% por madera burda y zinc (Decreto DA0100.02.01.022, 2012). Aunque se ha integrado el uso de materiales industriales, la percepción local sobre el adobe permanece inalterada, a pesar de la interrupción en las construcciones por la falta de licencias. (hernan rivera salcedo, 2021)

La serenidad que se respira en este municipio, apodado "la tierra del duende", se fusiona entre calles empedradas y residencias erigidas en tapia pisada y adobe, como lo muestra la *ilustración 14*. Los lugareños, hombres y mujeres sencillos, reciben a los investigadores con amabilidad y comparten sus saberes empíricos sobre las construcciones autóctonas. (hernan rivera salcedo, 2021)



Ilustración 14. Casa con bloques de adobe (hernan rivera salcedo, 2021)

En Pore, se observa que en las viviendas urbanas se prefieren materiales como bloque o ladrillo para las paredes, zinc para los techos y cemento para los pisos. Mientras tanto, en las áreas rurales, las construcciones pueden parecer modestas a los ojos inexpertos, con

suelos de tierra, techos de paja y paredes de bahareque. Sin embargo, estas estructuras fueron idóneas para la habitabilidad. Esto refleja el arraigo cultural de los campesinos y su habilidad para utilizar los recursos naturales en la construcción tradicional, valorada por sus beneficios bioclimáticos y bioenergéticos, proporcionando un espacio seguro y confortable, especialmente en tiempos de conflictos armados en Colombia. (hernan rivera salcedo, 2021)

El adobe ha sido visto más como una expresión tradicional que como una práctica contemporánea en la arquitectura, llevándolo a un desuso. Esto se debe a la falta de una normativa nacional que respalde su uso y valide su idoneidad como material para la construcción de viviendas, tanto en áreas urbanas como rurales. (hernan rivera salcedo, 2021)

Las estadísticas del tercer Censo Nacional Agropecuario (CNA) realizado en Colombia por aproximadamente el 49,1 % de las viviendas ocupadas en áreas rurales dispersas del país utilizan materiales como bloque, ladrillo, piedra o madera pulida para sus paredes, seguidos por el adobe, la tapia pisada, o el bahareque con un 25,5 %. Estos datos han experimentado cambios, ya que entre 2005 y 2014 se observó un aumento en el uso de materiales industriales en detrimento de técnicas constructivas tradicionales como el adobe y la tapia pisada. (hernan rivera salcedo, 2021)

En Bogotá, hasta mediados del siglo XIX, el adobe, la tapia pisada, la madera y los adoquines fueron los materiales predominantes en la construcción urbana, destacándose en iglesias y cafueronas. Estos elementos, legados de la época colonial, han sido parte del patrimonio inmaterial de Colombia. Sin embargo, tras la independencia, la ciudad experimentó una pausa en su actividad constructiva, priorizando la restauración de estructuras existentes y limitando la ejecución de nuevas obras. Fue después de 1840 cuando la influencia de estilos y técnicas de construcción internacionales comenzó a hacerse más evidente, marcando un cambio en el panorama arquitectónico. (hernan rivera salcedo, 2021)

En la región de la Orinoquía colombiana, compuesta por los departamentos de Arauca, Casanare, Meta, Guaviare y Vichada, la vivienda típica es una fusión entre las estructuras indígenas y los modelos aportados por los jesuitas en el siglo XVII. Los materiales principales incluyen el adobe, el bahareque o la tapia pisada, techos de palma y detalles en madera para puertas y ventanas. (hernan rivera salcedo, 2021)

3.1.3. COMPOSICIÓN

Los bloques de adobe fueron una opción de construcción tradicional que se caracteriza por su composición simple y sostenible. La composición detallada de los bloques de adobe típicamente incluye los siguientes ingredientes:

- **Arcilla:** La arcilla es el componente principal de los bloques de adobe. Es un material natural que proporciona cohesión y plasticidad a la mezcla. La arcilla se extrae de depósitos locales o yacimientos de arcilla.

- **Limo:** El limo es otro componente importante que se mezcla con la arcilla. Contribuye a la textura y la trabajabilidad de la mezcla de adobe. El limo es más fino que la arena y ayuda a unir los otros materiales.
- **Arena:** La arena se agrega a la mezcla para mejorar la resistencia y la durabilidad de los bloques de adobe. La arena proporciona estabilidad a la estructura y evita la contracción excesiva durante el secado.
- **Paja o Fibra Vegetal:** Para aumentar la resistencia y la capacidad de aislamiento térmico de los bloques de adobe, a menudo se incorpora paja o fibra vegetal a la mezcla. Esto ayuda a prevenir la fisuración y a mejorar la cohesión.
- **Agua:** El agua se utiliza para mezclar todos los ingredientes y crear una pasta homogénea. La cantidad de agua se controla cuidadosamente para lograr la consistencia adecuada.

La proporción exacta de estos ingredientes puede variar según las preferencias locales y las condiciones del sitio, pero muchas veces es necesario combinar varios tipos. Es decir, se usa la tierra del lugar, pero añadiendo más arcilla cuando es pobre o añadiendo arena cuando es muy rica.

Esto con el fin de que los adobes tengan suficiente arena gruesa como para alcanzar una alta porosidad, y alta resistencia a la compresión con un mínimo de retracción. Pero a la vez deben contener suficiente arcilla para tener una buena cohesión que permita la manipulación de estos. (pereira, 2015)

3.1.4. FABRICACIÓN

La fabricación de bloques de adobe consiste en dos partes

Preparación del barro:

- Reúna suficiente tierra extraída de la cantera, eliminando piedras, desechos y materiales extraños.
- Si es necesario, tamice la tierra para lograr una granulometría adecuada que permita una mezcla uniforme del barro.
- Agregue agua y mezcle con palas hasta obtener una masa húmeda, amasándola enérgicamente.
- Si es necesario, añada paja al barro y continúe amasando hasta que la mezcla esté homogénea.

Preparación de los adobes:

- Prepare una superficie de secado limpia y nivelada, protegida del sol, y espolvoree arena en su superficie.

- Limpie y humedezca las gabereras antes de cada uso.
- Espolvoree arena en la superficie interior húmeda de las gabereras para facilitar el desmolde.
- Tome una cantidad de masa proporcional al volumen del molde y llénelo uniformemente con fuerza.
- Nivele la superficie de la masa en el molde y retire los excesos con una regla previamente humedecida.
- Lleve la gabera llena al área de secado y, con un golpe seco, desmolde volcándola sobre la superficie de secado.

Existen tres métodos de fabricación de adobes los cuales fueron los siguientes

- **Técnica de lanzado:** La técnica del lanzado implica la mezcla de barro arenoso con agua, a menudo se agrega paja cortada, y la mezcla se lanza con fuerza en el molde. Cuanto mayor sea la fuerza empleada al lanzar el barro en el molde, mejor será la compactación y, por ende, la resistencia del adobe resultante. La superficie se iguala con la mano como se parecía en la *ilustración 15*, una madera, una paleta o un alambre. En promedio, una perfuerona puede producir alrededor de 300 adobes por día, lo que incluye la preparación de la mezcla, el transporte y el apilado de los bloques.



Ilustración 15. Uniformidad de los bloques (pereira, 2015)

- **Prensa manual:** Las prensas manuales generan una presión que varía entre 0.5 y 2.5 MPa y su operación requiere de 3 a 5 perfueronas. Aunque el rendimiento es menor en comparación con el método completamente manual como se ve en la *ilustración 16*, permiten producir entre 150 y 200 unidades por perfuerona al día. Una ventaja significativa de este enfoque es la capacidad de utilizar una menor cantidad de agua en la mezcla, lo que facilita el almacenamiento inmediato y reduce la retracción. Sin embargo, la desventaja

radica en la necesidad de estabilización con cemento (generalmente entre el 4% y el 8%) para alcanzar una resistencia suficiente. Esto se debe a que la capacidad aglomerante de la arcilla no se activa con tan bajo contenido de agua.



Ilustración 16. Prensa manual (pereira, 2015)

- **Prensa automática:** Existen prensas completamente automáticas como la que se aprecia en la *ilustración 17*, capaces de producir entre 1500 y 4000 bloques por día, aunque su adquisición puede ser costosa y su mantenimiento complicado. Estas prensas requieren una mezcladora y una trituradora para garantizar una mezcla constante de materiales.



Ilustración 17. Prensa automática (pereira, 2015)

3.2. BLOQUES DE TAPIA PISADA

La tapia pisada, una técnica ancestral de construcción, como se muestra en la *ilustración 18* consiste en fusionar tierra, agua y compactación para formar bloques robustos y perdurables. Este método, arraigado en la tradición, ha demostrado su eficacia a lo largo del tiempo, destacando su importancia en la construcción sostenible. Esta investigación explora los aspectos históricos, composición y aplicaciones contemporáneas de los bloques de tapia pisada, resaltando su papel tanto en el legado arquitectónico como en las soluciones modernas de construcción eco-amigables.



Ilustración 18. Bloque de tapia pisada (ACOSTA, 2020)

3.2.1. TRAVESIA EN EL ESCENARIO MUNDIAL

La Tierra ha sido un material fundamental en la construcción tradicional a lo largo de la historia. Desde las antiguas civilizaciones como persas, asirios, egipcios y babilonios, hasta regiones como China, Grecia y Roma, así como en los pueblos del mar Mediterráneo que influyeron en la civilización española, la tierra pisada ha sido una base sólida y duradera. (Patiamarillos, 2019)

A lo largo de la historia de la civilización, la tierra arcillosa ha sido un material fundamental en la construcción. Desde los primeros vestigios en el Neolítico, en las regiones de Mesopotamia entre los ríos Tigris y Éufrates, hasta las primitivas ciudades de Persia, Siria y Jericó, la técnica de construcción con tierra ha dejado su huella.

En China, las culturas Yangshao y Longshan utilizaron la tierra pisada, una técnica que perdura en el país, evidenciada en partes de la Gran Muralla. En el norte y este de África, países como Yemen, Marruecos e Irán continúan empleando la tapia pisada y el adobe, esto se puede ver en la *ilustración 19* estos métodos que requieren poca tecnología. (Trujillo, 2015)



Ilustración 19. Casa de Barro en Togo (Trujillo, 2015)

La antigua práctica de compactar la tierra arcillosa golpeándola con un pisón dentro de un encofrado de madera, conocida como tapia en Iberoamérica y tapial en España, fue utilizada incluso por los antiguos romanos.

Las culturas indígenas en América han empleado materiales naturales para construir, destacando el uso de la tierra, esto se puede apreciar en la *ilustración 20*. Durante la llegada de los españoles al continente, encontraron construcciones en tierra y bahareque en diversas regiones.



Ilustración 20. Tierradentro (Trujillo, 2015)

3.2.2. RELATO EN TIERRA COLOMBIANA

En la época colonial de Colombia, los españoles introdujeron la técnica de la Tapia Pisada en América. Sin embargo, en el territorio colombiano, los indígenas Chibchas en el interior y los Guanes en Santander ya utilizaban la tierra en sus construcciones primitivas, evidenciando una conexión ancestral con esta técnica. (Patiamarillos, 2019), resurgió la costumbre indígena de utilizar tierra en la construcción de casas y templos, convirtiéndose en la técnica más popular entre los españoles. Aunque también se empleaba el bahareque, las construcciones de prestigio se erigían principalmente con tapia pisada, con muros de

hasta un metro de espesor en un principio, y posteriormente más delgados, alrededor de cuarenta o cincuenta centímetros, como se aprecia en la imagen 21.

Durante el periodo colonial y republicano, el maestro tapiador era el albañil por excelencia, un hábil artesano que trabajaba junto a asistentes y peones, encargados de transportar, preparar y compactar la tierra.



Ilustración 21. Amacillado de la tierra (Patiamarillos, 2019)

El entorno natural del Cañón del río Chicamocha y del Suárez, que constituía una ruta comercial importante durante la colonia, proporcionaba la tierra ideal, como se ve en la *ilustración 23* el límite elástico de la tierra era ideal para la construcción en tapia, junto con piedra y madera como materiales complementarios. Esta combinación estimuló la edificación de numerosos pueblos con arquitectura colonial, basada en la explotación de la mano de obra indígena y de negros esclavizados. (Patiamarillos, 2019)



Ilustración 22. Vista de límite elástico de la tierra (Patiamarillos, 2019)

La construcción en tapia pisada representa una valiosa herencia ancestral que ha perdurado a lo largo de los años, aunque su práctica ha ido disminuyendo. Pueblos emblemáticos como Barichara, Girón, San Gil, y el mercado campesino de Los Santos, entre otros en Santander, fueron testigos de la durabilidad de las casas construidas mediante esta técnica.

Estas construcciones perduran en el tiempo, erigiéndose con la intención de ser heredadas a generaciones sucesivas, incluyendo hijos, nietos, bisnietos y más, trascendiendo así a través de la historia familiar, como se ve en la *ilustración 24* el armado de la formaleta requiere de varias personas lo cual generaba un mayor aprecio por la edificación. (Gélvez., 2020)



Ilustración 23. Armado de formaleta (Patiamarillos, 2019)

La esencia de estas edificaciones radica en sus muros robustos, compuestos por tierra, madera y la pericia del constructor. Barichara como se muestra en la *ilustración 25* posee una gran cantidad de casas elaboradas con tapia pisada, lo cual hace que se destaque como un ejemplo de esta tradición, siendo reconocido como el "pueblito más bonito de Colombia". Sus habitantes han contribuido a la estética del lugar, utilizando la tierra de la región con sus atractivos colores amarillos, rojizos y marrones. (Gélvez., 2020)

Ramón Atuesta Neira, residente de la vereda El Guayabal de Barichara, es un campesino cuya vida ha estado ligada a la construcción en tapia pisada y a la teja ancestral desde su infancia, siguiendo la tradición familiar. (Gélvez., 2020)

Según Ramón, el proceso de construcción comienza con la selección de la tierra, donde todos los tipos y colores de tierra fueron aprovechables. La tierra amarilla característica de la región es conocida localmente como "patiamarilla". Ramón explica el método de humedecer la tierra, obteniéndola del barranco y ajustando la humedad mediante un proceso cuidadoso. (Gélvez., 2020)



Ilustración 24. Casas de tapia pisada (Gélvez., 2020)

Para iniciar la construcción de los tapiales, la tierra debe estar en el punto adecuado de humedad. Ramón detalla el uso de una especie de cabina en madera, el tapial, compuesto por dos hojas rectangulares, seis agujas que sostienen la base, seis banderas o costados que evitan que el tapial se ensanche en la base, y dos compuertas que determinan el grosor de los muros. Además, se emplean lazos, nuqueros y codales para asegurar la estructura y una plomada que garantiza la perpendicularidad del muro. (Gélvez., 2020)

La labor del tapiero implica el uso de todo el cuerpo, moviéndose constantemente para compactar la tierra y lograr un muro sólido, también como se muestra en la *Ilustración 25* se opta por utilizar animales para pisar la tierra. Este proceso puede parecer un ritual, con los hombres pisando con fuerza la tierra húmeda, una pierna después de la otra. (Gélvez., 2020)



Ilustración 25. Pisado de la tierra con apoyo de animales (Patiamarillos, 2019)

Barichara alberga a tapieros, a maestros de la construcción en tapia pisada, y a arquitectos comprometidos con la promoción de esta técnica como se muestra en la *Ilustración 26*. Este pequeño grupo sigue siendo parte integral del encanto de Barichara, siendo portadores vivos de la herencia de la construcción en tierra amarilla. (Gélvez., 2020)



Ilustración 26. Casa en Barichara

3.2.3. COMPOSICIÓN

Los bloques de tapia pisada se componen principalmente de tres elementos:

- **Tierra:** La tierra es el componente principal de estos bloques. Se utiliza tierra de buena calidad, generalmente arcillosa o limosa, que proporciona cohesión y resistencia a los bloques una vez compactados.
- **Agua:** El agua se agrega a la tierra para crear una mezcla húmeda que facilita la compactación y la unión de las partículas de tierra.
- **Refuerzos naturales:** En algunos casos, se pueden agregar refuerzos naturales, como fibras vegetales (como la paja) o aditivos como la cal, para mejorar la resistencia y la durabilidad de los bloques.

Las cantidades de los materiales que conforman la tierra pueden variar de acuerdo con las condiciones geográficas y a los proveedores, pero por lo general la tierra empleada tiene las siguientes cantidades

- Gravillas: 0 al 15%
- Arenas: 40 al 50%
- Limos: 20 al 35%
- Arcillas: 15 al 25%

3.2.4. FABRICACIÓN

El proceso de fabricación de bloques de tapia pisada implica varios pasos:

- **Selección de la tierra:** Se elige una tierra de buena calidad, generalmente arcillosa o limosa, que proporcionará cohesión y resistencia a los bloques una vez compactados.
- **Compactación:** Una vez preparada la mezcla y montado el encofrado, se aplica un mortero de nivelación compuesto por cal y arena en los bordes para evitar que la tierra se escape por las juntas y mejorar el acabado final. Luego, se vierte la tierra húmeda en capas de 15 a 20 cm y se inicia el proceso de compactación con un pisón que se aprecia ilustración 27.

Este proceso continúa hasta que el pisón deje de dejar marcas en la tierra y se repite hasta alcanzar la parte superior de la formaleta.



Ilustración 27. Pisón para tapia pisada (ACOSTA, 2020)

- **Desmoldeado:** Una vez que los bloques se han compactado adecuadamente, se desmoldan como se aprecia en la ilustración 28 y se dejan secar al sol o en un ambiente controlado. El secado es esencial para que los bloques adquieran la resistencia necesaria.

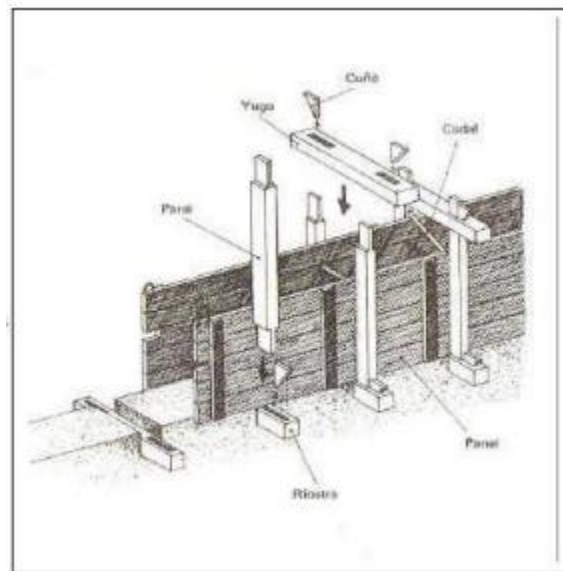


Ilustración 28. Formaleta para tapia pisada (ACOSTA, 2020)

3.3. LADRILLOS DE ARCILLA COCIDA

Este tipo de ladrillo es el más frecuente en su uso, elaborado de manera manual sin presentar perforaciones y con una superficie de aspecto rústico. Su aplicación principal se encuentra en proyectos constructivos de naturaleza más simple y tosca, donde no se requiere una gran capacidad de soporte estructural, lo que lo excluye como opción adecuada para edificaciones residenciales.

3.3.1. RECORRIDO A LO LARGO DE LOS TIEMPOS

La era del ladrillo cocido se inicia alrededor del 3.500 a.C. mediante la cocción que otorgaba una solidez similar a la piedra, pero con la versatilidad de poder moldearse antes del proceso de cocción. La fabricación de ladrillos resultaba más rápida y económica que tallar piedras, lo que convirtió al ladrillo cocido en un bien altamente valorado. Inicialmente, debido a su costo elevado, se reservaba para la edificación de templos y palacios, llegando a ser hasta 30 veces más costoso que los ladrillos de barro. Con el paso del tiempo, la producción en serie de ladrillos comienza a través de hornos industriales, marcando un hito en su fabricación. (CICER, 2021)

Las técnicas de construcción con ladrillos han evolucionado a lo largo de milenios y han sido esenciales en el desarrollo arquitectónico de diversas civilizaciones.

El imperio persa, en su apogeo durante los siglos VI a.C., presentó la técnica del esmaltado, creando ladrillos decorativos para embellecer muros de edificaciones de gran relevancia, dicha técnica se puede apreciar en la ilustración 29. Este innovador método empleaba arena y cal en lugar de arcilla. Tras una primera cocción, los ceramistas trazaban los contornos de las figuras con esmalte azul y llevaban a cabo una nueva cocción. Luego, rellenaban las figuras con colores elegidos y procedían a una última cocción. Estos ladrillos destacaban por sus vivos brillos y colores, como rojo, azul y negro. Posteriormente, surgió el estilo artístico mudéjar, donde el ladrillo se convirtió en el material estrella, empleado tanto con fines decorativos como constructivos. Este estilo se desarrolló en los reinos cristianos de la península ibérica, fusionando influencias, elementos y materiales del estilo hispanomusulmán. (CICER, 2021)



Ilustración 29. El friso de los arqueros (CICER, 2021)

En Mesopotamia, los sumerios, babilonios y asirios innovaron con la fabricación de ladrillos cocidos, empleando arcilla y limo en la elaboración de ladrillos más resistentes y uniformes. Esta técnica dio lugar a la construcción de impresionantes zigurats y murallas como se ve en la ilustración 30, mostrando un avance significativo en la durabilidad y estandarización de los materiales de construcción. (CICER, 2021)

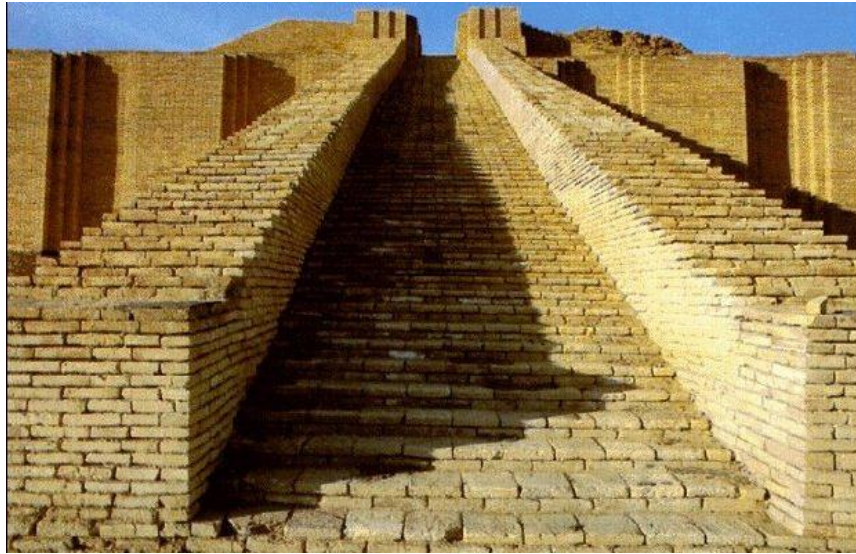


Ilustración 30. Zigurat de Ur (Geografic, 2020)

La Antigua Roma en uso del ladrillo data de aproximadamente el siglo III a.C., los romanos famosos por su ingeniería perfeccionaron la fabricación de ladrillos utilizando arcilla y hornos para producir bloques uniformes y duraderos. Estos ladrillos romanos se convirtieron en elementos fundamentales para la construcción de acueductos como el que se ve en la ilustración 31, puentes y edificios emblemáticos. (CICER, 2021)



Ilustración 31. Acueducto romano (Geografic, 2020)

En China, durante milenios, más específicamente alrededor del año 4400 A.C. se usaron ladrillos cocidos, con agregados como arroz como lo representa la *ilustración 32* o paja en la mezcla para aumentar su durabilidad. Estos ladrillos contribuyeron a la creación de murallas, templos y otras estructuras notables. (media, 2023).

En China, durante milenios, más específicamente alrededor del año 4400 A.C. se usaron ladrillos cocidos, con agregados como arroz o paja en la mezcla para aumentar su

durabilidad. Estos ladrillos contribuyeron a la creación de murallas, templos y otras estructuras notables. (media, 2023).



Ilustración 32. Ladrillos con arroz (ERTL, 2016)

Cada civilización adaptó y refinó las técnicas de fabricación de ladrillos según sus recursos locales, necesidades estructurales y avances tecnológicos disponibles, dejando un legado diverso y trascendental en la historia de la ingeniería (media, 2023).

Sobre la edad contemporánea se inventó un horno que revolucionó la producción de los ladrillos, el horno HOFFMAN (llamado así por su inventor Friedrich Hoffman), presentado en la *ilustración 31* permitía que simultáneamente se realizara la cocción, la introducción y la extracción de los materiales, lográndose además un ahorro de combustible, características que los hornos ordinarios no poseían (CICER, 2021)



Ilustración 33. Horno Hoffman (CICER, 2021)

Durante la Revolución Industrial (1760-1840), la fabricación de ladrillos experimentó un cambio significativo. El desarrollo de la maquinaria y la industrialización de los procesos de producción permitieron una mayor eficiencia en la fabricación de ladrillos. (finanzasparatodos, 2010)

- Métodos de producción mejorados: La introducción de hornos más grandes y eficientes permitió cocer una mayor cantidad de ladrillos a la vez, aumentando la producción y reduciendo los costos. La mecanización de los procesos de fabricación, como la extracción de arcilla, el moldeado y el secado, también aumentó la eficiencia. (finanzasparatodos, 2010)
- Variedad de diseños y tamaños: La industrialización permitió una mayor diversidad en los diseños y tamaños de ladrillos. La estandarización de los procesos industriales posibilitó la creación de ladrillos más uniformes y de mayor calidad. (finanzasparatodos, 2010)
- Expansión de la construcción: El aumento en la producción de ladrillos contribuyó al auge de la construcción de viviendas y estructuras. El desarrollo de ferrocarriles y otros medios de transporte facilitó la distribución de ladrillos a áreas más remotas, impulsando la urbanización y la expansión de ciudades. (finanzasparatodos, 2010)

Durante esta época, además de la evolución en la fabricación de ladrillos, surgieron otros materiales de construcción que revolucionaron la industria de la edificación.

- Acero: La producción de acero a gran escala permitió la construcción de estructuras metálicas, como puentes y rascacielos, cambiando radicalmente el panorama de la arquitectura y permitiendo edificaciones más altas y resistentes.
- Vidrio: Los avances en la fabricación de vidrio durante esta época permitieron su uso extensivo en la arquitectura, mejorando la iluminación de interiores y permitiendo la construcción de fachadas más transparentes.
- Hierro fundido: Junto con el acero, el hierro fundido se usó en la construcción de estructuras y ornamentos arquitectónicos, brindando una mayor flexibilidad en el diseño y permitiendo la creación de elementos decorativos.

En Latinoamérica, hacia finales de los años 20 del siglo pasado, se presentó el ladrillo hueco, una innovación que revolucionó la industria. Este tipo de ladrillo, con sus perforaciones internas longitudinales, logró disminuir el material y el peso, simplificando su instalación y reduciendo los costos. Además, estas cavidades internas proporcionaron una mejor capacidad de aislamiento térmico y acústico. Desde entonces, los fabricantes han diversificado estos ladrillos huecos en diversas dimensiones como los que se aprecian en la *ilustración 34*, para adaptarse a variadas aplicaciones constructivas: ladrillos portantes, ladrillos de doble muro, ladrillos de cerramiento, ladrillos de techo, ladrillos termo eficientes (CICER, 2021)

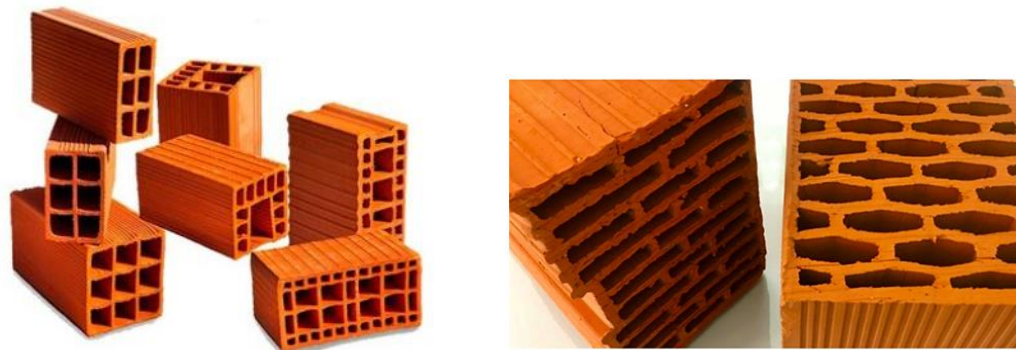


Ilustración 34. Tipos de ladrillos huecos (CICER, 2021)

3.3.2. INICIOS Y EVOLUCIÓN EN SUELO COLOMBIANO

Durante el siglo XVI, Bogotá vio los primeros intentos de fabricación de ladrillos, aunque su uso no prosperó en la época colonial debido a métodos de producción frágiles y costosos. No fue hasta mediados del siglo XIX cuando apareció la primera fábrica moderna, mejorando la calidad del ladrillo. En las décadas de 1890 y 1900, su uso se popularizó en Bogotá, fomentando la creación de más fábricas modernas sin reemplazar por completo la producción artesanal. San Cristóbal se convirtió en un epicentro tanto de la producción industrial como artesanal de ladrillos en la región. (Sarmiento, 2019).

Los chircales, emblemas de la producción artesanal de ladrillos y cerámica, fueron referentes históricos en Bogotá. Su nombre, derivado del arbusto chirco, abundante en los cerros locales, marcó estos espacios donde se elaboraban ladrillos y productos cerámicos. Este legado se remonta a tiempos prehispánicos, evidenciado por hallazgos arqueológicos y la continuidad de la tradición alfarera en Boyacá. (Sarmiento, 2019)

La influencia española introdujo técnicas constructivas basadas en la alfarería, promoviendo el uso de tejas y ladrillos. En Bogotá, los chircales se establecieron en los cerros, distantes de las zonas residenciales, siendo reservorios de materiales para la elaboración de estos elementos durante los tres siglos de la época colonial. (Sarmiento, 2019)

A partir de mediados del siglo XIX, los chircales experimentaron un notable aumento en el suroriente bogotano, generando preocupación por la magnitud de su actividad productiva. Hacia finales de ese siglo, esta proliferación se transformó en un problema sanitario para Bogotá, dado que la extracción de arcillas afectaba significativamente el suministro de agua en la ciudad. En las acciones emprendidas por las autoridades municipales para abordar la crisis del abastecimiento de agua, se encuentran referencias explícitas a la problemática de los chircales. (Sarmiento, 2019)

El Concejo Municipal solicitó al director del ramo de aguas que elaborara un informe detallado sobre la situación del suministro de líquido en la ciudad. José Segundo Peña presentó este informe en 1897, destacando que, desde mediados del siglo XIX, especialmente a partir de la década de 1890, se habían registrado varios deslizamientos entre Guadalupe y el alto de Vitelma debido a la erosión generada por "los socavones y hoyos para extraer arena y pozos de chircales". La actividad erosiva de los chircales ya era una preocupación apremiante para las autoridades municipales, ya que implicaba un riesgo inminente de deslizamientos, afectando no solo a determinadas zonas de la ciudad sino también a los viajeros que transitaban por los caminos a la sombra de los cerros. Como respuesta a esta inquietud, se emitió el Acuerdo Municipal 29 de 1894 donde se prohibió. (Sarmiento, 2019)

la explotación de canteras de cualquiera naturaleza en la zona alta y oriental de la Ciudad, comprendida entre "El Arroyo de la Vieja", en Chapinero, y el "Alto de Vitelma" en el camino de San Cristóbal, sin que se haya solicitado la correspondiente licencia del Señor alcalde. (Sarmiento, 2019)

En 1914, el ingeniero Miguel Triana divulgó un folleto que compilaba varios de sus escritos acerca de la reforestación de las cuencas hidrográficas y el suministro de agua para Bogotá, con la aspiración de que sus ideas fueran aplicables a otras localidades. En este documento,

Triana señalaba que uno de los principales obstáculos para la revitalización de los ríos de la ciudad residía en el elevado consumo de leña y carbón por parte de las industrias ladrilleras. Su estudio sobre este tema presentaba una estadística detallada de los productores ubicados en los "barrios alfareros de Bogotá" ver la tabla a continuación. Entre los 85 establecimientos alfareros registrados, 59 estaban situados en la zona suroriental de la ciudad. Específicamente, San Cristóbal y Las Cruces albergaban casi el 70 % de todos los chircales y tejares de Bogotá, controlando más del 65 % de la producción total de ladrillos, tejas y tubos. (Sarmiento, 2019)

La *tabla 1* muestra las diferentes localidades que contaban con ladrillera y su cantidad, junto con la cantidad de piezas que se producían en una semana, se puede observar la superioridad que tenía la ladrillera de san Cristóbal mostrada en la *ilustración 35*, respecto a las demás, produciendo más del doble de piezas

Tabla 1. Empresas alfareras y tejares de Bogotá para 1914 (Sarmiento, 2019).

Ubicación	Número de empresas	Cantidad de hornos	Piezas producidas*
Chapinero	13	32	442.500
Sucre	8	21	482.000
Santa Bárbara	5	10	103.000
Las Cruces	59	132	1.941.000
San Cristóbal			

“Miguel Triana, La arborización y las aguas. Artículos escritos para Bogotá, pero que fueron también aplicables a otras poblaciones de la República (Bogotá: Casa Editorial de El Liberal, 1914) 20-21. Es casi seguro que en esta tabla aparecen registradas fábricas como Tubos Moore y Calvo, al igual que los pequeños chircales artesanales.”
 (Sarmiento, 2019)



Ilustración 35. Ladrillera San Cristóbal (Sarmiento, 2019)

Un segundo momento, hacia finales del siglo XIX y principios del XX, marcó un cambio significativo en la industria al abandonar el uso de chircos como combustible y adoptar el carbón en los hornos, transformando la producción de manera más industrializada. (Zorro, 2019).

En el contexto de la transición de métodos de producción artesanal a la industrialización en el siglo XIX y principios del XX en la fabricación de ladrillos en Bogotá, varias razones contribuyeron a este cambio significativo: (Sarmiento, 2019)

- **Eficiencia y Escala de Producción:** Con el advenimiento de tecnologías industriales, como el uso de hornos más eficientes y la introducción de maquinaria, las fábricas podían aumentar la producción a una escala mucho mayor que los métodos artesanales. Esto permitió satisfacer la creciente demanda de materiales de construcción en un período de rápido crecimiento urbano e industrial. (Sarmiento, 2019)
- **Reducción de Costos:** La industrialización trajo consigo métodos de producción más eficientes y costos más bajos en comparación con las técnicas artesanales. La adopción de nuevas tecnologías permitió una producción en masa, lo que resultó en una disminución de los costos unitarios de fabricación de ladrillos. (Sarmiento, 2019)
- **Innovación en Hornos:** La transición hacia hornos más avanzados, como el horno Hoffman mencionado anteriormente en el contexto global, permitió una cocción más controlada y eficiente de los ladrillos. Esto no solo mejoró la calidad del producto final, sino que también redujo el tiempo de producción, aumentando así la eficiencia. (Sarmiento, 2019)
- **Cambio en la Fuente de Energía:** El abandono del uso de "chircos" como combustible y la adopción del carbón en los hornos representó un cambio significativo. El carbón ofrecía una fuente de energía más consistente y poderosa, lo que mejoraba la capacidad de cocción de los ladrillos y contribuía a la mecanización de los procesos. (Sarmiento, 2019)
- **Demanda del Mercado:** Con el crecimiento de la población y la urbanización, la demanda de materiales de construcción, incluidos los ladrillos, aumentó considerablemente. Las fábricas industriales podían responder más eficientemente a esta demanda creciente en comparación con los métodos artesanales. (Sarmiento, 2019)

3.3.3. COMPOSICIÓN

La arcilla utilizada para elaboración de ladrillo se define como la mezcla de minerales y sustancias coloidales que se han originado a través de la descomposición química de minerales aluminosos en un proceso de envejecimiento geológico del planeta. (CEAC, 1990)

Entre los muchas componentes se destaca el contenido de sílice y alúmina dentro de los materiales lo cual hace que la composición química de los minerales de la corteza terrestre y la mayoría de las arcillas sean muy similares entre ellos como se muestra en la tabla 2 (CEAC, 1990)

Tabla 2. Comparación entre el contenido químico de la corteza terrestre y la arcilla roja común (CEAC, 1990)

Componente	Corteza Terrestre (%)	Arcilla Roja Común (%)
SiO ₂	59.14	57.02
Al ₂ O ₃	15.34	19.15
Fe ₂ O ₃	6.88	6.70
MgO	3.49	3.08
CaO	5.08	4.26
Na ₂ O	3.84	2.38
K ₂ O	3.13	2.03
H ₂ O	1.15	3.45
TiO ₂	1.05	0.91

Entre las arcillas se encuentra el caolín que es un tipo de arcilla debido a su mayor contenido de sílice y alúmina. Pero entre muchas otras se pueden encontrar impurezas tales como el cuarzo que disminuye la plasticidad y la retracción y contribuye a hacerla refractaria, materia orgánica la cual puede quemarse durante el proceso de cocción de la arcilla, lo que puede provocar fisuras y debilitando las piezas.

La arcilla utilizada para los ladrillos posee las siguientes propiedades físicas:

Contracción: se refiere a la reducción en las dimensiones de un material al perder humedad durante su proceso de secado o endurecimiento. (CEAC, 1990)

La clasificación de los ladrillos se basa en la cantidad y disposición de sus huecos en la superficie de asentamiento. Se dividen en unidades sólidas o macizas, huecas y tubulares, según su estructura interna y la distribución de estas perforaciones. (CANO LAGOS, 2015)

- Huecas: en la ilustración 36 se presentan las unidades huecas y las unidades perforadas, estas cuentan con perforaciones perpendiculares a la superficie de asiento que representan más del 25% del área bruta

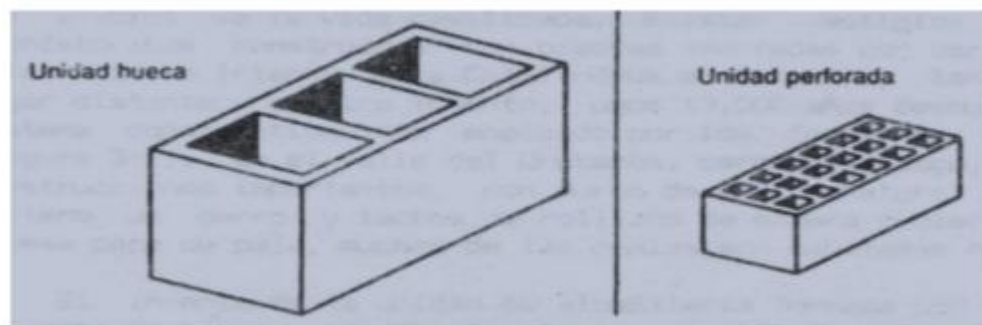


Ilustración 36. Unidades huecas y perforadas (CANO LAGOS, 2015)

- Sólidas o Macizas: las unidades macizas son aquellas que cuentan con perforaciones perpendiculares a la superficie de asiento que cubren un área menor al 25% del área de la sección bruta como se muestra en la ilustración 37.

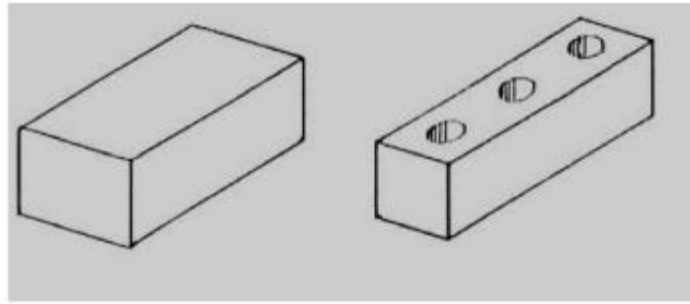


Ilustración 37. Unidades macizas (CANO LAGOS, 2015)

- Tubulares: Las unidades tubulares son elementos con perforaciones paralelas a la superficie de asiento, y no tienen restricciones de área, como se muestra en la Ilustración 38. Este tipo de unidad se utiliza comúnmente en la construcción de tabiques y sigue un estándar tradicional.

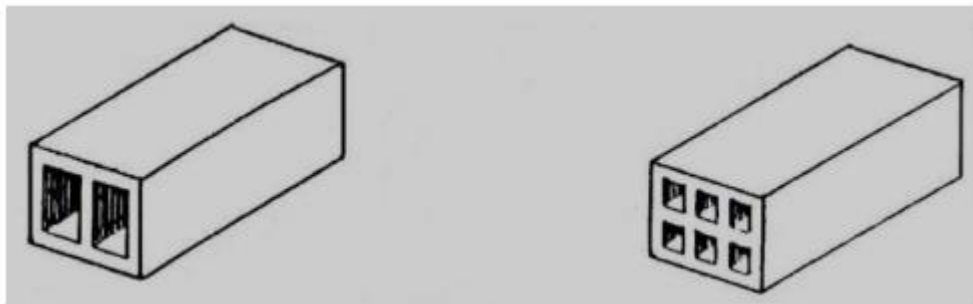


Ilustración 38. Unidades tubulares (CANO LAGOS, 2015)

3.3.4. FABRICACIÓN

En la actualidad, en cualquier fábrica dedicada a la producción de ladrillos, se ejecutan una serie de procesos estandarizados que abarcan desde la selección del material arcilloso hasta la etapa final de empaquetado. Esta cadena de procesos ha experimentado una notoria evolución en los últimos años, haciendo que la transformación de la arcilla, compuesta por sílice, agua, alúmina, óxido de hierro y magnesio, en un ladrillo sea más eficiente en la actualidad. (CANDO, 2023)

El proceso de manufactura de un ladrillo se desglosa en las siguientes etapas:

1. Extracción de la materia prima: Se realiza la extracción y transporte de la arcilla, componente esencial en la fabricación de ladrillos, desde la zona de extracción hasta las áreas de producción.
2. Maduración: Previo a su inclusión en el ciclo productivo, la arcilla pasa por tratamientos de trituración, homogeneización y reposo a la intemperie, con el propósito de lograr una consistencia adecuada y uniformidad en las características físicas y químicas deseadas.
3. Tratamiento mecánico preliminar: Involucra una serie de operaciones destinadas a purificar y refinar la materia prima. Instrumentos como el eliminador de piedras, el desintegrador y el laminador refinador fueron empleados en esta fase:

- Eliminador de piedras: Reduce las dimensiones de los terrones.
 - Desintegrador: Tritura terrones más grandes, duros y compactos.
 - Laminador refinador: Se trituran los últimos nódulos que pudieran estar en el interior del material.
4. Depósito de materia prima procesada: El material se deposita en silos especiales y techados, donde experimenta un proceso final de homogeneización tanto física como químicamente.
 5. Humidificación: La arcilla se retira de los silos y se transporta a un laminador refinador, luego pasa a un mezclador humedecedor donde se agrega agua para alcanzar la humedad precisa.
 6. Moldeado: Se lleva a cabo al pasar la arcilla a través de una boquilla para obtener la forma deseada. Este procedimiento se realiza en caliente, utilizando vapor saturado a aproximadamente 130°C y a presión reducida, garantizando una humedad uniforme y una masa compacta.
 7. Secado: Una de las fases más críticas del proceso, ya que influye en gran medida en el resultado y calidad del material. El secado tiene como objetivo eliminar el agua añadida durante el moldeado, preparando el material para la siguiente fase de cocción.
 8. Cocción: Se lleva a cabo en hornos de túnel, donde la temperatura oscila entre 900°C y 1000°C. Durante este proceso, la temperatura varía de manera continua y uniforme, provocando la sinterización, crucial para la resistencia final del ladrillo.
 9. Almacenaje: Previo al embalaje, se forman paquetes sobre pallets para facilitar el transporte con carretillas. El embalaje implica envolver los paquetes con cintas de plástico o metal, permitiendo su almacenamiento y transporte de manera eficiente. (CANDO, 2023)

CAPITULO 4: “EVOLUCION Y DESCRUBRIMIENTOS EN SIGLOS ANTERIORES”

4.1. BLOQUES DE CONCRETO

Los bloques de concreto son un tipo de bloque que se fabrica a partir de una mezcla de cemento, arena, agua y otros agregados. Estos bloques destacan por su resistencia y durabilidad, convirtiéndolos en la elección ideal para la construcción de estructuras que demandan una gran fortaleza, como muros, columnas y cimientos. (BLOQUES.ORG, 2023)

4.1.1. DESDE LOS INICIOS CON EL CEMENTO, UNA HISTORIA ANTIGUA

La historia del cemento es ancestral y su aplicación ha evolucionado a lo largo del tiempo, convirtiéndose en un elemento fundamental para las grandes obras de vivienda e infraestructura que han marcado momentos clave en la historia de la humanidad. (ARGOS, 2023)

Hallazgos arqueológicos revelan que las primeras evidencias del uso de mezclas cementantes se remontan a los años 7000 y 6000 a.C. en las regiones de Israel y la antigua Yugoslavia, respectivamente. En estos lugares, se descubrieron vestigios de los primeros pisos de concreto elaborados a partir de calizas calcinadas. (ARGOS, 2023)

Hacia el año 2500 a.C., en la construcción de las pirámides de Giza en Egipto, se emplearon mezclas de calizas y yesos calcinados para unir los grandes bloques de piedra. Más tarde, alrededor del año 1950 a.C., estas mezclas se utilizaron para rellenar muros de piedra, dando lugar al mural de Tebas en Egipto, marcando así el inicio de su aplicación como material estructural. (ARGOS, 2023)

En el Mediterráneo occidental, alrededor del año 500 a.C., los antiguos griegos adoptaron la práctica de trabajar con concreto, y posteriormente, en el año 300 a.C., la civilización romana incorporó algunas de estas técnicas en la construcción de notables obras, incluyendo el Foro Romano. (ARGOS, 2023)

Un hito significativo se dio en el siglo XI a.C. en Puzzoli, donde se desarrolló el cemento puzolánico mediante la mezcla de caliza calcinada con finas arenas de origen volcánico. Esta innovación fue empleada en la construcción del Teatro de Pompeya en el año 75 a.C. Más tarde, utilizando rocas volcánicas como agregado liviano y jarrones de barro incrustados para aligerar el concreto, se erigieron estructuras icónicas como el Coliseo Romano y el domo del Panteón, con un diámetro de 50 metros. (ARGOS, 2023)

Tras la caída del Imperio Romano, el conocimiento y uso del concreto se desvaneció, siendo revivido por los ingleses hacia el año 700 a.C., marcando así un nuevo capítulo en la historia de este material fundamental para la construcción. (ARGOS, 2023)

En 1824, el constructor Joseph Aspdin, de origen inglés, desarrolló el cemento Portland, una innovación que superaba en resistencia y durabilidad a los cementos previos. Este nuevo material se empleó para la elaboración de bloques sólidos y rectangulares de cemento, destacándose por su manejo más sencillo y mayor robustez en comparación con los adobes. (ULTRACEM, 2020)

Los bloques de cemento ganaron popularidad en la construcción de hogares y edificios comerciales a principios del siglo XX. Su asequibilidad y resistencia los convirtieron en

una elección recurrente para la construcción de viviendas destinadas a la clase trabajadora. (ULTRACEM, 2020)

A lo largo del tiempo, los bloques de cemento han experimentado cambios para satisfacer las demandas de la construcción contemporánea. En la década de 1940, se introdujeron los bloques de concreto huecos, más livianos y fáciles de manipular. La evolución ha permitido producir bloques de cemento en diversas formas, dimensiones y colores, adaptándose así a una amplia gama de requerimientos de construcción. (ULTRACEM, 2020)

En la actualidad, estos bloques representan una opción versátil y popular en la edificación de muros y estructuras. Su uso se extiende globalmente gracias a su disponibilidad y costos accesibles. Además, los bloques de cemento modernos se caracterizan por su resistencia, durabilidad y la capacidad de adaptarse a diversas necesidades de construcción, ofreciendo una amplia gama de formas, tamaños y colores. (ULTRACEM, 2020)

Los bloques han experimentado avances significativos gracias a varios desarrollos tecnológicos:

- Máquinas de fabricación automatizada: La introducción de maquinaria automatizada ha revolucionado la producción de bloques. Esto incluye prensas hidráulicas que pueden moldear bloques con mayor precisión y eficiencia que los métodos manuales.
- Mezcladoras y trituradoras modernas: Equipos especializados para mezclar y triturar los componentes, como el cemento, la arena y otros agregados, han optimizado el proceso de preparación de la mezcla, garantizando una uniformidad en la composición.
- Moldes y sistemas de moldeo avanzados: Los moldes mejorados permiten la creación de bloques en una variedad de formas, tamaños y texturas. Estos avances han ampliado las posibilidades de diseño y uso de los bloques en la construcción.
- Tecnologías de curado y secado: Los métodos modernos de curado y secado de bloques han mejorado significativamente la calidad final del producto. Esto incluye sistemas de curado al vapor, hornos de secado controlados y técnicas de curado que aceleran los tiempos de producción.
- Incorporación de materiales sostenibles: Investigaciones y desarrollos han llevado a la integración de materiales reciclados o sostenibles en la fabricación de bloques, como el uso de cenizas volantes, residuos de construcción o aditivos que mejoran la sostenibilidad de los bloques.

Estos avances tecnológicos han transformado la fabricación de bloques, optimizando los procesos, mejorando la calidad del producto final y permitiendo una mayor versatilidad en su uso en la construcción moderna, de estos métodos se hará énfasis más adelante.

4.1.2. LA INDUSTRIALIZACIÓN EN COLOMBIA

En Colombia, los bloques de concreto han sido fundamentales en la construcción debido a su versatilidad y durabilidad. En las primeras etapas del desarrollo urbano en Colombia, la construcción se basaba principalmente en métodos tradicionales como el uso de ladrillos de arcilla y bloques de concretos hechos de manera artesanal. Los bloques han experimentado un desarrollo significativo, ofreciendo diversas aplicaciones en la industria de la construcción: (Monografías, 2017)

- Edificaciones residenciales y comerciales: Los bloques se utilizan ampliamente para levantar muros y estructuras en proyectos residenciales y comerciales, tanto en áreas urbanas como rurales.
- Infraestructura vial: En la construcción de carreteras, puentes y otras infraestructuras, los bloques de concreto se emplean para muros de contención, barreras de seguridad y elementos estructurales.
- Sostenibilidad: Se han desarrollado bloques ecológicos que incorporan materiales reciclados o que minimizan el impacto ambiental, como los fabricados con cenizas volantes o residuos industriales.
- Aislamiento y eficiencia energética: Los bloques han evolucionado para ofrecer propiedades mejoradas de aislamiento térmico y acústico, contribuyendo a la eficiencia energética de las construcciones.
- Diseño arquitectónico: La variedad en formas, tamaños y texturas ha permitido la creación de diseños más innovadores y fueron analizados, adaptados a las necesidades estéticas y funcionales de diferentes proyectos.
- Resistencia y durabilidad: Los bloques de concretos colombianos están diseñados para resistir condiciones climáticas extremas, terremotos y otros factores adversos, lo que los convierte en una opción robusta y confiable.

En las décadas de 1960 y 1970, la industrialización y tecnificación de la construcción en Colombia marcaron un cambio importante. La introducción de maquinaria y procesos más automatizados permitió una producción masiva de bloques, acelerando los tiempos de construcción. (Monografías, 2017)

Con el crecimiento de la industria, se implementaron normativas y estándares de calidad para garantizar la seguridad estructural de las edificaciones. La normalización técnica se convirtió en un aspecto crucial para la fabricación y uso de bloques en la construcción. (Monografías, 2017)

En tiempos más recientes, se ha observado un interés creciente en prácticas de construcción sostenibles. La búsqueda de métodos eco-amigables ha llevado a la incorporación de bloques ecológicos y tecnologías más eficientes desde el punto de vista energético. (Monografías, 2017)

El continuo desarrollo tecnológico en la fabricación de bloques en Colombia ha permitido mejorar sus características y aplicaciones, brindando soluciones constructivas más eficientes, seguras y sostenibles para una amplia gama de proyectos en el país.

4.1.3. IMPACTO DE LOS BLOQUES DE CONCRETO EN LA ARQUITECTURA MODERNA

El bloque de concreto, un material prefabricado ampliamente conocido por su aplicación en la construcción de muros ofrece oportunidades creativas en diseño arquitectónico. Los bloques se apilan y unen con mortero, generalmente compuesto por cemento, arena y agua. Su versatilidad se manifiesta en una amplia variedad de dimensiones y texturas, desde superficies lisas hasta acabados estriados o rugosos, incluyendo unidades especiales para esquinas y vigas con armaduras longitudinales.

El concreto utilizado comúnmente para estos bloques combina cemento portland con polvo, agua, arena y grava, resultando en unidades gris claro de alta resistencia a la

compresión. Además, su capacidad mecánica, incombustibilidad y aislación acústica hacen de estos bloques una opción versátil.

A medida que la tecnología avanza, los bloques de concreto evolucionan para ofrecer soluciones más completas, como la impermeabilidad. Aditivos en la mezcla aumentan la tensión superficial, bloqueando eficazmente el paso del agua como se puede apreciar en ilustración 39. Además, algunos bloques cuentan con bordes diferenciados para alejar el agua de su superficie.

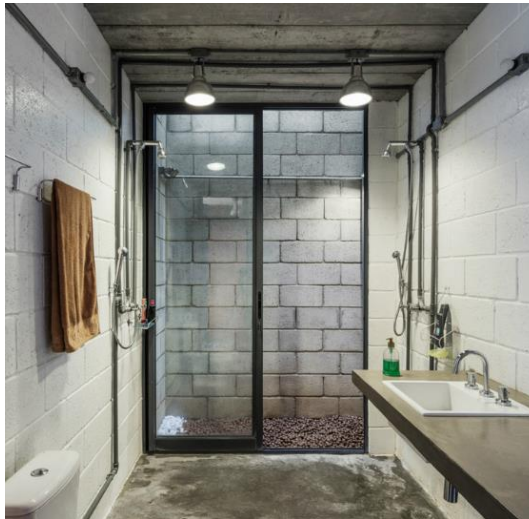


Ilustración 39. Mipibu home (Franco, 2018)

En el proceso constructivo básico, se destaca la importancia de consultar normas y códigos locales. Desde la preparación de la zapata hasta el acabado de las juntas, se delinean pasos para garantizar una construcción sólida y alineada. Aprovechar la cavidad continua generada por los huecos de cada unidad para insertar armaduras metálicas de refuerzo es crucial en la construcción de muros con bloques, un ejemplo de arquitectura y de aprovechamiento de las características del concreto es el edificio F de la Universidad escuela colombiana de ingeniería Julio Garavito, que está hecho casi en su totalidad por este material y que es un edificio sismo resistente y el color gris no es razón para que no tenga estética y belleza como se muestra en la *Ilustración 40*.



Ilustración 40. Edificio F de la Universidad escuela colombiana de ingeniera Julio Garavito (Bohórquez, 2015)

La versatilidad inherente a los bloques de concreto facilita su uso y construcción en diversas aplicaciones, aprovechando las propiedades maleables del concreto, tal como se ilustra en la *Ilustración 41*. (Franco, 2018)



Ilustración 41. Casas catalinas (Franco, 2018)

4.1.4. COMPOSICIÓN

Se componen de una mezcla de cemento, arena, agua y otros agregados. La proporción exacta de cada uno de estos componentes puede variar dependiendo del fabricante y del uso previsto del bloque. Además, se pueden agregar aditivos para mejorar las propiedades del bloque, como la resistencia al fuego, la resistencia a la humedad y la durabilidad (BLOQUES.ORG, 2023)

El diseño de la mezcla que compone los bloques de concreto varía de acuerdo con el fabricante, de acuerdo con las especificaciones que se requieran y de las características de los agregados de los que se disponga, sin embargo, se podría estandarizar un diseño dependiendo de la resistencia que se desea obtener. (Manabí, 2022)

Para obtener una resistencia de 21.0 MPa muchos fabricantes emplean una combinación, de 1 parte de cemento por 2.09 de grava que pasa el tamiz $\frac{3}{4}$ '' y 2.27 de arena que pasa el

tamiz #4, la cantidad de agua se va a justando de acuerdo con el asentamiento que se desee. (Manabí, 2022)

4.1.5. FABRICACIÓN

El proceso de fabricación de los bloques de concreto posee una parte fundamental que es la elaboración de la mezcla, el cual se ve representado en la *ilustración 42*, esta se puede realizar manualmente o con ayuda de maquinaria

En el proceso de mezcla manual se realizan los siguientes pasos

- Revuelva la arena, la grava y el cemento con la pala.
- Esparza nuevamente la mezcla.
- Humedezca la mezcla con agua, realice este proceso con una regadera.
- Revuelva con la pala, dando vueltas a la derecha e izquierda hasta lograr una mezcla homogénea como se muestra en la *Ilustración 42*.
- Verifique la humedad hasta lograr que la mezcla se sostenga en la mano, pues la cantidad de agua necesaria puede variar con el contenido de humedad que posean los agregados (SENA, 1990)

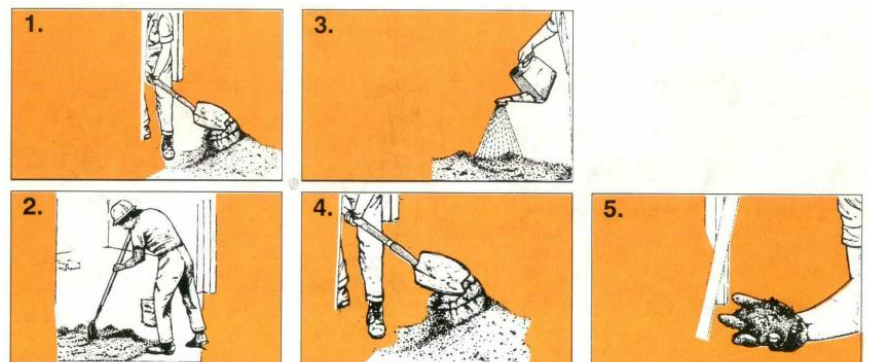


Ilustración 42. Proceso técnico elaboración manual (SENA, 1990)

El proceso con maquinaria se realiza de la siguiente manera

- Vierta una medida de arena.
- Vierta una medida de grava
- Vierta una medida de cemento.
- Deje girar el trompo y vaya adicionando agua lentamente.
- Complete la medida, adicionando las otras medidas de arena grava y más agua.
- Deje girar el trompo
- Detenga el trompo y verifique la humedad de la mezcla.

- Finalmente se descarga el trompo como lo muestra la *ilustración 43*, y se utiliza la mezcla resultante para la fabricación de los bloques o adoquines. (SENA, 1990)

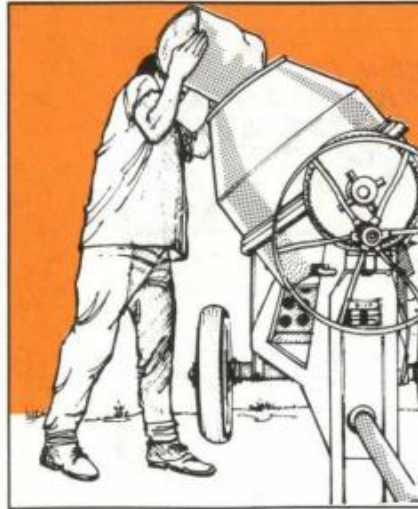


Ilustración 43. Vertimiento de los materiales en la mezcladora (SENA, 1990)

Una vez realizada la mezcla que va a conformar los adoquines se procede a llevarlos a una máquina que les va a dar su forma final, esta máquina requiere una serie de pasos a seguir para un buen funcionamiento.

REVISAR EQUIPO.

- Esta revisión debe llevarse a cabo antes de preparar la mezcla o bien si se dispone de más personal, puede efectuarse al tiempo del proceso de mezclado.
- Revise que la máquina funcione correctamente y esté debidamente engrasada como lo muestra la *ilustración 44*.



Ilustración 44. Revisión previa de la maquina (SENA, 1990)

PREPARAR TABLEROS O TELERAS.

- Tenga a mano los tableros o teleras receptoras de los bloques como lo muestra el gráfico como lo muestra la *ilustración 45*.



Ilustración 45. Preparación de las bandejas (SENA, 1990)

ACCIONAR LA MAQUINA.

- Accione la palanca No 1 de plataforma de recibo, de forma que está quede en posición baja como lo indica la *ilustración 46*.



Ilustración 46. Acción de palanca (SENA, 1990)

- Hale la bandeja recibidora No 4 hacia afuera y coloque la tabla recibidora de los bloques sobre ésta como se muestra en la *Ilustración 457*.



Ilustración 47. Acción de bandeja (SENA, 1990)

- A continuación, empuje la bandeja hacia adentro de modo que quede bien centrada respecto al molde No 6, como se observa en la *Ilustración 48*.



Ilustración 48. Empuje de bandeja (SENA, 1990)

- Accione nuevamente la palanca No 2.1 hacia arriba de modo que la plataforma de recibo quede en posición alta, tal como lo muestra la *Ilustración 49* y haga la corrección del caso.



Ilustración 49. Acción de palanca (SENA, 1990)

- El operario encargado de alimentar la máquina procederá a llenar la tolva de mezcla No 3, con cuidado como se ve en la *Ilustración 50*.



Ilustración 50. Vertimiento de la mezcla en la maquina (SENA, 1990)

- Accione la caja alimentadora No 7 hacia usted, devuelva y continúe con movimientos de vaivén hasta llenar el molde No 6 y deje esta caja en la posición adecuada, con el fin de que el pisón pueda pasar como se ve en la *Ilustración 51*.

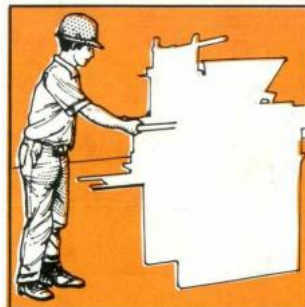


Ilustración 51. Acomodación del molde en la maquina (SENA, 1990)

- Ejecute dos pisadas accionando con la palanca de empuje No.2 del Pisón como se ve en la *Ilustración 52*, de 4 a 5 segundos y regrésela a su posición inicial.



Ilustración 52. Ejecución de pisadas (SENA, 1990)

- Accione nuevamente la caja alimentadora No 7 hasta llenar el molde No 6. Baje la palanca del Pisón y al mismo tiempo la palanca No 1 como se observa en la *Ilustración 53*.



Ilustración 53. Llenado de molde (SENA, 1990)

- Saque la bandeja receptora y retire el material depositado en los tableros o teleros resultante del proceso de fabricación como se muestra en la *Ilustración 54*.

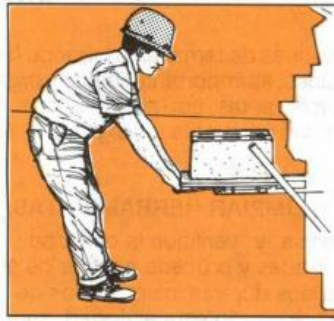


Ilustración 54. Retiro de material de la maquina (SENA, 1990)

CAMBIO DE MOLDE Y PIFUERON

- Para el cambio de molde y pisón simplemente afloje las tuercas que lo sujetan y cambie por el nuevo molde requerido este procedimiento y orden se ve a continuación en la *Ilustración 55*

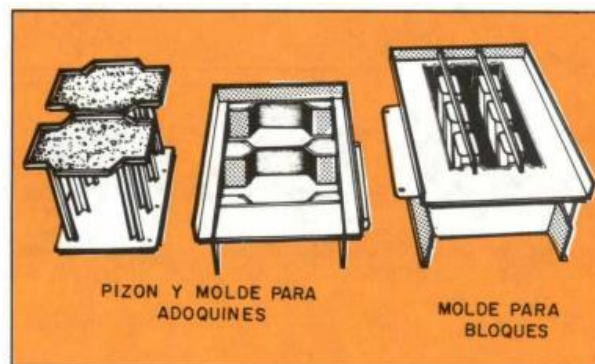


Ilustración 55. Tipos de moldes y pisones (SENA, 1990)

ALMACENAR EN PATIO CUBIERTO.

- Almacene los tableros o teleras portadoras de los bloques o adoquines en forma ordenada, tal como lo muestra en la *Ilustración 56* y déjelos allí por espacio de 24 horas, tiempo durante el cual se realiza el proceso de fraguado inicial.

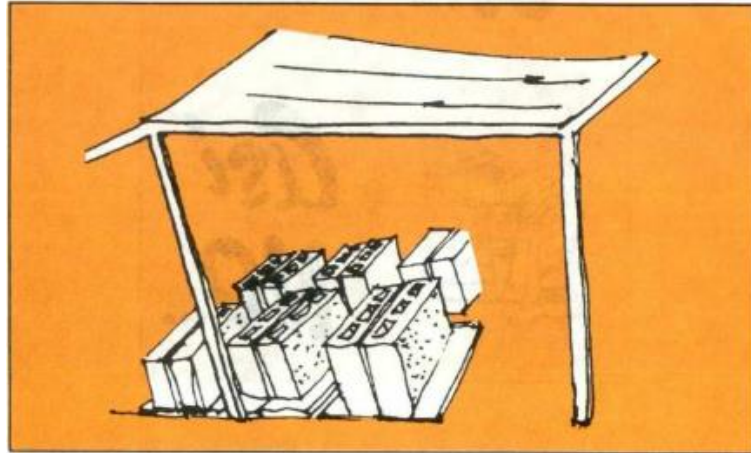


Ilustración 56. Almacenamiento de bloques (SENA, 1990)

Los siguientes, fueron los métodos para el curado de bloques adoquines, después de las primeras 24 horas

APLICANDO AGUA DIRECTAMENTE.

- Este procedimiento mostrado en la *Ilustración 57*, es el más comúnmente utilizado y consiste en rociar los bloques o adoquines con agua en forma de lluvia periódicamente.



Ilustración 57. Curado de bloque de concreto (SENA, 1990)

APLICANDO AGUA Y CUBRIENDO CON POLIETILENO

- Se procede a humedecer el conjunto de bloques o adoquines cubriéndolo posteriormente con polietileno o plástico como se muestra en la *Ilustración 58*, logrando con ello una humedad interior permanente.

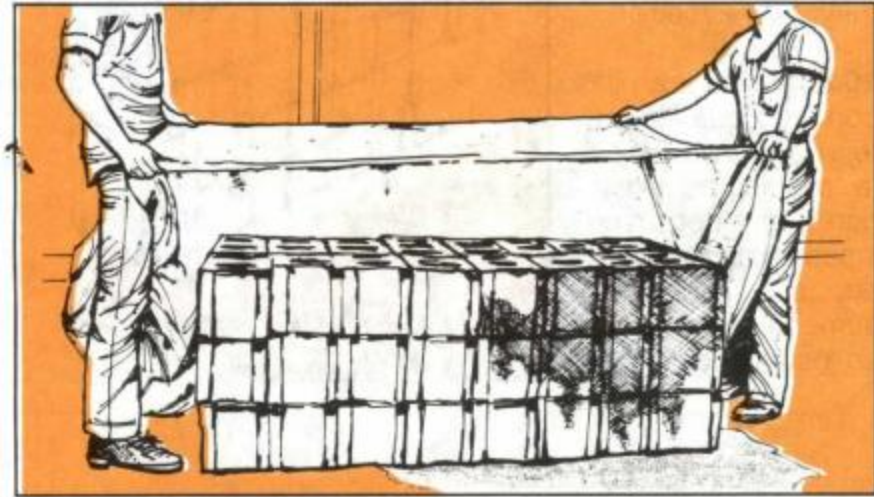


Ilustración 58. Recubrimiento de bloques (SENA, 1990)

4.2. LADRILLOS SILICO-CALCAREOS

Estos ladrillos se fabrican a partir de una masa obtenida mediante la mezcla de arena, ya sea natural o artificial, y una cal aglomerante, ya sea grasa o aérea. Esta masa se moldea en máquinas adecuadas y se endurece mediante la aplicación de vapor de agua a presión. (Arqhys, 2012)

Estos ladrillos fueron versátiles y se adaptan a diversas aplicaciones en la construcción, proporcionando opciones para diferentes necesidades de diseño y construcción ya que tienen un diseño, color y características particulares, como se muestra en la *Ilustración 59*.

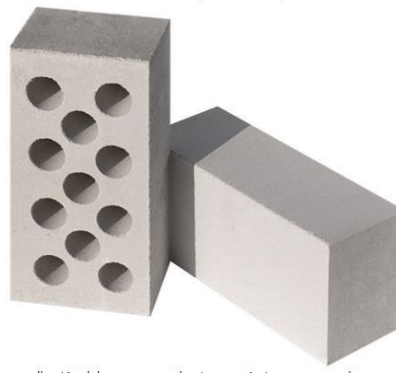


Ilustración 59. Ladrillo silico-calcareo (Arqhys, 2012)

4.2.1. PEQUEÑOS VESTIGIOS A LO LARGO DE LA HISTORIA

Los ladrillos, entre los productos más antiguos del mundo, han sido testigos del desarrollo de la humanidad, surgiendo como la opción natural para la construcción de las primeras viviendas. Aunque en sus inicios se fabricaban con materiales menos duraderos que los actuales, desempeñaron un papel crucial al resguardar a las personas en sus hogares y facilitar la edificación de templos y otros monumentos, los cuales se han perdido en el tiempo. (quispe, 2019)

El uso de ladrillos hechos de cal y sílice ha sido documentado en diferentes culturas y civilizaciones antiguas. Los egipcios, babilonios y romanos, entre otros, emplearon variantes de ladrillos silico-calcáreos en la construcción de sus edificaciones. En la antigua Roma, se utilizaba una mezcla de arena, cal y sílice para producir ladrillos resistentes que eran fundamentales en la construcción de arcos, muros y estructuras duraderas. (quispe, 2019)

A medida que la humanidad buscaba mejorar la apariencia, rendimiento y resistencia de los ladrillos mediante pruebas y la adición de diversas sustancias, surgió una innovación significativa: el ladrillo sílico-calcáreo. Este elemento de construcción fue creado en consonancia con el avance tecnológico, representando un paso adelante en la evolución continua de los materiales de construcción. (quispe, 2019)

Sin embargo, a lo largo de la historia, la producción de ladrillos ha evolucionado con avances tecnológicos. Durante la Revolución Industrial, se introdujeron técnicas modernas que permitieron una producción más eficiente y estandarizada de ladrillos. A finales del siglo XIX y principios del XX, la demanda masiva de materiales de construcción condujo a la industrialización del proceso de fabricación de ladrillos silico-calcáreos. Este período marcó la transición hacia métodos de producción más mecanizados y la utilización de hornos modernos para cocer los ladrillos, lo que aumentó su calidad y uniformidad. (quispe, 2019)

Hoy en día, los ladrillos silico-calcáreos son ampliamente utilizados en la industria de la construcción debido a su resistencia, durabilidad y propiedades aislantes. La combinación de sílice, cal y otros materiales durante su fabricación ha permitido desarrollar ladrillos versátiles que se adaptan a diversas necesidades arquitectónicas y estructurales. Además, su popularidad se debe a la capacidad de controlar mejor su calidad durante la producción, lo que garantiza una uniformidad en las propiedades de los ladrillos para su uso en construcciones modernas. (jull, 2019)

4.2.2. INICIOS, INDUSTRIALIZACIÓN Y APLICACIÓN EN TIERRA COLOMBIANA

En Colombia, la historia de los ladrillos silico-calcáreos sigue un curso similar en términos de evolución y desarrollo tecnológico al del concreto, aunque con particularidades propias del país. El uso de estos ladrillos se remonta a las influencias coloniales, donde se emplearon técnicas constructivas basadas en la experiencia europea y, más tarde, en la adaptación de métodos modernos de fabricación.

Durante el período colonial, se utilizaron principalmente técnicas de construcción con materiales locales, como el adobe y la tapia pisada. Sin embargo, con la llegada de tecnologías y métodos de fabricación más avanzados, se comenzaron a producir ladrillos silico-calcáreos a finales del siglo XIX y principios del XX. La industrialización y la urbanización en ciudades como Bogotá, Medellín, Cali, Cartagena, y Barranquilla son algunas de las ciudades donde los ladrillos silico-calcáreos han tenido una aplicación significativa en diversos proyectos de construcción.

Un ejemplo y toma de como fue el proceso de industrialización será tomada de la última ciudad de Barranquilla, en donde desde mediados de los años veinte, los empresarios de

Barranquilla expresaron creciente interés en la industria cementera para satisfacer la demanda generada por las urbanizaciones asignadas entre 1915 y 1930. Durante este período, la Empresa Hanseática Wiese & Starck, compuesta por alemanes, llevó a cabo estudios sobre las calizas y depósitos calcáreos en la región de Los Alpes. Como resultado, se estableció una empresa con el propósito específico de fabricar cemento. (TIEMPO, 1996)

Paralelamente, en la ciudad coexistían diversas fábricas de productos sílico-calcáreos, entre las que destacan Aepli y Cia., fundada en 1908, y la fábrica de ladrillos El Nilo, establecida en 1920 y que, en tan solo tres años, ya contaba con un capital de 80 mil, siendo más de mil seiscientos millones de pesos o alrededor de 41 mil doraes a fecha de 2023. (TIEMPO, 1996)

Es relevante señalar que, a pesar de que la teja era conocida desde finales del siglo XIX gracias a pioneros como Jenaro Salazar, su uso aún no era común en la ciudad en esos años. William Ladd, un norteamericano, desempeñó un papel crucial al popularizar la teja cuando urbanizó el barrio Boston. (TIEMPO, 1996)

El 13 de agosto de 1927, Angel María Palma, en continuación de su interés por la producción de materiales de construcción, fundó la fábrica de mosaicos y azulejos Pompeya en colaboración con el español Enrique Moll. (TIEMPO, 1996)

Sin embargo, la consolidación de la industria cementera en la región tardaría aproximadamente una década. Fue en 1934, el mismo año en que surgió Cemento Argos, cuando Angel María Palma, principal impulsor, concretó la creación de Cementos del Caribe S.A., marcando un hito significativo en la evolución industrial de Barranquilla. (TIEMPO, 1996)

El desarrollo de la industria de ladrillos sílico-calcáreos en Colombia se aceleró con la introducción de hornos más modernos y métodos de cocción controlada. Esto permitió una mayor producción, así como una mejora en la calidad y uniformidad de los ladrillos. La demanda creciente de materiales de construcción durante el auge económico del país también contribuyó al desarrollo y perfeccionamiento de estos ladrillos. (TIEMPO, 1996)

Con el tiempo, los ladrillos sílico-calcáreos se convirtieron en un elemento fundamental en la construcción colombiana, proporcionando a los arquitectos y constructores una opción confiable y versátil para edificaciones de todo tipo. Su resistencia, durabilidad y capacidad para aislar térmica y acústicamente los convirtieron en una elección popular para proyectos de vivienda, comerciales e industriales en Colombia.

Hoy en día, los ladrillos sílico-calcáreos son parte integral de la industria de la construcción en el país, adaptándose a las necesidades y estándares modernos de edificación y ofreciendo soluciones eficientes y sostenibles para las demandas arquitectónicas contemporáneas en Colombia. (Arqhys, 2012)

4.2.3. COMPOSICIÓN

El diseño de estos ladrillos se compone de tres componentes importantes

- Arena fina con alto contenido de sílice
- Cal viva finalmente molida e hidratada en la mezcla
- Agua

Las cantidades de cada material puede variar de acuerdo con el uso y tipo de ladrillos que se requiera y del proveedor, pero normalmente manejan una relación de 10% cal hidratada y 90% por ciento de arena que tiene aproximadamente 75% de contenido de sílice, esta mezcla hace que el ladrillo adopte un color blanco grisáceo, aunque en ocasiones se decide añadirle otros pigmentos para que cambie su color. (jull, 2019)

4.2.4. FABRICACIÓN

En este procedimiento intervienen diversos componentes cuya armonización es crucial para asegurar un funcionamiento eficiente y rentable de la planta de producción de ladrillos silico-calcáreos. En primer lugar, se presentará una representación global de una planta actual, detallando las diferentes secciones según se muestra en la *Ilustración 60*, con una enumeración específica de las partes correspondientes en la *Tabla 3*. Este enfoque detallado busca proporcionar una visión integral de la disposición y la interconexión de los elementos esenciales que componen la planta, fundamentales para el éxito y la eficacia de todo el proceso productivo

Tabla 3. Lista de proceso de producción (masa, 2022)

01	Almacenaje, dosificación y mezcla
02	Reactor y reacción química
03	Revolvedora tipo eje doble Masa
04	Prensa hidráulica de ladrillos silicocalcáreos Masa HDP
05	Transporte del carro de endurecimiento de la prensa al autoclave
06	Autoclave/caldera de vapor
07	Embalaje
08	Limpieza de carro de endurecimiento

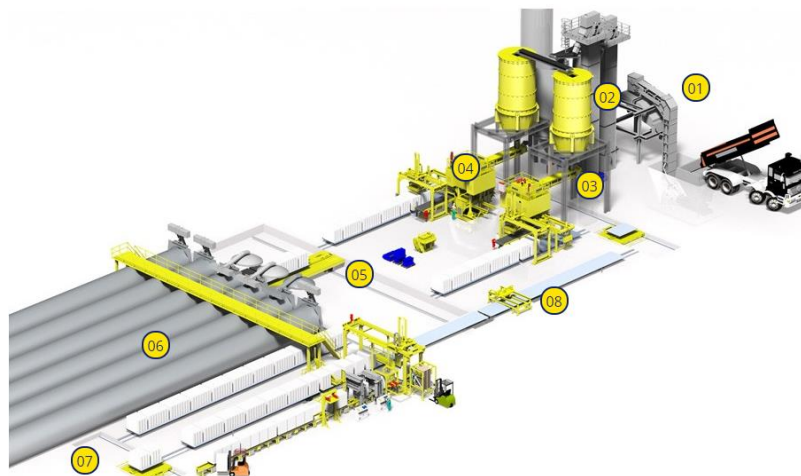


Ilustración 60. Procesos de control automatizados (masa, 2022)

El proceso de fabricación es el siguiente

En las plantas de mezcla La arena y la cal se almacenan por separado antes de ser combinadas en una mezcladora intensiva y es vaciada a una cinta transportadora como se muestra en la *Ilustración 61*. La cantidad exacta de agua requerida se agrega posteriormente en función de la humedad de la arena. Cada cantidad se dosifica de manera precisa de acuerdo con la fórmula de preparación antes de llegar a la mezcladora por lotes. (masa, 2022).



Ilustración 61. Descarga de masa de ladrillo silico-calcáreo por debajo de la mezcladora (masa, 2022)

La masa de ladrillos silico-calcáreos se desplaza al reactor a través de una cinta transportadora, este mecanismo se puede visualizar en la *Ilustración 62*. La reacción de la cal con el agua se culmina en aproximadamente dos horas. A partir del óxido de calcio y el agua, se genera el producto semielaborado (hidróxido de calcio), que luego se somete a procesamiento en la prensa. (masa, 2022)



Ilustración 62. Parte inferior del reactor con mezcladora posterior de doble eje (masa, 2022)

Posterior mente la mezcla se lleva a una prensa mostrada en la siguiente *Ilustración 63* la cual le va a dar la forma deseada al ladrillo.



Ilustración 63. Mesa de prensado con inserto de molde intercambiable (masa, 2022)

A continuación, en la *Tabla 4* se muestra los diferentes ladrillos que se elaboran junto con las medidas correspondientes, estas varían entre los fabricantes y condiciones de solicitadas de los contratistas, pero de igual manera se muestra la tabla como ejemplo de formato de presentación de empresas y para mostrar los rangos de potencias necesarios para compactar los cilindros con estas especificaciones.

Tabla 4. Rango de potencia de prensa (masa, 2022)

Tipo	Abertura del molde	Altura máx. del bloque			
			240 x 71 x 113 mm	240 x 115 x 113 mm	250 x 240 x 248 mm
HDP 800 U	1050 x 550 mm	250 mm	8.500	4.580	1.900
HDP 800 N	1050 x 770 mm	300 mm	8.500	4.580	1.900

Las piezas brutas compactadas se endurecen en autoclaves siendo este un aparato que sirve para esterilizar objetos o sustancias situados en su interior a una temperatura de alrededor de 200 °C y bajo una presión de vapor saturado de aproximadamente 16 bar, esta autoclave se muestra en la *Ilustración 64*. Este proceso de endurecimiento hidrotérmico toma varias horas. En este proceso se inicia una reacción de silicato en la superficie de los granos de arena, lo que resulta en el endurecimiento deseado de las piezas. (masa, 2022)



Ilustración 64. Generación de vapor (masa, 2022)

Dentro de una planta de ladrillos silico-calcáreos, el sistema de transporte es un componente crítico. Se emplean carros llamados carros de endurecimiento que se desplazan de manera segura a lo largo de un sistema de raíles para transportar las piezas brutas y los productos terminados entre las diversas unidades de fabricación como se observa en la *Ilustración 65*, mostrada a continuación. (masa, 2022)



Ilustración 65. Sistema de transporte dentro de la planta de embalaje (masa, 2022)

4.3. LADRILLOS DE CENIZA VOLANTE

La utilización de cenizas, tanto en la producción de concreto es como en la fabricación de ladrillos, resulta apropiada, ya que permite reducir los costos de materiales de construcción al reemplazar parte del cemento por cenizas. Esto se logra sin sacrificar la calidad del producto final, al mismo tiempo que se promueve la sostenibilidad desde una perspectiva medioambiental, en la *Ilustración 66*, se observa como existen fabricas las cuales realizan esta producción de manera masiva y organizada. (CONSTRUMATICA, 2008)



Ilustración 66. Ladrillos de ceniza volante (CONSTRUMATICA, 2008)

4.3.1. HISTORIA UNIVERSAL

Las cenizas han sido una de las adiciones cementantes más apetecidas por la industria del concreto a nivel mundial debido a que cumplen con parámetros fisicoquímicos que las hacen capaces de desarrollar propiedades aglomerantes cuando entran en la ecuación de hidratación del cemento Portland, favoreciendo el desempeño del concreto en términos de trabajabilidad, desarrollo de resistencia y durabilidad, entre otras, y adicionalmente generando beneficios económicos y ambientales de reaprovechamiento del residuo más relevante que generan las termoeléctricas, en línea con los principios de economía circular. (ARGOSCENIZAS, 2023)

Los ladrillos de ceniza volante surgieron como respuesta a varios desafíos ambientales que enfrenta la industria de la construcción. Algunos de los desafíos más relevantes fueron:

- **Reducción de Residuos:** La ceniza volante, un subproducto de la quema de carbón en plantas de energía, solía ser un desecho problemático que se acumulaba en grandes cantidades. La utilización de estas cenizas en la fabricación de ladrillos ayuda a reducir la cantidad de desechos depositados en vertederos.
- **Menor Uso de Materias Primas:** La incorporación de ceniza volante en la producción de ladrillos reduce la necesidad de utilizar grandes cantidades de arcilla u otros recursos naturales como materia prima, lo que contribuye a la conservación de estos recursos.
- **Menor Impacto Ambiental:** La fabricación de ladrillos convencionales implica altas temperaturas y emisiones de gases de efecto invernadero. Al emplear ceniza volante, se reduce la necesidad de altas temperaturas en la producción de ladrillos, lo que podría disminuir la huella de carbono asociada con su fabricación.
- **Aumento de la Sostenibilidad:** Los ladrillos hechos con ceniza volante suelen requerir menos energía en su producción, lo que los hace más sostenibles y atractivos desde una perspectiva ambiental.

Estos desafíos ambientales impulsaron la búsqueda de alternativas más ecológicas en la construcción, dando lugar al desarrollo y uso de los ladrillos de ceniza volante como una opción más amigable con el medio ambiente.

Las cenizas volantes fueron las cenizas finas recolectadas del gas de combustión después de la combustión del carbón, y también fueron los principales desechos sólidos descargados de las centrales eléctricas de carbón. Sus principales componentes fueron óxidos de silicio, aluminio, hierro, calcio y magnesio. (DASWELL, 2023).

La historia de los ladrillos de ceniza volante está arraigada en la necesidad de encontrar soluciones sostenibles para la industria de la construcción. A medida que la tecnología y la conciencia ambiental han avanzado, estos ladrillos se han convertido en una opción popular para constructores y arquitectos que buscan materiales ecológicos y duraderos para sus proyectos. (ENCYCLOPEDIA, 2023)

Los primeros estudios e investigaciones sobre el uso de ceniza volante en la construcción se remontan a principios del siglo XX. Uno de los pioneros en este campo fue un ingeniero británico llamado John Smeaton, quien en el año 1771 realizó experimentos con mezclas de cal y ceniza volante. Sin embargo, la comprensión científica y la aplicación generalizada de la ceniza volante en la construcción se desarrollaron más ampliamente en el siglo XX. (ENCYCLOPEDIA, 2023)

Durante la Segunda Guerra Mundial, cuando había escasez de materiales de construcción, la necesidad de encontrar alternativas sostenibles y económicas llevó a un aumento en la investigación sobre el uso de subproductos industriales como la ceniza volante. En la década de 1930, se llevaron a cabo investigaciones significativas en Europa sobre las propiedades y aplicaciones de la ceniza volante en la construcción. (ENCYCLOPEDIA, 2023)

En Estados Unidos, en la década de 1930 y 1940, se realizaron investigaciones intensivas sobre la ceniza volante como parte del programa de investigación en ingeniería de materiales de la Administración de Obras Públicas (WPA, por sus siglas en inglés) durante la Gran Depresión. Estos estudios contribuyeron significativamente a la comprensión de las propiedades del material y su potencial uso en la construcción.

Sin embargo, fue después de la Segunda Guerra Mundial y durante la década de 1950 cuando se estableció firmemente la ceniza volante como un material de construcción viable y sostenible. Durante este período, se realizaron investigaciones adicionales en Europa y América del Norte, y se desarrollaron estándares para su uso en la industria de la construcción. Desde entonces, el uso de ceniza volante en la construcción ha ido en aumento y se ha convertido en una práctica común en todo el mundo.

4.3.2. HISTORIA EN COLOMBIA

La adopción y uso generalizado de ladrillos fabricados con ceniza volante en Colombia no están asociados a un año específico, sino que ha sido un proceso gradual a lo largo del tiempo. La introducción y la implementación de estos materiales en la construcción colombiana han evolucionado con el tiempo, principalmente durante las últimas décadas a medida que se ha incrementado la conciencia ambiental y se han desarrollado tecnologías sostenibles.

Dado que no hay una fecha exacta de inicio para esta práctica en Colombia, se puede decir que su adopción ha sido un proceso continuo y progresivo en respuesta a las necesidades ambientales y las demandas de la industria de la construcción en el país.

En Colombia, al igual que en muchos otros países, el uso de ladrillos fabricados con ceniza volante ha ido en aumento debido a su sostenibilidad y beneficios medioambientales. La ceniza volante, siendo un subproducto de las plantas de energía, se ha convertido en una alternativa valiosa para la industria de la construcción en el país.

La integración de ladrillos de ceniza volante en la construcción colombiana ha seguido un proceso gradual:

- **Investigación y Desarrollo:** Inicialmente, se llevaron a cabo investigaciones para estudiar las propiedades de la ceniza volante y su viabilidad en la producción de ladrillos. Estos estudios permitieron a los fabricantes entender cómo incorporar este material en la mezcla para obtener ladrillos fuertes y duraderos.
- **Normativas y Regulaciones:** A medida que la tecnología y la comprensión sobre el uso de la ceniza volante en la construcción avanzaron, se establecieron normativas y estándares para regular su producción y utilización. Estas normativas aseguran que los ladrillos de ceniza volante cumplan con ciertos requisitos de calidad y seguridad.
- **Concientización y Adopción:** A través de programas educativos, conferencias y talleres, se ha aumentado la conciencia sobre los beneficios de los ladrillos de ceniza volante. Los constructores y arquitectos han comenzado a adoptar estos materiales en sus proyectos, especialmente en obras públicas y proyectos de viviendas sostenibles.
- **Producción Local:** Se han establecido plantas de producción local para fabricar ladrillos de ceniza volante en diferentes regiones de Colombia. Esto ha facilitado el acceso a estos materiales de construcción de manera más económica y sostenible.
- **Apoyo Gubernamental:** El gobierno colombiano ha respaldado iniciativas sostenibles en la construcción, lo que ha contribuido a la adopción de tecnologías ecológicas como los ladrillos de ceniza volante. Estos apoyos incluyen incentivos fiscales y programas de subsidios para proyectos que utilizan materiales ecológicos.

Fuente: (ARGOSCENIZAS, 2023)

4.3.3. COMPOSICIÓN

Las cenizas volantes son las cenizas finas recolectadas del gas de combustión después de la combustión del carbón, y también son los principales desechos sólidos descargados de las centrales eléctricas de carbón. Sus principales componentes son óxidos de silicio, aluminio, hierro, calcio y magnesio. (DASWELL, 2023).

Las cenizas volantes contienen dióxido de carbono (CO_2) y se originan a partir de las cenizas residuales y los gases emitidos por centrales térmicas e industrias que emplean carbón como fuente de energía. En la mayoría de los casos, todas las centrales eléctricas e industrias utilizan convertidores ciclónicos para separar y recolectar las cenizas volantes. (surfer, 2023)

El porcentaje de reemplazo de cemento en la fabricación de ladrillos de ceniza volante puede variar según el diseño del ladrillo y la normativa local. Sin embargo, por lo general, se puede encontrar un rango de reemplazo de cemento que oscila entre el 10% y el 50%.

Esto significa que, en la mezcla para la fabricación de ladrillos, el cemento Portland, que es el aglomerante principal, se sustituye por ceniza volante en ese rango de porcentaje. (surfer, 2023)

La comparación entre ladrillos de arcilla y ladrillos de cenizas volantes revela diferencias significativas en sus propiedades y usos. Los ladrillos de arcilla fueron conocidos por su durabilidad y resistencia, siendo ideales para estructuras que requieren estabilidad a largo plazo. Por otro lado, los ladrillos de cenizas volantes, producidos a partir de residuos de centrales térmicas, fueron más ligeros y tienen propiedades aislantes, lo que los hace adecuados para aplicaciones donde se busca eficiencia energética. (surfer, 2023)

Una posible combinación de materiales para la producción de ladrillos de cenizas volantes es la siguiente:

- Ceniza volante 60%
- Arena 30%
- Cemento 10%

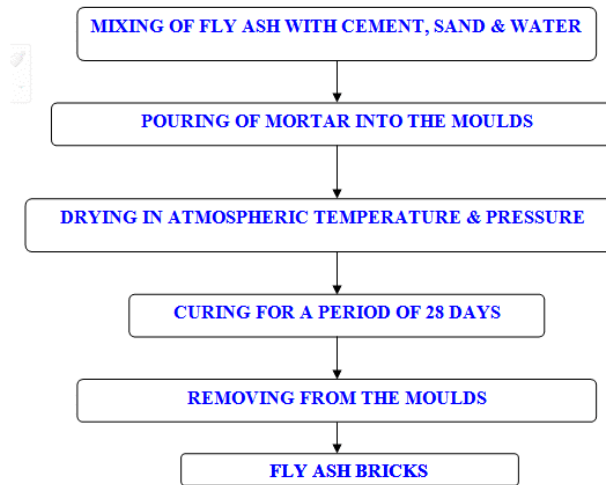
4.3.4. FABRICACIÓN

La producción de ladrillos de cenizas volantes sigue un proceso similar al de los ladrillos de concreto. Se combina una mezcla de materiales que incluye cemento, cenizas, áridos finos, áridos gruesos y agua (en proporciones reducidas). Esta mezcla se agita y compacta ya sea mecánicamente o de forma manual. (CONSTRUMATICA, 2008)

Las propiedades de los ladrillos de cenizas volantes y, en general, del concreto fabricado con cenizas volantes, fueron comparables a las de un concreto convencional. (CONSTRUMATICA, 2008)

El siguiente Diagrama de flujo de producción de ladrillo de cenizas volante de la *Ilustración 67* muestra cómo se lleva a cabo el proceso de producción de ladrillos de cenizas volantes de manera eficiente y sistemática. En el diagrama de flujo, se describen los pasos clave que intervienen en la fabricación de estos ladrillos, desde la recolección de las cenizas volantes hasta el producto final listo para su uso. (surfer, 2023)

Ilustración 67. Diagrama de flujo de producción de ladrillo de cenizas volantes (surfer, 2023)



El proceso de combustión de las cenizas volantes es el siguiente mostrada en la *Ilustración 68*:

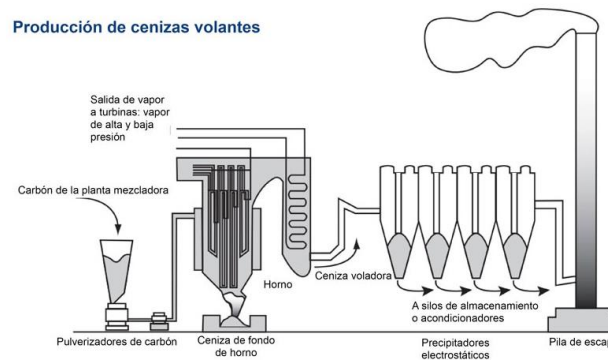


Ilustración 68. Producción de cenizas volantes (DASWELL, 2023)

El carbón pulverizado se quema en el horno en estado suspendido. La mayoría de los combustibles en el proceso de combustión del carbón pueden arder en el horno, mientras que muchos de los elementos no combustibles del carbón pulverizado se mezclan con los gases de combustión a alta temperatura. Estos elementos no combustibles, principalmente cenizas, experimentan una fusión parcial debido a la elevada temperatura. Al mismo tiempo, debido a su tensión superficial, se generan numerosas partículas esféricas de tamaño reducido. (DASWELL, 2023)

Bajo la acción del ventilador de tiro inducido en la cola de la caldera, el gas de combustión, que contiene una considerable cantidad de cenizas, fluye hacia la parte posterior del horno. A medida que la temperatura de los gases de combustión disminuye, algunas de las partículas finas fundidas alcanzan un estado vítreo debido a un proceso de enfriamiento rápido, aumentando así su actividad potencial. Antes de que el ventilador de tiro inducido

libere los gases de combustión a la atmósfera, las mencionadas partículas esféricas finas son separadas y recolectadas por el colector de polvo, que consiste en ceniza volante. (DASWELL, 2023).

- Optimización de propiedades de las Cenizas Volantes (ARGOSCENIZAS, 2023)

Para viabilizar el uso de cenizas cuyas propiedades no cumplen los requisitos especificados es aconsejable someterlas a algunos métodos de procesamiento como los descritos a continuación:

Reducción de tamaño: consiste en buscar un nivel de finura que permita alcanzar la mayor reactividad posible, el cual se logra mediante procesos de molienda donde se requieren inversiones iniciales considerables y alta demanda de energía. También es posible someter el material un proceso de clasificación para desechar las partículas más gruesas, con la necesidad de manejo de residuos que ello implica. El siguiente ejemplo muestra los beneficios obtenidos por el aumento de la finura de la ceniza molida:

Clasificación gravimétrica: se basa en una diferencia considerable (mayor al 15%) entre la densidad del carbón inquemado y la fracción mineral de ceniza. Es posible por vía seca usando separadores ciclónicos requiriendo altas inversiones iniciales, o por vía húmeda mediante procesos de flotación con altos costos de operación (consumo de agua, energía para secado).

Clasificación por cribado: es una alternativa aplicable cuando por condiciones de granulometría bajo las cuales el carbón es quemado, exista una diferencia significativa entre el tamaño de las partículas del carbón inquemado y las partículas de la fracción mineral de la ceniza.

Combustión del carbón (“CBO”): consiste en eliminar el carbón inquemado incinerándolo. Implica altos consumos de energía y emisión de gases contaminantes.

Pasivación química del carbón: mediante el uso de agentes orgánicos que absorbe el carbón, se mitiga su efecto dañino en concreto con aire incluido. Al no mejorar las propiedades puzolánicas de la ceniza, el costo de los agentes debe ser justificado por los beneficios obtenidos, que se limitan a concretos con aire incluido únicamente.

Separación triboelectrostática: se basa en el principio físico de adopción de carga eléctrica diferencial originada por transferencia de electrones cuando partículas chocan entre sí. El uso de separadores triboelectrostáticos mejora las propiedades de la ceniza concentrando la fracción mineral y permitiendo recuperar gran parte del carbón inquemado y realimentarlo al proceso de combustión de la termoeléctrica, eliminando el 100% los residuos generados.

La activación alcalina o geopolimerización es un proceso químico que transforma la ceniza mediante el uso de catalizadores como Silicato de Sodio (Na_2SiO_3), Hidróxido de Sodio (NaOH), Hidróxido de Potasio (KOH), Hidróxido de Calcio ($\text{Ca}[\text{OH}]_2$), entre otros. Esto incrementa la reactividad y el potencial de sustitución del cemento. Aunque implica una inversión económica significativa debido al costo de los catalizadores y los procesos externos necesarios, se utiliza en aplicaciones específicas.

La optimización de las propiedades de las cenizas volantes potencia beneficios al utilizarlas como SCM. Estos beneficios incluyen mejoras en el desempeño del concreto, como reología, densificación, resistencia residual, calor de hidratación y durabilidad. Además, se traduce en beneficios económicos, como ahorro en costos del cementante, diseño de concretos especiales sin aumento de costos, menor demanda de clinker/energía al usarlas como adición en el cemento y la reducción o eliminación del costo de manejo de residuos, con la recuperación de combustible desperdiciado. A nivel ambiental, se destacan beneficios como el reaprovechamiento de residuos, la eliminación de pasivos ambientales, la reducción o eliminación de emisiones fugitivas y dispersas en los sitios de disposición, y la disminución de la huella de carbono por la menor demanda de clinker/energía.

Fuente: (ARGOSCENIZAS, 2023)

CAPITULO 5: “LA INDUSTRIA DEL BLOQUE Y LADRILLO SIENDO AMIGABLE CON EL MEDIO AMBIENTE”

El cambio climático, como uno de los principales resultados de la actividad económica, presenta desafíos significativos debido a su impacto a gran escala. Para abordar esta problemática, es esencial adoptar un enfoque integral que incluya la implementación de nuevas tecnologías en la fabricación de bloques y ladrillos, considerando su huella ambiental.

La caracterización de perfiles ambientales, basada en los factores desarrollados por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) de la ONU, utiliza el potencial de calentamiento global (GWP100) como medida estándar. Este indicador, expresado en kg de CO₂ equivalente, destaca la necesidad de evaluar y minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero durante la producción de materiales de construcción.

El material particulado, una mezcla compleja de partículas diminutas, contribuye a la contaminación atmosférica con impactos directos en la salud, especialmente en el sistema respiratorio. La medición de partículas PM₁₀, con un tamaño de 10 µm, subraya la importancia de controlar y reducir las emisiones de partículas perjudiciales durante los procesos de fabricación.

La necesidad urgente de abordar el cambio climático y mejorar la calidad del aire destaca la importancia crucial de adoptar nuevas tecnologías en la producción de bloques y ladrillos. La búsqueda de métodos de fabricación, transporte y construcción más sostenibles y eficientes se traduce en la reducción de emisiones contaminantes y en la preservación de recursos naturales este ciclo se puede evidenciar en la *Ilustración 69*. Estas innovaciones no solo promueven la salud ambiental, sino que también posicionan a la industria de la construcción como un agente de cambio positivo en la lucha contra los problemas ambientales globales. *Fuente:* (Sierra, 2020)



Ilustración 69. Transporte y ciclo de vida de los materiales de construcción (Sierra, 2020)

5.1. LADRILLOS Y BLOQUES ECOLOGICOS

Los ladrillos y bloques ecológicos fueron una alternativa sostenible en la construcción diseñado para minimizar su impacto ambiental en comparación con los ladrillos tradicionales. Inspirados en el tradicional adobe y que sustituya al ladrillo convencional cocido estos ladrillos se producen utilizando materiales sostenibles, reciclados o de bajo impacto ambiental. (GONZALEZ, 2017)

5.1.1. HISTORIA UNIVERSAL

La historia de los bloques y ladrillos ecológicos es un fascinante viaje que ha evolucionado a lo largo de las décadas en respuesta a la creciente conciencia ambiental y la necesidad de soluciones sostenibles en la construcción.

En las décadas de 1970 y 1980, surgieron las primeras preocupaciones significativas sobre el impacto ambiental de la construcción convencional. Este período marcó el comienzo de

la exploración activa de alternativas más sostenibles. Durante la década de 1990, se produjo un aumento en la investigación y desarrollo de tecnologías relacionadas con la construcción sostenible, dando paso a nuevos enfoques para la fabricación de ladrillos que incorporaban materiales reciclados y de bajo impacto.

A medida que avanzaba el siglo XXI, la construcción ecológica ganó impulso, y los bloques y ladrillos ecológicos se reconocieron como una alternativa viable para reducir la huella de carbono y minimizar el impacto ambiental. En esta etapa, se intensificó el uso de materiales reciclados, como vidrio, plástico y residuos industriales, en la fabricación de bloques y ladrillos, contribuyendo a la reducción de residuos y a la utilización más eficiente de recursos disponibles.

La última década ha presenciado innovaciones significativas en el campo de la bioconstrucción, con el desarrollo de ladrillos a partir de materiales orgánicos como paja, cáñamo y micelio de hongos. Estos avances subrayan la versatilidad y sostenibilidad de los materiales utilizados en la fabricación de bloques y ladrillos ecológicos.

En este contexto, las normativas y certificaciones han cobrado relevancia para respaldar y promover el uso de bloques y ladrillos ecológicos, garantizando la calidad y sostenibilidad de estos materiales. Actualmente, la construcción sostenible es un impulso significativo en todo el mundo, y los bloques y ladrillos ecológicos se han convertido en una elección popular para aquellos comprometidos con prácticas de construcción respetuosas con el medio ambiente. *Fuente:* (Sierra, 2020)

5.1.2. HISTORIA EN COLOMBIA

En el cambiante paisaje de la construcción contemporánea, la búsqueda incansable de soluciones sostenibles ha llevado a una redefinición fundamental de los materiales de construcción. En este contexto, los ladrillos ecológicos emergen como una alternativa innovadora que no solo transforma la forma en que construimos, sino que también aborda los desafíos medioambientales urgentes.

En Colombia, 16 regiones se dedican a la producción de ladrillos de arcilla cocida, una práctica tradicional que, sin embargo, es altamente contaminante debido al elevado consumo de energía y las emisiones de gases y partículas tóxicas asociadas. No obstante, la creciente conciencia ambiental ha impulsado el auge de los ladrillos ecológicos en el país.

Estos ladrillos ecológicos ofrecen una alternativa sostenible para la construcción, preservando las ventajas de seguridad y comodidad presentes en los ladrillos tradicionales. Además, destacan por su menor impacto ambiental al generar menos emisiones y residuos. Ofrecen excelentes propiedades aislantes contra el frío, el calor, el ruido y la humedad, al tiempo que su peso contribuye a reducir el esfuerzo y el tiempo necesarios en el proceso de construcción.

Fuente: (Isan, 2018).

- Incentivos por el uso de ladrillos ecológicos en Colombia

Colombia está comprometida con la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para el año 2030, establecidos por la Asamblea General de las Naciones Unidas, los

cuales buscan "lograr un futuro mejor y más sostenible para todos". Como parte de esta iniciativa, se ha diseñado un sistema de beneficios para empresarios con el objetivo de incentivar acciones que promuevan el cuidado del medio ambiente.

Dentro de este contexto, el sector de la construcción desempeña un papel fundamental en la implementación de los ODS. A través del CONPES 3919, se impulsa el uso de materiales sostenibles, ofreciendo beneficios significativos para quienes adopten prácticas más amigables con el entorno. Estos beneficios incluyen la exención del IVA, acceso a créditos con tasas de interés reducidas, disminución en la carga tributaria y agilización de los trámites, contribuyendo así a la construcción de un futuro más sostenible.

Fuente: (Ossa, 2019).

La empresa caleña Conceptos Plásticos ha desarrollado una innovadora iniciativa: la construcción de viviendas utilizando ladrillos fabricados a partir de botellas PET. Este sistema, único y patentado en Colombia, implica la fusión del PET en un proceso de extrusión, moldeándolo en ladrillos de plástico que son posteriormente tratados con aditivos para garantizar resistencia al fuego. Este enfoque no solo es sostenible, sino que también permite un ahorro del 30% en comparación con otros materiales de construcción. Más de 1000 familias en el país han recibido viviendas gracias a este proyecto.

La Secretaría Distrital de Integración Social de Bogotá, a través de sus Centros Amar, ha respaldado la producción de eco-ladrillos mediante el aprovechamiento de botellas y envolturas plásticas. Estos eco-ladrillos se han utilizado para construir espacios de almacenamiento escolar, huertas y cercas de protección.

La implementación de medidas para ahorrar agua con sistemas de riego, el uso de materiales ecológicos en la construcción, la instalación de paneles solares y sistemas de reciclaje son acciones adicionales que no solo benefician al medio ambiente, sino que también contribuyen al cuidado y la sostenibilidad del planeta.

Fuente: (Infobae, 2020).

5.1.3. COMPOSICIÓN

Los ladrillos ecológicos pueden fabricarse con una variedad de materiales, algunos de los más comunes incluyen: (GONZALEZ, 2017)

- **Plástico reciclado:** Se utiliza plástico reciclado combinado con otros componentes para crear ladrillos resistentes. Estos ladrillos contribuyen a reducir la cantidad de desechos plásticos en vertederos y océanos.
- **Materiales naturales:** Se emplean elementos como la madera, el cáñamo, la paja o incluso la fibra de coco comprimida para crear bloques resistentes y sostenibles.
- **Residuos de construcción:** Residuos de demolición, escombros o restos de otros proyectos de construcción, se compactan o mezclan con otros componentes para formar ladrillos.
- **Tierra comprimida:** Mezclas de tierra, arcilla, paja u otros materiales naturales compactados en moldes para crear bloques sólidos.
- **Suelo estabilizado:** Mezclas de tierra con aditivos estabilizadores como cemento, cal o cenizas volantes que se compactan para formar bloques.

La elección del material depende de factores como la disponibilidad local, las propiedades específicas que se deseen (aislamiento, resistencia, durabilidad) y el enfoque ambiental del proyecto. Cada material tiene sus ventajas y desventajas en términos de costo, durabilidad, facilidad de producción y sostenibilidad. (GONZALEZ, 2017)

5.1.4. FABRICACIÓN

El proceso de fabricación de ladrillos con plástico generalmente sigue estos pasos:

- **Recolección y selección del plástico:**
 - Se recolectan desechos plásticos de diversas fuentes, como botellas, envases, bolsas, entre otros, etc.
 - Se realiza una clasificación por tipo de plástico y se seleccionan los que se pueden usar para la fabricación de ladrillos.
- **Trituración y limpieza:**
 - El plástico recolectado se tritura en pequeñas piezas para facilitar su manejo y procesamiento.
 - Posteriormente, se limpia para eliminar impurezas, etiquetas, residuos de alimentos, entre otros, etc.
 - Mezcla con otros materiales:
 - Se mezcla el plástico triturado con otros componentes, como arena, polvo de piedra caliza, cemento u otros aditivos.
 - La proporción exacta de plástico y otros materiales puede variar según la receta específica para fabricar los ladrillos.
- **Compactación y moldeado:**
 - La mezcla resultante se introduce en moldes específicos con la forma y tamaño deseados para los ladrillos.
 - Se somete a un proceso de compactación mediante prensado o vibración para asegurar la cohesión de los materiales y la forma deseada.
- **Curado y secado:**
 - Los ladrillos recién moldeados se dejan curar durante un tiempo determinado para que adquieran la resistencia necesaria.
 - Luego, se lleva a cabo un proceso de secado para eliminar la humedad y completar su endurecimiento.
- **Pruebas de calidad:**
 - Se realizan pruebas de resistencia, durabilidad y otros estándares de calidad para garantizar que los ladrillos cumplan con los requisitos de construcción, el resultado final se acumula para su ensayo y después almacenamiento como lo mostrado en la *Ilustración 70*.



Ilustración 70. Ladrillos de plástico (PLASTICO, 2023)

Este proceso puede variar ligeramente dependiendo de la tecnología específica utilizada por cada fabricante de ladrillos de plástico.

La fabricación de ladrillos con materiales de construcción reciclados puede seguir estos pasos generales:

- **Recolección y selección de materiales reciclados:**
 - Se recolectan materiales de construcción reciclados, como restos de concreto, cerámica, vidrio, plásticos reciclados, entre otros.
 - Estos materiales se clasifican, seleccionando aquellos que fueron adecuados para su utilización en la fabricación de ladrillos.
- **Trituración y limpieza:**
 - Los materiales reciclados se trituran para reducir su tamaño a partículas más pequeñas.
 - Luego, se limpian para eliminar cualquier impureza, restos de pintura, residuos orgánicos u otros elementos no deseados.
- **Mezcla con aglutinantes y otros aditivos:**
 - Los materiales reciclados triturados se combinan con aglutinantes como cemento, arcilla, polímeros o aditivos especiales para mejorar la resistencia y la cohesión.
 - La proporción precisa de los materiales reciclados y los aglutinantes varía según la fórmula utilizada y las características deseadas de los ladrillos.
- **Moldeado y compactación:**
 - La mezcla se introduce en moldes que determinan la forma y el tamaño de los ladrillos.
 - Mediante prensado o compactación, se aplica presión para darle forma y cohesión a la mezcla.
- **Curado y secado:**
 - Los ladrillos recién moldeados pasan por un proceso de curado, donde se les permite endurecerse y adquirir resistencia.
 - Posteriormente, se lleva a cabo un proceso de secado para eliminar la humedad y completar su endurecimiento.
- **Verificación de calidad:**
 - Se realizan pruebas de calidad para evaluar la resistencia, durabilidad y otras propiedades de los ladrillos fabricados con materiales reciclados.

- Estas pruebas aseguran que los ladrillos cumplan con los estándares de construcción y sean aptos para su uso.

El proceso específico puede variar según la tecnología empleada por el fabricante y los materiales reciclados utilizados en la producción de los ladrillos, un ejemplo del resultado de este tipo de ladrillos es la presentada en la Ilustración 71. a continuación. (GONZALEZ, 2017).



Ilustración 71. Ladrillos ecológicos (PLASTICO, 2023)

CAPITULO 6: “COMPARATIVA, VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MATERIALES MENCIONADOS”

La tabla 5 muestra un análisis detallado de las ventajas y desventajas de cada tipo de material de ladrillo, con el objetivo de comparar sus características y determinar cuál sería más adecuado para distintos tipos de construcciones.

Tabla 5. Ventajas y desventajas de los materiales Fuente (propia, 2023)

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
ADOBE	<p>Economía: Es un material económico, especialmente cuando se utiliza en la región local, lo que reduce los costos de transporte</p>	<p>Durabilidad: Requiere mantenimiento y puede ser susceptible a problemas de durabilidad, especialmente si se expone al agua.</p>
	<p>Sostenibilidad: Su extracción y uso no requieren una gran cantidad de energía, lo que lo convierte en una opción sostenible</p>	<p>Resistencia a Tracción: Carece de resistencia a tracción, lo que puede influir en su comportamiento estructural</p>
	<p>Accesibilidad: Facilita la autoconstrucción, permitiendo a las comunidades locales construir sus propias viviendas</p>	<p>Espesor de los Muros: Los muros de tierra tienden a tener un espesor considerable, lo que puede reducir el espacio útil en el interior de las estructuras.</p>
	<p>Propiedades Técnicas: Presenta buenas propiedades técnicas, incluida una buena resistencia a la compresión, aislamiento térmico y acústico, y una inercia térmica beneficiosa</p>	

ARCILLA COCIDA	<p>Durabilidad: Los ladrillos de arcilla cocida fueron resistentes y duraderos, capaces de soportar condiciones climáticas variadas y mantener su integridad estructural con el tiempo</p>	<p>Sostenibilidad: La extracción masiva de arcilla para la producción de ladrillos puede ser insostenible a largo plazo si no se gestionan adecuadamente los recursos naturales.</p>
	<p>Aislamiento térmico y acústico: Tienen propiedades naturales de aislamiento, ayudando a mantener temperaturas estables en el interior de los edificios y a reducir la transmisión de ruido</p>	<p>Impacto ambiental: La cocción de arcilla a altas temperaturas en hornos puede generar emisiones de gases de efecto invernadero y consumir grandes cantidades de energía.</p>
	<p>Variación de usos: Fueron versátiles y se pueden utilizar para diversos fines constructivos, desde muros de carga hasta elementos decorativos</p>	<p>Resiliencia: A pesar de su durabilidad, los ladrillos pueden ser vulnerables a terremotos o movimientos sísmicos importantes</p>
	<p>Disponibilidad: La arcilla es un material común y abundante en muchas regiones, lo que facilita su producción y uso local</p>	
TAPIA PISADA	<p>Uniformidad: Este tipo de material logra que en la estructura del muro se mantenga uniforme en toda su elaboración</p>	<p>Vulnerabilidad: Vulnerable a la alteración por la lluvia y el drenaje cercano, que puede requerir revoques de tierra o tratamiento con cal para su corrección.</p>
	<p>Monolítico: Posibilidad de lograr espesores considerables en una sola operación.</p>	<p>Preparación: Necesidad de un completo secado de los muros antes de instalar la cubierta</p>

TAPIA PISADA	<p>Estabilidad: Tiene la característica de que en el momento el secado no se presentan contracciones</p>	<p>Resguardo: Requiere de protección contra la lluvia durante el proceso de secado</p>
	<p>Durabilidad: Este tipo de material proporciona una baja probabilidad de deterioro por descomposición</p>	<p>Trabajo: Requiere mayor cantidad de mano de obra</p>
	<p>Eficiencia: Genera menor dependencia de la madera en las construcciones</p>	<p>Impermeabilización: Los cimientos deben estar adecuadamente impermeabilizados para prevenir problemas de humedad.</p>
	<p>Resistencia: Logra una buena resistencia al fuego y a los ataques de insectos</p>	
	<p>Versátil: Requiere mano de obra menos especializada.</p>	
	<p>Compactibilidad: No se necesita espacio de almacenamiento.</p>	
SILICO-CALCAREOS	<p>Uniformidad: Tienen una forma y tamaño más uniformes que los ladrillos de arcilla, lo que facilita su colocación y reduce la cantidad de mortero requerido</p>	<p>Superficie: Sus unidades tienen una textura demasiado lisa con poros muy pequeños lo cual hace que se dificulte la adherencia con el mortero</p>
	<p>Uniformidad: El proceso de fabricación es completamente mecanizado lo que hace que la diferencia de la resistencia a la compresión entre unidades sea prácticamente la misma</p>	<p>Costo: A menudo, suelen ser más costosos que los ladrillos de arcilla cocida, lo que puede encarecer el proyecto de construcción.</p>
	<p>Peso: Fueron más livianos que los ladrillos de arcilla cocida, lo que facilita su manipulación y transporte, reduciendo costos logísticos.</p>	<p>Menor disponibilidad: En algunas regiones, pueden ser más difíciles de conseguir debido a una menor producción en comparación con los ladrillos de arcilla.</p>

SILICO-CALCAREOS	<p>Menor absorción de agua: Comparados con los ladrillos de arcilla, suelen absorber menos agua, lo que ayuda a prevenir problemas de humedad.</p>	<p>Pérdida de resistencia en humedad constante: Aunque absorben menos agua que los ladrillos de arcilla, pueden perder resistencia si se encuentran constantemente en ambientes húmedos.</p>
	<p>Aislamiento térmico: Tienen propiedades de aislamiento térmico aceptables, lo que puede contribuir al control de la temperatura en interiores.</p>	<p>Impacto ambiental: Dependiendo de la composición específica, la extracción y procesamiento de los materiales necesarios para estos ladrillos puede tener un impacto ambiental significativo si no se maneja adecuadamente.</p>
CONCRETO	<p>Compresión: Los bloques de concreto tienen mayor resistencia a la compresión, la cual es una propiedad de cualquier material con la presión de soporte.</p>	<p>Inflexibilidad: Por su composición, los bloques de cemento fueron más complicados de partir, lo que obliga a utilizarlos enteros. Esto puede resultar un problema si se tiene planeado realizar cañerías.</p>
	<p>Resistencia al fuego: Al entrar en contacto con el fuego, sus características estructurales se conservan.</p>	<p>Almacenamiento: Se deben colocar totalmente secos, por lo que se debe tener especial atención del espacio en donde se almacén para evitar que entren en contacto con la lluvia o el agua</p>

CONCRETO	<p>Rendimiento de mezcla: Requieren de una menor cantidad de mezcla para unir cada bloque.</p>	<p>Inadecuado: No se recomienda su uso en zonas sísmicas</p>
	<p>Impermeabilidad: Tienen una mayor resistencia a la absorción del agua, haciéndolos casi impermeables, lo cual es una característica que beneficia las actividades de construcción.</p>	
	<p>Versatilidad: Cuentan con una buena capacidad mecánica, incombustibilidad, y aislación acústica.</p>	
CENIZA VOLANTE	<p>Sostenibilidad Ambiental: Al reutilizar la ceniza volante, un subproducto de la quema de carbón en centrales eléctricas se evita que este residuo se deseché en vertederos, lo que contribuye a la reducción de desechos y alivio del impacto ambiental.</p>	<p>Variabilidad de Calidad: La calidad de la ceniza volante puede variar según la fuente y la composición. Esto puede afectar la consistencia de los ladrillos y requerir un control de calidad estricto.</p>

CENIZA VOLANTE	<p>Reducción de Emisiones: La producción de ladrillos de ceniza volante puede resultar en una menor emisión de dióxido de carbono (CO₂) en comparación con ladrillos de cemento convencionales, ya que se reduce la cantidad de cemento Portland utilizado.</p>	<p>Limitación Geográfica: La disponibilidad de ceniza volante puede ser limitada en algunas regiones, lo que puede dificultar su uso generalizado en la fabricación de ladrillos.</p>
	<p>Mayor Durabilidad: Los ladrillos de ceniza volante a menudo exhiben una mayor durabilidad y resistencia a los cambios climáticos, lo que contribuye a una vida útil más larga en aplicaciones de construcción.</p>	<p>Requerimientos Regulatorios: Dependiendo de la ubicación y las regulaciones locales, pueden existir restricciones o normativas relacionadas con el uso de ceniza volante en la construcción.</p>
	<p>Aislamiento Térmico: Estos ladrillos pueden tener propiedades de aislamiento térmico mejoradas en comparación con ladrillos de concreto tradicionales, lo que ayuda a regular la temperatura en edificios.</p>	<p>Menor Resistencia Inicial: Los ladrillos de ceniza volante pueden tener una resistencia inicial más baja que los ladrillos de concreto convencionales, lo que podría afectar su idoneidad para algunas aplicaciones.</p>
	<p>Reducción de Costos: El uso de ceniza volante puede reducir los costos de producción al reemplazar parte del cemento Portland, que tiende a ser más costoso, con un material más económico.</p>	

<p>CENIZA VOLANTE</p>	<p>Ahorro de energía y reducción de emisiones: El reciclaje de cenizas volantes puede realizar efectivamente la reutilización de recursos y evitar el desperdicio de recursos. Al mismo tiempo, al reducir la demanda de materias primas, también reduce la contaminación, como los gases y las aguas residuales producidas durante la minería y otros procesos de producción. Por lo tanto, el uso de cenizas volantes puede tener el efecto de ahorro de energía y reducción de emisiones.</p>	
	<p>ECOLOGICOS</p>	<p>Sostenibilidad: Reducen el impacto ambiental al utilizar materiales reciclados o naturales.</p>
<p>ECOLOGICOS</p>	<p>Menor huella de carbono: Comparados con los ladrillos convencionales, tienen una menor huella de carbono en su producción.</p>	<p>Resistencia: Dependiendo del material, su resistencia y durabilidad pueden variar, lo que puede afectar su aplicación en ciertos proyectos.</p>
<p>ECOLOGICOS</p>	<p>Aislamiento térmico y acústico: Algunos de estos ladrillos ofrecen mejores propiedades aislantes.</p>	<p>Resistencia y durabilidad: Algunos ladrillos ecológicos pueden ser menos duraderos o más susceptibles a la humedad si no se estabilizan adecuadamente.</p>
<p>ECOLOGICOS</p>	<p>Eficiencia energética: Algunos ofrecen mejores propiedades de aislamiento térmico y acústico, mejorando la eficiencia energética de los edificios.</p>	<p>Certificaciones y normativas: La falta de estándares universales para estos materiales dificulta su aceptación y aplicación generalizada en la construcción.</p>

ECOLOGICOS

Ahorro de recursos: Al emplear materiales reutilizados o abundantes en la naturaleza, disminuyen la demanda de recursos no renovables.

Procesos de producción: La producción a gran escala de estos ladrillos puede ser costosa o requerir tecnologías específicas, lo que plantea desafíos en términos de escalabilidad y accesibilidad.

CAPITULO 7: “ESTUDIOS RECIENTES EN MEJORAS Y EXPERIMENTACIÓN DEL LADRILLO Y BLOQUE”

7.1. ADOBE

- Reforzamiento cercano a la superficie de muros de adobe utilizando diferentes materiales: Evaluación del desempeño sísmico (Zhang et al., 2023)

Este estudio se centró en el fortalecimiento sísmico de muros de adobe mediante la técnica de montaje cercano a la superficie (NSM, por sus siglas en inglés) utilizando diferentes materiales y esquemas de refuerzo. Se llevaron a cabo pruebas en seis paneles de pared de adobe, que incluyeron una pared no reforzada y cinco especímenes reforzados con tiras de mortero reforzado, madera contrachapada de bambú y madera. Los materiales de refuerzo se insertaron en ranuras cortadas en ambos lados de las paredes. Los resultados se analizaron en términos de disipación de energía, resistencia lateral, desplazamiento último, degradación de la rigidez, ductilidad y tolerancia máxima de las aceleraciones máximas del suelo.

Los resultados de las pruebas indicaron que la resistencia a la tracción, el módulo de elasticidad y el esquema de los materiales de refuerzo tuvieron un impacto significativo en el comportamiento sísmico y el modo de falla de las muestras. Las tiras de mortero reforzado mejoraron significativamente el comportamiento sísmico de los muros de adobe, especialmente cuando se utilizaron esquemas de refuerzo horizontales y verticales. El refuerzo con contrachapado de bambú y madera también logró resultados satisfactorios en términos de ductilidad, disipación de energía y tolerancia a las aceleraciones sísmicas máximas del suelo.

El estudio proporcionó una fórmula de cálculo de la capacidad de carga lateral para los muros de adobe reforzados y evaluó la idoneidad del esquema de refuerzo propuesto. Se comparó el esquema propuesto con otros esquemas de refuerzo para estructuras de adobe y se analizaron sus ventajas y desventajas. En resumen, el estudio demostró la eficacia del método NSM y ofreció insights importantes para mejorar el comportamiento sísmico de las estructuras de adobe, contribuyendo así al campo de la ingeniería sísmica y la construcción sostenible. Los hallazgos proporcionan una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en el diseño y la construcción de estructuras de adobe más resilientes ante eventos sísmicos. *Fuente:* (Zhang et al., 2023)

- bloques de adobe como evaporadores solares sin coste de material para regiones con escasez de agua (Caratenuto et al., 2023)

Este estudio detalla un dispositivo de evaporación solar de alta eficiencia que emplea bloques de adobe cocido compuestos únicamente de tierra, un material fácil de fabricar y ampliamente disponible sin costo. Los bloques exhiben notables propiedades de absorción de agua, absorción solar y conversión fototérmica eficiente, logrando una tasa de evaporación de agua pura de $2,52 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (con un 77 % de eficiencia de evaporación) y una evaporación de agua salada de $2,16 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ bajo la irradiancia solar. Estos bloques tienen la capacidad de convertir agua salada en agua dulce durante un período de 6 horas, con una acumulación mínima de sal y un rápido rechazo de las partículas al depósito subyacente.

La fabricación de los evaporadores de bloque de adobe implica el uso de tierra cosechada y arcilla de terracota húmeda y desairada. La composición medida del suelo utilizado es 57 % arena, 37 % limo y 6 % arcilla. Los bloques de adobe presentan baja conductividad térmica para localizar el calor, transportan agua rápidamente a la superficie superior y absorben aproximadamente el 90 %

de la radiación solar. Estas características permiten una alta tasa de evaporación estable en el tiempo, evidenciando que el bloque de adobe cocido se posiciona como un material de evaporación excepcional. Su capacidad para producir agua dulce con un equipo mínimo y materias primas sin costo ofrece oportunidades significativas para abordar la escasez de agua en entornos con recursos y acceso limitados a tecnologías avanzadas. Este enfoque se presenta como una solución sostenible y de bajo costo para comunidades menos desarrolladas y fuera de la red, abriendo la posibilidad de mejoras significativas en el acceso al agua potable. *Fuente:* (Caratenuto et al., 2023)

7.2. RCILLA COCIDA

A continuación, se mencionan algunos artículos que tienen que ver con ladrillos de arcilla cocida pero adicionalmente se les ha agregado algún tipo de biomasa con el fin de que la producción de los ladrillos sea menos contaminante para el planeta

- Harina de hueso de olivo y de paja de trigo (Aouba et al., 2016)

El artículo exploró la necesidad imperante de desarrollar materiales de construcción más sostenibles como respuesta al impacto ambiental del sector de la construcción, responsable de aproximadamente el 50% de las emisiones globales de CO₂. La investigación se centró en la incorporación de residuos orgánicos, como harina de hueso de olivo (OSF, por sus siglas en inglés) y paja de trigo (WS, por sus siglas en inglés), en la fabricación de ladrillos con el objetivo de crear materiales más ligeros y respetuosos con el medio ambiente.

Durante el proceso de fabricación, se demostró que la inclusión de estos residuos redujo la densidad aparente de los ladrillos. Sin embargo, se observó que la densidad aparente disminuía con temperaturas de cocción más altas, y la absorción de agua aumentaba con la cantidad de materiales orgánicos incorporados. La conductividad térmica, esencial para lograr un mejor aislamiento térmico, también se destacó como un factor clave en la competencia entre los fabricantes de ladrillos.

El estudio experimental evaluó las propiedades físicas y mecánicas de ladrillos de arcilla cocida con la adición de OSF y WS en diversas proporciones. Los resultados indicaron que la incorporación del 5% en peso de WS y OSF producía los mejores resultados en términos de resistencia a la compresión y absorción de agua, señalando una posible solución sostenible para mejorar el aislamiento térmico en la construcción.

En conclusión, el estudio respalda la viabilidad de emplear residuos orgánicos a escala industrial en la producción de ladrillos de arcilla cocida. Esta práctica no solo tiene el potencial de reducir las emisiones de carbono en el sector de la construcción, sino que también contribuye al reciclaje de desechos agrícolas, enfocándose en soluciones sostenibles que pueden tener un impacto positivo en la industria y en la preservación del medio ambiente. *Fuente:* (Aouba et al., 2016)

- Derivados del peridermo de yuca y de residuos de ladrillos de arcilla (Kumanan & Sofi, 2023)

Este artículo se centró en la revitalización de la técnica de fabricación de adobes de arcilla cruda, pero con un enfoque biomodificado adecuado para el mercado comercial. Los adobes biomodificados fueron fabricados mediante la sustitución de la arcilla cruda por desechos de ladrillos de arcilla, polvo de piedra caliza, derivados de la yuca en forma de cenizas y fragmentos secos, y una cantidad específica de biojarabe orgánico. Se llevaron a cabo estudios utilizando técnicas de análisis de rayos X (XRD, por sus siglas en inglés), microscopía electrónica de barrido

(SEM, por sus siglas en inglés) y espectroscopia de dispersión de energía (EDS, por sus siglas en inglés) para examinar la composición y la distribución de fases de las muestras.

Además, se investigó la estabilidad a la compresión de los adobes biomodificados y se estableció una relación entre la cantidad de agua utilizada y el aglutinante. Se utilizaron modelos de predicción, incluyendo redes neuronales y análisis de regresión lineal múltiple, para analizar y predecir el comportamiento de los adobes biomodificados.

Se encontró que la mejor estabilidad a la compresión se logró al utilizar cenizas de peridermo de yuca en proporciones del 2,5%, 5% y 7,5%, con resistencias que variaban entre 5 y 7 MPa y relaciones agua-aglutinante que oscilaban entre 0,83 y 0,97. Los resultados de los modelos de predicción estadística coincidieron en gran medida con los resultados experimentales, respaldando la viabilidad de esta técnica.

Los autores concluyeron que los adobes de arcilla cruda biomodificados representaron una alternativa sostenible y respetuosa con el medio ambiente para la construcción, especialmente en regiones en desarrollo donde se valoraba la asequibilidad y la sostenibilidad.

La introducción de materiales como desechos de bloques de arcilla, polvo de piedra caliza, cenizas de peridermo de yuca y biojarabe orgánico mejoró significativamente la estabilidad y la resistencia a la compresión de los adobes, haciéndolos adecuados para aplicaciones comerciales.

Los modelos de predicción utilizados, incluyendo las redes neuronales y el análisis de regresión lineal múltiple, proporcionaron herramientas eficaces para predecir el comportamiento de los adobes biomodificados, facilitando así su adopción en la construcción sostenible.

La investigación abrió nuevas posibilidades para el uso de desechos de peridermo de yuca y otros materiales orgánicos en la construcción, lo que podría reducir aún más el impacto ambiental de la industria de la construcción. *Fuente:* (Kumanan & Sofi, 2023)

7.3. TAPIA PISADA

En el continuo desarrollo del campo de la construcción sostenible y la búsqueda de alternativas ecoamigables, se ha renovado el interés en los bloques de tapia pisada como una opción prometedora. Este material, arraigado en técnicas constructivas tradicionales, ha experimentado un resurgimiento en la investigación contemporánea debido a sus propiedades únicas y su capacidad para integrarse armoniosamente con los principios de construcción sostenible. En este contexto, el presente trabajo se sumerge en nuevos estudios sobre los bloques de tapia pisada, explorando a fondo sus características, potenciales aplicaciones y contribuciones a un enfoque más sostenible en el panorama de la construcción moderna. Este viaje investigativo busca desentrañar las posibilidades innovadoras que esta antigua técnica constructiva puede aportar al escenario arquitectónico actual, posicionándola como una alternativa valiosa en la búsqueda de soluciones que fusionen eficiencia, sostenibilidad y respeto por las prácticas constructivas tradicionales.

- Características Técnicas y Mejoras en la Producción de bloques de Tierra Comprimida-Estabilizada Utilizando Cal y Cascarilla de Arroz(Muntohar, 2011)

Este estudio investigó la aplicación de cal y ceniza de cáscara de arroz para mejorar las propiedades de bloques de tierra comprimida estabilizada (CSE, por sus siglas en inglés) o bloques sin cocer. Se llevaron a cabo pruebas de resistencia a la compresión y a la flexión, incluyendo resistencia después de la inmersión en agua. Los resultados revelaron que la adición de cal y ceniza de cáscara

de arroz mejoró significativamente la resistencia a la compresión y a la flexión de los bloques de arcilla. La proporción óptima de cal y RHA (cascarilla de arroz, por sus siglas en inglés) fue de 1:1 en peso. Además, la inclusión de arena en la mezcla de arcilla estabilizada mejoró la retención de agua.

La construcción convencional con bloques cocidos enfrenta desafíos energéticos y ambientales, y este estudio propone una alternativa sostenible. Los bloques de tierra sin cocer estabilizados con cal y ceniza de cáscara de arroz (RHA, por sus siglas en inglés) presentan una opción más ecológica. La RHA, un subproducto abundante en muchas regiones tropicales se utiliza para mejorar propiedades geotécnicas, explorando mezclas de cal, RHA y arcilla para obtener bloques con resistencia mejorada y mayor sostenibilidad ambiental.

El suelo arcilloso utilizado fue de una antigua zona agrícola en Yogyakarta, Indonesia, con una proporción de arcilla, limo y arena fina del 20%, 33% y 47%, respectivamente. Los límites de consistencia del suelo fueron del 41%, 25% y 16% para el límite líquido, límite plástico y límite de contracción, respectivamente.

Las pruebas de resistencia a la compresión y a la flexión demostraron mejoras significativas con la adición de cal y RHA, siendo la proporción 1:1 la más eficaz. La inclusión de arena también mejoró la capacidad de retención de agua. Este enfoque innovador en la producción de bloques sin cocer ofrece beneficios económicos y ambientales, destacando su potencial aplicación en la construcción sostenible. En conclusión, la investigación subraya la viabilidad y eficacia de esta alternativa, destacando su contribución a la construcción sostenible y su relevancia en el contexto ambiental actual. *Fuente:*(Muntohar, 2011)

- Propiedades mecánicas y termo físicas de bloques de tierra comprimida reforzados con fibras de duma crudas y tratadas.(Bouchebra et al., 2022)

Este artículo examinó las propiedades físicas y mecánicas de bloques de tierra comprimida (Compressed Earth Bricks) (CEB, por sus siglas en inglés) reforzados con fibras de palma doum crudas (Raw Doum Palm Fibers) (RDF, por sus siglas en inglés) y fibras de palma doum tratadas (Treated Doum Palm Fibers) (TDF, por sus siglas en inglés). Las fibras se utilizaron en porcentajes que variaron del 0 al 2% en masa para reforzar los CEB. A pesar de que la adición de RDF y TDF redujo la resistencia a la compresión en un 25% y un 35%, respectivamente, también mejoró el aislamiento térmico del CEB y disminuyó su densidad en aproximadamente un 16%. Los resultados indicaron que la absorción capilar aumenta con el aumento del contenido de fibra.

En el pasado, el artículo resaltó la importancia de encontrar alternativas ecológicas para los bloques cocidos, que fueron responsables de un alto consumo de energía y emisiones de CO₂ (Dióxido de Carbono) en el sector de la construcción. Los bloques de tierra sin cocer se consideraron una opción viable debido a su disponibilidad, reciclabilidad y menor demanda de energía para su producción. A pesar de las propiedades mecánicas deficientes y la sensibilidad al cambio climático, el uso de fibras como refuerzo demostró mejorar significativamente estas deficiencias. Estudios anteriores han confirmado que las fibras, incluyendo las de palma doum, pueden mejorar tanto las propiedades mecánicas como las termo físicas de los bloques de tierra sin cocer.

En conclusión, el artículo presentó un enfoque innovador hacia la producción de materiales de construcción ecológicos, utilizando fibras de palma doum para reforzar los bloques de tierra comprimida. Los resultados respaldaron la viabilidad de esta técnica y sugirieron su potencial

aplicación en la industria de la construcción como una alternativa sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

Fuente: (Eliche-Quesada et al., 2018)

- Valorización de Residuos de Combustión de Carbón en la Producción de bloques Comprimidos: Investigación y Desarrollo (Vinai et al., 2013)

Este artículo presentó los resultados de una investigación experimental sobre la resistencia a la compresión de bloques comprimidos sin cocer utilizando residuos de combustión de carbón (CCR, por sus siglas en inglés). Se llevaron a cabo pruebas físicas y ópticas preliminares, incluidas pruebas de lixiviación, en la escoria de carbón. Como agentes estabilizantes, se seleccionaron cemento en polvo, tierra arcillosa laterítica y arena. Se probaron 12 dosis, produciendo alrededor de 300 bloques con una prensa manual. Los resultados mostraron resistencias a la compresión que variaban desde 4 MPa hasta 27 MPa, resaltando la efectividad de la estabilización con cemento y laterita. El estudio también abordó propiedades puzolánicas, estabilización con cal hidratada, propiedades térmicas y durabilidad de los bloques.

Con el aumento de la demanda de energía del carbón, los residuos de la combustión de carbón (CCR, por sus siglas en inglés) se convirtieron en una realidad omnipresente. Este estudio se centró en la valorización de las cenizas de fondo (BA, por sus siglas en inglés) producidas por la Sociedad del Carbón de Níger. La investigación buscó contribuir a soluciones sostenibles, especialmente en países en desarrollo con altas tasas de crecimiento demográfico y necesidades urgentes de vivienda asequible.

Se realizó una caracterización física y óptica preliminar de la escoria de carbón, con pruebas de lixiviación, para evaluar su idoneidad como material para bloques. Como agentes estabilizantes, se emplearon cemento en polvo, tierra arcillosa laterítica y arena. La producción de bloques incluyó pruebas con 12 dosis y la fabricación de aproximadamente 300 bloques utilizando una prensa manual.

Los resultados destacaron resistencias a la compresión uniaxial (UCS, por sus siglas en inglés) significativas, alcanzando hasta 27 MPa con la estabilización más alta de cemento. La mezcla de 20% de laterita y 10% de cemento mostró UCS superior a 7,5 MPa después de 45 días de curado. La investigación también se orientó hacia las propiedades puzolánicas de los CCR, estabilización con cal hidratada, propiedades térmicas y evaluación de durabilidad. Este enfoque de reciclaje redujo los volúmenes de residuos de cenizas y prometió una producción satisfactoria de bloques sin cocer. *Fuente:* (Vinai et al., 2013)

7.4. SILICO-CALCAREOS

- Mejora de los compuestos de ladrillo triturado y cal mediante nanoaditivos (Theodoridou et al., 2016)

En este estudio multidisciplinario, se investigó la mejora de compuestos de ladrillo triturado y cal mediante la incorporación de nanosílice (SiO_2) y nanotitania (TiO_2) como aditivos al 3% en peso del aglutinante. A pesar de la porosidad, baja resistencia a la compresión y cinética de reacción lenta características de los compuestos de ladrillo triturado y cal, se encontró que la nanosílice mejoró significativamente las propiedades de envejecimiento temprano, mientras que la nanotitania aumentó la resistencia contra la cristalización de la sal. Los análisis complementarios FTIR,

DTA/TG y SEM confirmaron una mejor evolución de la hidratación y la carbonatación de los compuestos de cal con ladrillo triturado y nanoaditivos.

Los compuestos hidráulicos tradicionales, como los morteros y revoques a base de cal, han sido objeto de estudio en ciencia de materiales y arqueología debido a su importancia histórica y arqueológica. La cal, utilizada desde el Neolítico, fue un conglomerante clave. Los compuestos de ladrillo triturado y cal, aunque se popularizaron en la arquitectura romana, tienen raíces antiguas y se encontraron usos en civilizaciones como la minoica y micénica. El ladrillo triturado actuaba como una puzolana artificial, reaccionando químicamente en presencia de humedad con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ para producir compuestos con propiedades "cementantes". Estos compuestos se caracterizaban por su durabilidad en comparación con los morteros de cal típicos.

Este estudio pionero se centró en mejorar las propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad de los compuestos de ladrillo triturado y cal mediante nanoaditivos. Aunque la nanotecnología fue aplicada en compuestos a base de cemento, su aplicación en morteros y revoques a base de cal fue relativamente inexplorada. Se diseñaron seis mezclas compuestas a base de cal con trabajabilidad constante, y se utilizaron nanosílice y nanotitanio como aditivos. La incorporación de nanosílice resultó en una mejor evolución de la hidratación, mientras que la nanotitanio aumentó la resistencia contra la cristalización de la sal. *Fuente:* (Theodoridou et al., 2016)

- Uso de cenizas volantes de carbón en materiales de construcción ecológicos: ladrillos de arcilla cocida y ladrillos sílice-calcáreos no cocidos. (Eliche-Quesada et al., 2018)

Las cenizas volantes de carbón, clasificadas como cenizas silicoaluminosas de clase F, poseían propiedades puzolánicas debido a su riqueza en SiO_2 y Al_2O_3 , similares a las arcillas utilizadas en la producción de ladrillos de arcilla cocida. Esta similitud sugiere la posibilidad de disminuir el consumo de materia prima en la fabricación de ladrillos cerámicos mediante la incorporación de estas cenizas.

A medida que se aumentó la proporción de residuos de cenizas volantes de carbón (CFA, por sus siglas en inglés) en la producción de ladrillos de arcilla cocida, se observó una disminución progresiva en las propiedades mecánicas, especialmente cuando superaba el 20% en peso. Este decremento se atribuyó al aumento de la porosidad abierta debido al incremento en la cantidad de residuo, afectando negativamente la resistencia del material.

En contraste, los ladrillos sílice-calcáreos no cocidos presentaron una disminución en la densidad aparente y absorción de agua a medida que se redujo el contenido de cenizas volantes de carbón. Aquellos con un contenido entre 40% y 60% en peso de CFA exhibieron la máxima resistencia a la compresión, variando entre 43 y 46 MPa. Estos ladrillos, con la combinación óptima de materiales puzolánicos, demostraron una excelente resistencia mecánica.

Los ladrillos cocidos de arcilla con CFA y los ladrillos no cocidos sílice-calcáreos con CFA-Geosilex mostraron propiedades tecnológicas óptimas que cumplen con los estándares de calidad requeridos para materiales de construcción. La utilización de cenizas volantes de carbón y geo sílex como materias primas alternativas se revela como una solución viable y sostenible para la fabricación de ladrillos cerámicos con propiedades mecánicas adecuadas.

En conclusión, este estudio destaca la importancia de explorar vías efectivas para la reutilización de residuos de centrales termoeléctricas, como las cenizas volantes de carbón, en la industria de la

construcción. La conversión de estos residuos en materias primas para la producción de ladrillos no solo contribuye a la reducción de desechos, sino que también fomenta prácticas más sostenibles en la industria de la construcción al aprovechar los recursos de manera eficiente. Este enfoque respalda la necesidad de adoptar soluciones más responsables con el medio ambiente en la producción de materiales de construcción. *Fuente:* (Eliche-Quesada et al., 2018)

- Solución de producción de ladrillos silicocalcáreos (KEDA, 2023)

En el pasado, se presentó un caso de estudio que abordaba la producción de ladrillos silicocalcáreos, un material de construcción elaborado a partir de cenizas volantes, escoria, cal y arena, entre otros materiales. La colaboración entre la empresa Shandong Xinfra Building Materials Co., Ltd. y KEDA en 2010 marcó el inicio de un proyecto destinado a la fabricación de ladrillos silicocalcáreos. Se adquirieron dos bloqueras hidráulicas automáticas KDQ1300 con una capacidad de producción anual de 120 millones de ladrillos estándares.

Durante el proceso de fabricación, se utilizó áridos como material principal, asegurando una densidad moderada para los ladrillos portantes. En casos donde la densidad era demasiado alta, se incorporó un agregado ligero para reducir el peso volumétrico del bloque.

La empresa implementó equipos de fabricación que empleaban una estructura de cable enrollado, junto con la barra de tensión que consta de tres vigas y cuatro columnas. Se desarrollaron diversos modelos y tonelajes de prensas para la producción de ladrillos de pared.

En cuanto a la innovación, se introdujeron los ladrillos de cenizas volantes curados en autoclave, un tipo de ladrillo silicocalcáreo que emplea cenizas volantes en lugar de arcilla como materia prima. Este enfoque no solo preserva la arcilla, sino que también ahorra espacio de almacenamiento. Además, contribuye a la protección del medio ambiente al eliminar la contaminación atmosférica y del agua subterránea asociada con el almacenamiento a largo plazo de materiales. Estos ladrillos no solo son ambientalmente amigables, sino que también ayudan a ahorrar energía debido a su menor peso volumétrico, reduciendo así el peso muerto de los edificios y los costos básicos de construcción. *Fuente:* (KEDA, 2023)

7.5. CONCRETO

- Reciclaje de Vidrio Usado en Bloques de Concreto Mezclado en Seco: Evaluación de la Reacción Álcali-Sílice (ASR) mediante Pruebas de Laboratorio Aceleradas y Monitoreo de Campo a Largo Plazo (Yang et al., 2020)

Este estudio abordó la problemática de la gestión de residuos de vidrio con un enfoque específico en su aplicación en la producción de bloques de concreto mezclado en seco. La reacción álcali-sílice (ASR, por sus siglas en inglés) limitaba la aplicabilidad de los agregados de vidrio reciclado en el concreto. Se investigó el beneficio del método de mezcla en seco a través de pruebas de laboratorio y un monitoreo de campo a largo plazo que abarcó 15 años.

Los resultados mostraron que, a diferencia de los morteros mezclados en húmedo, los morteros mezclados en seco experimentaron una expansión ASR menor. Este beneficio se validó en un período de 15 años de monitoreo de campo, destacando la durabilidad y estabilidad a largo plazo del enfoque de mezcla en seco. Además, se demostró que el polvo de vidrio utilizado como material cementoso suplementario controla efectivamente la formación de gel ASR dañino en los morteros mezclados en seco, lo que permitió un mayor uso de vidrio reciclado en bloques de concreto.

El aumento en el consumo de productos embotellados de vidrio ha generado una creciente cantidad de residuos de vidrio, lo que presenta desafíos significativos en la gestión de estos desechos, especialmente en ciudades como Hong Kong. Este estudio, al centrarse en la posibilidad de utilizar residuos de vidrio en la producción de bloques de concreto mezclado en seco, ofreció una solución ambientalmente amigable para reducir la carga en los vertederos y conservar recursos naturales.

Los resultados de las pruebas de laboratorio y el monitoreo de campo a largo plazo validaron la eficacia del método de mezcla en seco al reducir la expansión ASR de los agregados de vidrio en comparación con la mezcla en húmedo. La consistencia entre la formación del gel ASR en los morteros mezclados en seco y los resultados de las pruebas de laboratorio respaldó la efectividad del método a largo plazo. El uso estratégico de polvo de vidrio como material cementoso suplementario emergió como una solución eficaz para controlar la formación del gel ASR dañino en los morteros mezclados en seco, permitiendo así una mayor incorporación de vidrio reciclado en bloques de concreto. *Fuente:* (Yang et al., 2020)

- Estudio sobre la variación de propiedades de adoquines de concreto reciclado que contienen múltiples materiales de desecho. (Wang et al., 2023)

El estudio investigó exhaustivamente la utilización de materiales de desecho en la producción pasada de bloques de concreto, centrándose en cómo la sustitución de áridos naturales por áridos reciclados afectó diversas propiedades de estos bloques. Entre los materiales de desecho considerados se encuentran el árido grueso de concreto reciclado (RCCA, por sus siglas en inglés), vidrio triturado (CG, por sus siglas en inglés-Crushed Glass), árido fino de concreto reciclado (RCFA, por sus siglas en inglés) y escoria granulada molida de alto horno (GGBS, por sus siglas en inglés).

El artículo comenzó con una introducción que destacó la creciente conciencia sobre el agotamiento de recursos naturales y la generación de residuos de demolición desde la revolución industrial. Se mencionaron políticas gubernamentales y esfuerzos de investigación para maximizar el uso de desechos de demolición. El objetivo de la investigación fue explorar a fondo las propiedades, incluida la resistencia a la compresión, la resistencia a la rotura por tracción, la absorción de agua, la resistencia al deslizamiento y la resistencia a la abrasión de bloques de concreto con la inclusión de varios materiales reciclados.

En la sección de antecedentes, se revisaron estudios previos que exploraron la sustitución de áridos en el concreto, destacando el potencial de los bloques de concreto para incorporar materiales reciclados debido a sus estándares de calidad relativamente más bajos.

La investigación utilizó un diseño experimental ortogonal (OED, por sus siglas en inglés) para analizar la influencia de varios factores en las propiedades de los bloques. Los materiales reciclados se clasificaron en tres categorías, y se detallaron los métodos de prueba, incluida la microscopía electrónica de barrido (SEM, por sus siglas en inglés) para examinar las microestructuras.

Los resultados y conclusiones del estudio revelaron que la resistencia a la compresión se vio afectada negativamente por la presencia de múltiples materiales de desecho, y se establecieron límites de reemplazo para mantener la resistencia deseada. La absorción de agua se vio influenciada por la porosidad de algunos materiales reciclados, y se propusieron límites de reemplazo para cumplir con los estándares. Además, se discutieron las influencias en otras

propiedades como la resistencia a la rotura por tracción, resistencia al deslizamiento y resistencia a la abrasión.

El estudio destacó la viabilidad de utilizar múltiples materiales de desecho en bloques de concreto elegibles, siempre y cuando se respeten los niveles de reemplazo adecuados. Se proporcionó un método para predecir propiedades de bloques de concreto reciclado en futuros diseños, destacando la importancia de considerar la combinación óptima de materiales reciclados para lograr propiedades deseables en los productos finales. En conclusión, el artículo resalta la importancia de explorar y adoptar enfoques sostenibles en la construcción para abordar los desafíos ambientales y avanzar hacia un futuro más respetuoso con el medio ambiente. *Fuente:* (Wang et al., 2023)

- Comportamiento portante de bloques de concreto de árido reciclado reforzado con fibras de acero (Fayed et al., 2023)

El presente estudio investigó el comportamiento portante de bloques de concretos fabricados con árido reciclado reforzado con fibras de acero. La resistencia al soporte del concreto es crucial para garantizar la transmisión segura de cargas a diversos elementos estructurales. Este enfoque innovador se centra en mejorar la resistencia portante de bloques de concreto mediante la incorporación de fibras de acero en la mezcla con áridos reciclados (RAC, por sus siglas en inglés).

La investigación comprendió una evaluación experimental de la resistencia al soporte de bloques de concreto, variando los porcentajes de sustitución de áridos reciclados (RCA) por áridos naturales (NA, por sus siglas en inglés) y la adición de diferentes porcentajes de fibras de acero. Los resultados se obtuvieron a través de pruebas en bloques de distintos tamaños (100 × 100 × 100 mm, 150 × 150 × 150 mm y 250 × 250 × 250 mm).

El concreto con áridos reciclados (RAC) ha sido reconocido por su rendimiento mecánico inferior debido a defectos inherentes, como menor densidad aparente, mayor índice de aplastamiento y mayor porosidad. Aunque estudios previos han explorado métodos para mejorar el rendimiento del RAC, la efectividad de estas medidas aún no ha alcanzado el rendimiento del concreto con áridos naturales (NAC).

El estudio también abordó la falta de investigaciones sobre el comportamiento de compresión axial de las columnas de concreto reforzado con fibras de acero (SFRRAC, por sus siglas en inglés). La resistencia al soporte es crítica en elementos estructurales como conexiones columna-zapata, anclajes de concreto, ménsulas y pedestales de puentes, expuestos a cargas concentradas significativas.

En términos de resultados experimentales, se observó que la resistencia a la compresión, el esfuerzo de apoyo y la rigidez de los bloques con áridos reciclados disminuyeron en comparación con las muestras de control sin RAC. No obstante, la introducción de fibras de acero mejoró significativamente estos valores, demostrando que la combinación de RAC y fibras de acero (SFRRAC) supera tanto al RAC como al NAC en rendimiento.

Este estudio resalta la importancia de la resistencia al soporte en el diseño de elementos estructurales, contribuyendo a llenar el vacío existente en la investigación sobre el comportamiento específico de materiales SFRRAC. La variación de partículas de concreto reciclado con diferentes proporciones de árido natural y fibras de acero se revela como un factor crucial que afecta la

resistencia portante del concreto. En conclusión, este estudio proporciona valiosa información para la optimización de mezclas de concreto reciclado reforzado con fibras de acero, destacando su potencial en aplicaciones estructurales. *Fuente:* (Fayed et al., 2023)

7.6. CENIZA VOLANTE

- Secuencia de mezclado óptima y contenido de humedad para ladrillos de cenizas volantes de cal hidratada (V. Gupta et al., 2021)

En este estudio realizado en la India, se centró en el proceso de mezclado de ladrillos de ceniza volante estabilizados con cal. Los ladrillos de ceniza volante ganaron popularidad en comparación con los ladrillos de arcilla cocida debido a sus beneficios ecológicos, pero la falta de directrices técnicas y el alto contenido de humedad en las materias primas afectaron negativamente su rendimiento.

Para abordar este problema, se sugirió el uso de cal hidratada seca y en polvo en lugar de cal apagada, con el objetivo de evitar el exceso de humedad. El estudio experimental se enfocó en examinar el efecto de diferentes secuencias de mezcla y niveles de humedad en las propiedades de los ladrillos de ceniza volante de cal hidratada (HLF, por sus siglas en inglés).

Se encontró que los ladrillos con un contenido de humedad del 15%, producidos mediante una secuencia de mezclado en dos etapas, exhibieron un mejor rendimiento mecánico y de durabilidad. Además, se realizaron comparaciones económicas y ambientales, revelando que los ladrillos HLF fueron más beneficiosos en términos de energía y huella de carbono en comparación con los ladrillos de arcilla cocida.

En el análisis detallado, se evidenció que la elección de secuencias de mezcla y niveles de humedad adecuados es crucial para optimizar el rendimiento de los ladrillos HLF. Este enfoque no solo mejoró las propiedades mecánicas y de durabilidad, sino que también resaltó los beneficios económicos y ambientales de los ladrillos de ceniza volante estabilizados con cal hidratada.

Este estudio ofrece una contribución valiosa al campo de la construcción sostenible, proporcionando pautas específicas para mejorar el proceso de mezclado de ladrillos de ceniza volante con cal hidratada. La investigación destaca la importancia de considerar cuidadosamente las condiciones de mezcla y la humedad para lograr un rendimiento óptimo y subraya la viabilidad económica y ambiental de estos ladrillos en comparación con los tradicionales de arcilla cocida. *Fuente:* (V. Gupta et al., 2021)

- Investigación de las características y comportamiento de lixiviación de cenizas volantes de carbón, ladrillos de cenizas volantes de carbón y ladrillos de arcilla. (N. Gupta et al., 2017)

Las cenizas volantes de carbón (CFA, por sus siglas en inglés), un subproducto relevante de las centrales térmicas en la India, fueron objeto de estudio en este análisis, considerando su generación creciente y el impacto ambiental asociado. La necesidad de abordar de manera sostenible estos desechos industriales, que contienen trazas de metales pesados con diversas movilidades y potenciales riesgos para la salud humana y el medio ambiente, se convirtió en un foco crucial.

En la investigación, se evaluó el potencial de lixiviación de metales pesados en las CFA, así como en los ladrillos de cenizas volantes de carbón (CFAB, por sus siglas en inglés) y los ladrillos de arcilla (CB, por sus siglas en inglés) mediante cuatro procedimientos de lixiviación por lotes de

laboratorio. La concentración de 12 metales pesados se analizó para comprender su lixiviación en el entorno circundante. Las concentraciones de metales pesados en CFA, CFAB y CB se compararon con estimaciones realizadas mediante extracción/digestión ácida, incluyendo caracterizaciones fisicoquímicas, mineralógicas y morfológicas.

Se observó que los metales pesados más abundantes lixiviados fueron Al, Fe, Mn y Zn, seguidos de otros metales pesados. El estudio destacó la idoneidad ambiental de los ladrillos de cenizas volantes de carbón (CFAB) en comparación con los ladrillos de arcilla (CB) en áreas cercanas a las centrales térmicas, debido a su comportamiento de lixiviación.

Además, se realizaron análisis detallados de las características fisicoquímicas, mineralógicas y morfológicas de las muestras recopiladas. Estos análisis revelaron que las propiedades de los materiales estudiados estaban influenciadas por varios factores, como la fuente o calidad del carbón, el tipo de proceso de combustión, los dispositivos de control de contaminación, el grado de erosión y el tamaño de las partículas. También se encontró que las características de los ladrillos estaban influenciadas por la composición de los materiales mezclados durante la fabricación, la variación en la temperatura de cocción y el tiempo de fabricación. *Fuente:* (N. Gupta et al., 2017)

- Pozos de café y cenizas volantes (Ordieres & Cultrone, 2022)

Este artículo se centró en analizar los efectos de la adición de residuos orgánicos (pozos de café) e inorgánicos (cenizas volantes) a un suelo arcilloso utilizado en la producción pasada de ladrillos. El estudio implicó la evaluación de la mineralogía, textura, durabilidad y propiedades físicas y mecánicas de ladrillos cocidos a diferentes temperaturas (800 °C a 1100 °C) con la inclusión de estos residuos.

Los principales hallazgos del estudio fueron los siguientes:

Mineralogía: Con el aumento de la temperatura de cocción, se observó una disminución en el contenido de filosilicato y la aparición de mellita en los ladrillos. La vitrificación gradual de las muestras, especialmente después de 950 °C, resultó en ladrillos más compactos y menos porosos.

Efectos de los residuos: Si bien la adición de residuos no afectó la mineralogía, se observaron alteraciones en ciertos parámetros físicos, como el color y la porosidad de los ladrillos. Las cenizas volantes provocaron cambios significativos en el color, mientras que los pozos de café aumentaron la porosidad y redujeron la densidad aparente.

Resistencia mecánica: Se encontró que el aumento de la temperatura de cocción mejoró la resistencia mecánica de todos los ladrillos, independientemente de su composición. Sin embargo, en términos generales, los ladrillos con residuos presentaron una resistencia mecánica inferior en comparación con los ladrillos sin residuos.

Durabilidad: Los ladrillos con pozos de café demostraron ser más resistentes a la descomposición inducida por la sal, lo que sugiere una mayor durabilidad en ciertas condiciones. Por otro lado, los ladrillos con cenizas volantes mostraron ser más propensos a la descomposición.

Vitrificación: El proceso de vitrificación demostró beneficios tanto en las propiedades físico-mecánicas como en la durabilidad de los ladrillos. Aquellos cocidos a 1100 °C obtuvieron los mejores resultados.

Este estudio proporciona valiosos insights sobre la influencia de la adición de residuos en la producción de ladrillos, destacando tanto beneficios como desafíos. La vitrificación a altas temperaturas se presenta como un factor crucial para mejorar las propiedades de los ladrillos, aunque la presencia de residuos puede influir en aspectos específicos, como la resistencia mecánica y la durabilidad. Estos resultados pueden orientar futuras investigaciones y prácticas en la fabricación sostenible de ladrillos. *Fuente:* (Ordieres & Cultrone, 2022)

- Aplicación potencial de ladrillos sobrequemados y cenizas volantes para una estructura de pavimento invertido sostenible (Khan et al., 2022)

La escasez global de agregados naturales para el desarrollo de infraestructura, como la construcción de carreteras, fue un problema de relevancia mundial que se abordó mediante la exploración de alternativas no convencionales. En este contexto, se destacó el ladrillo quemado en exceso como un residuo común de la industria de la construcción en India, y se investigó su potencial uso como agregado no convencional en la capa granular de la estructura del pavimento, mediante la aplicación de técnicas de estabilización.

El ladrillo sobrequemado, un subproducto abundante debido a la quema excesiva que resulta en un 5%-10% de la producción total de ladrillos desechados, fue considerado un residuo de hornos inadecuado para la construcción convencional. La necesidad de investigar y demostrar su utilidad en aplicaciones de ingeniería civil, como las estructuras de pavimento, se convirtió en imperante. La incorporación de estos residuos en la construcción de carreteras buscaba gestionar los desechos de construcción y reducir la dependencia de agregados naturales.

Sin embargo, se evidenció que los ladrillos sobrequemados no cumplían con los requisitos de resistencia y durabilidad necesarios para servir como capa de agregado convencional en una estructura de pavimento asfáltico. Investigaciones previas indicaron que estas deficiencias podían mejorarse mediante la adición de un aglutinante, como el cemento, o un aditivo cementoso, como las cenizas volantes.

En particular, las estructuras de pavimento invertido, donde la capa estabilizada subyacente es significativamente más rígida que la capa de asfalto superior, fueron objeto de investigaciones sobre la aplicación de agregados no convencionales. Aunque existen ejemplos exitosos de utilización de agregados reciclados y otros materiales alternativos en la capa estabilizada de estructuras de pavimento, se planteó la incógnita de si los ladrillos sobrequemados estabilizados cumplen con los criterios de resistencia y durabilidad necesarios para su uso en la estructura de pavimento invertido.

Este estudio se enfocó en explorar la posibilidad de aplicar ladrillos sobrequemados estabilizados en las capas de agregados de la estructura del pavimento invertido. Se determinó la cantidad óptima de cemento y cenizas volantes en ambas capas de estabilización mediante una metodología de diseño de experimento con la metodología de superficie de respuesta.

Los resultados revelaron que un contenido de cemento del 6% era adecuado para la mezcla de ladrillo y cenizas volantes en la capa base del pavimento invertido, mientras que un contenido de cemento del 7%, en combinación con cenizas volantes, era apropiado para la capa de subbase. Estos hallazgos tienen el potencial de mejorar la sostenibilidad de las estructuras de pavimento invertido al reducir la dependencia de los agregados naturales y, al mismo tiempo, dar un uso valioso a los residuos de construcción. En conclusión, la aplicación de ladrillos sobrequemados

estabilizados en la construcción de pavimentos invertidos presenta una perspectiva prometedora para la gestión de desechos y la sostenibilidad en la industria de la construcción. *Fuente:* (Khan et al., 2022)

- Efectos de la ceniza de mazorca de maíz en ladrillos de ceniza volante (Rajwade & Netam, 2020)

La industria de la construcción en la India experimentó un rápido crecimiento debido al aumento de la población y la creciente demanda de viviendas y otros servicios. Este crecimiento resultó en un aumento significativo en la producción de ladrillos, con Chhattisgarh produciendo aproximadamente 500 millones de rupias en ladrillos al año según el Centro para la Ciencia y el Medio Ambiente de 2016.

En el ámbito de la construcción de edificios, uno de los desafíos históricos fue controlar la temperatura interior, especialmente a través de las paredes expuestas a la radiación solar. La elección de materiales aislantes adecuados fue esencial para reducir la ganancia de calor a través de las paredes. En este contexto, se investigó la posibilidad de reducir la conductividad térmica (TC) de los ladrillos, y se observó que la composición química de los ladrillos de cenizas volantes desempeñaba un papel crucial en este proceso.

Se implementó un enfoque innovador para mejorar la composición química de los ladrillos de cenizas volantes mediante el uso de ceniza de mazorca de maíz (CCA, por sus siglas en inglés), un subproducto del maíz, como puzolana. La ceniza de mazorca de maíz se producía mediante la combustión de la mazorca y tenía propiedades puzolánicas debido a su alto contenido de sílice. La adición de CCA a los ladrillos de cenizas volantes resultó en una disminución de la conductividad térmica debido a la presencia de sílice, que representaba más del 60% de la composición total de la CCA. Este enfoque no solo redujo la conductividad térmica de los ladrillos, sino que también aprovechó los subproductos agrícolas, promoviendo prácticas más sostenibles en la construcción.

En términos de pruebas experimentales, la mazorca de maíz se sometió a un proceso de secado y luego se quemó para convertirla en cenizas. Estas cenizas de mazorca de maíz se utilizaron para reemplazar parcialmente el cemento en los ladrillos de cenizas volantes en diferentes proporciones (0%, 10%, 20% y 30%). Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión indicaron que los ladrillos con un 10% de CCA cumplían con los estándares requeridos, con una resistencia a la compresión en el rango de 5.1 a 5.3 MPa, superando el valor mínimo de 3.5 MPa establecido por las normas. *Fuente:* (Rajwade & Netam, 2020)

7.6. ECOLOGICOS

- Ladrillos de cemento y material dragado ecológicos

Este estudio investigó las preocupaciones ambientales asociadas con la producción histórica de ladrillos convencionales de arcilla cocida y mampostería de concreto. Se exploró el potencial de utilizar material dragado de una instalación de eliminación confinada (CDF, por sus siglas en inglés) en Cleveland para la fabricación de ladrillos ecológicos (DM-CB, por sus siglas en inglés). Se elaboraron muestras con diferentes proporciones de material dragado y cemento, y se evaluaron sus propiedades, incluyendo resistencia a la compresión, absorción de agua y resistencia al hielo y deshielo. Además, se estableció un inventario del ciclo de vida para comparar los impactos ambientales con los ladrillos convencionales.

Las muestras, elaboradas con material dragado y cemento, demostraron ser una opción más sostenible. El material dragado del río Cuyahoga en Cleveland se analizó en cuanto a su contenido de metales pesados, comparándolo con los niveles de detección de riesgo (RSL, por sus siglas en inglés) de la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA, por sus siglas en inglés) para usos industriales y residenciales, confirmando la viabilidad del material para la construcción.

La resistencia a la compresión de los ladrillos elaborados con diferentes proporciones de material dragado y cemento se evaluó y varió entre 10,3 MPa y 17,2 MPa, destacando la durabilidad y calidad de los ladrillos producidos.

Una Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida (EVLI, por sus siglas en inglés) comparó los impactos ambientales del ladrillo de cemento-material dragado (DM-CB) con ladrillos convencionales de arcilla cocida, bloques de concreto y ladrillos estabilizados comprimidos. Los resultados revelaron que el DM-CB era la opción más ecológica y sostenible.
Fuente: (Bhairappanavar et al., 2021)

- Ladrillos compuestos de cemento y vidrio (CGCB) con andamio interior de PET-G impreso en 3d. (Małek et al., 2022)

La industria de la construcción desempeñó un papel significativo en el cambio climático al emitir grandes cantidades de gases de efecto invernadero y agotar irreversiblemente agregados naturales en el pasado. Este estudio abordó esta problemática al desarrollar un ladrillo compuesto de cemento y vidrio (CGCB, por sus siglas en inglés) con un andamio interno impreso en 3D a partir de polietileno tereftalato glicol (PET-G, por sus siglas en inglés) reciclado. Con un 75% de vidrio de desecho y un 10% de andamios PET-G reciclado, este material innovador prometía ser una solución sostenible en el pasado.

Las pruebas mecánicas y térmicas realizadas en la mezcla de relleno (mortero de cemento y vidrio - CGM, por sus siglas en inglés) y en los ladrillos prefabricados con andamios de PET-G (estructura 3Dhon) demostraron que el CGCB final en el pasado tenía propiedades térmicas mejoradas en comparación con el CGM, a pesar de una reducción en la resistencia mecánica.

La fabricación aditiva (AM, por sus siglas en inglés) basada en la extrusión de materiales (ME, por sus siglas en inglés) con termoplásticos se volvió común en varias industrias en el pasado. Este estudio se centró en la posibilidad de utilizar polietileno tereftalato glicol (PET-G, por sus siglas en inglés) reciclado en la impresión 3D para crear un andamio interno en ladrillos compuestos de cemento y vidrio (CGCB, por sus siglas en inglés). La tecnología FFF (fabricación de filamento fundido) permitió la creación de piezas con grandes dimensiones externas en el pasado, siendo de interés para la arquitectura. La alta presencia de plásticos en el medio ambiente llevó a investigaciones sobre el reciclaje de materiales poliméricos para su uso en tecnologías AM.

En el pasado, el PET-G reciclado se utilizó como andamio impreso en 3D para los bloques de concreto debido a su alta asequibilidad y bajo costo en dispositivos FFF. Se destacó la capacidad de obtener piezas geoméricamente complejas mediante esta tecnología en el pasado.

La investigación previa mencionó la utilización de PET como sustituto agregado o refuerzo disperso en concreto. Se mostró una tendencia a la reducción de la resistencia mecánica con mayores proporciones de fibras de PET en el pasado. Sin embargo, se resaltó la capacidad de las

tecnologías AM para obtener piezas complejas y el impacto positivo ambiental de incorporar PET en el concreto.

En el pasado, el estudio buscó contribuir a la investigación sobre la eliminación de residuos al explorar la influencia de los andamios interiores impresos en 3D, obtenidos de PET-G, en las propiedades del concreto endurecido. La investigación se centró en ladrillos compuestos de cemento y vidrio (CGCB) con andamios de estructura PET-G 3Dhon, mayoritariamente fabricados a partir de materiales de desecho.

Las pruebas mecánicas y térmicas revelaron que el CGCB final con andamios PET-G impresos en 3D tenía propiedades térmicas mejoradas en comparación con el CGM en el pasado. A pesar de una disminución en la resistencia a la flexión y compresión (alrededor del 30%), la deformación durante las pruebas de compresión aumentó casi un 100% en el pasado. La investigación destacó el potencial de este enfoque para crear ladrillos sostenibles y abordar los problemas del cambio climático y la eliminación de residuos en el pasado. *Fuente:* (Malek et al., 2022)

CAPÍTULO 8: "CONCLUSIONES Y REFLEXION"

8.1. CONCLUSIONES

- En la actualidad, la fabricación industrial de ladrillos implica una serie de procesos estandarizados, desde la extracción de la materia prima hasta el almacenaje. Se emplean técnicas de trituración, humedecimiento, moldeado, secado, cocción y almacenaje para obtener ladrillos uniformes y de calidad. La evolución en estos procesos ha hecho que la transformación de la arcilla en ladrillos sea más eficiente y estandarizada en comparación con métodos anteriores.

El ladrillo de arcilla cocida, aunque sigue siendo relevante en aplicaciones constructivas simples, ha sido complementado por la llegada de nuevos materiales y métodos de producción más eficientes en la era industrial, transformando el panorama de la construcción.

- La sección sobre la experimentación con ladrillos de arcilla cocida y biomasa ofrece una perspectiva emocionante hacia prácticas más sostenibles. La inclusión de residuos orgánicos, como harina de hueso de olivo y paja de trigo, en la fabricación de ladrillos destaca un compromiso palpable con la reducción de emisiones de CO₂ y la reutilización de desechos agrícolas. La aplicación de modelos de predicción, como redes neuronales, agrega un componente innovador, proporcionando herramientas efectivas para entender y predecir el comportamiento de los materiales biomodificados.
- La adopción de tecnologías industriales marcó un cambio significativo en la producción de ladrillos. Factores como la eficiencia y escala de producción, la reducción de costos, la innovación en hornos y el cambio en la fuente de energía (de chircos a carbón) contribuyeron a esta transformación. La industrialización permitió satisfacer la creciente demanda de materiales de construcción en un período de rápido crecimiento urbano e industrial.

El abandono del uso de chircos como combustible en favor del carbón, así como el uso de hornos más avanzados, representó un cambio fundamental en la fabricación de ladrillos, mejorando la calidad del producto y reduciendo los costos unitarios de fabricación.

Esta evolución de métodos, desde la producción artesanal hasta la industrialización, no solo mejoró la eficiencia y calidad de los ladrillos, sino que también tuvo un impacto significativo en la economía, el suministro de materiales de construcción y la transformación del paisaje urbano de Bogotá.

- La mejora de las propiedades de las cenizas volantes ofrece la oportunidad de potenciar una serie de beneficios relacionados con su uso como Material Suplementario Cementante (MSCM). Estos beneficios, que pueden ser aprovechados tanto por el generador como por el usuario, se agrupan en diferentes categorías que impactan positivamente en el rendimiento del concreto. Esto incluye aspectos como la reología, densificación, resistencia residual, calor de hidratación y durabilidad.

Además de los beneficios en el desempeño del concreto, el uso de cenizas volantes como MSCM también conlleva ventajas económicas. Estas incluyen ahorros significativos en los costos del cementante, la posibilidad de diseñar concretos especiales sin aumentar los costos, una menor demanda de clinker/energía cuando se utiliza como adición en el cemento, y la reducción o eliminación de los costos asociados al manejo de residuos. Asimismo, se destaca la recuperación de combustible desperdiciado como un aspecto económico adicional.

En términos ambientales, el uso de cenizas volantes ofrece beneficios notables. Esto abarca desde el reaprovechamiento de residuos hasta la eliminación de pasivos ambientales. Además, contribuye

a la reducción o eliminación de emisiones fugitivas y dispersas generadas en los sitios de disposición. Un impacto ambiental positivo adicional se refleja en la disminución de la huella de carbono gracias a la menor demanda de clinker/energía asociada al uso de este material como adición en el proceso de fabricación del cemento.

- los ladrillos silico-calcáreos representan una opción atractiva para la construcción debido a sus propiedades aislantes, durabilidad, eficiencia y versatilidad, pero se debe considerar cuidadosamente su costo y la preparación necesaria para su uso en proyectos constructivos. En cuanto a los ladrillos silico-calcáreos, se destacó la preferencia por unidades mecanizadas debido a la consistencia dimensional entre el estado crudo y terminado, aunque se subrayaron desafíos inherentes como la textura lisa que puede afectar la adherencia con el mortero. Además, la rápida constructibilidad de estas unidades prefabricadas presenta ventajas en términos de eficiencia de tiempo y costos. La exploración de nuevas tecnologías, como la incorporación de nano aditivos para mejorar la resistencia y durabilidad, demuestra la capacidad de la industria para adaptarse a avances científicos y tecnológicos.
- Colombia, consciente de la necesidad de prácticas más sostenibles en la construcción, ha implementado incentivos para promover el uso de ladrillos ecológicos. Estos incentivos incluyen exenciones de impuestos, acceso a créditos con tasas de interés más bajas y reducción en trámites burocráticos. Iniciativas como la construcción de viviendas con ladrillos de botellas PET y proyectos de eco ladrillos en centros educativos demuestran cómo estas soluciones pueden tener un impacto positivo tanto en el medio ambiente como en la sociedad.
- Los ladrillos ecológicos representan una evolución significativa en la industria de la construcción al ofrecer alternativas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Fabricados con materiales reciclados o naturales, estos ladrillos minimizan el impacto ambiental en comparación con los ladrillos convencionales de arcilla cocida. La diversidad de materiales utilizados, como plástico reciclado, materiales naturales, residuos de construcción, tierra comprimida y suelo estabilizado, proporciona opciones adaptadas a diferentes necesidades y enfoques ambientales.
- Los bloques de adobe, fusionando elementos naturales como arcilla, limo, arena, paja o fibra vegetal, y agua, representan un paradigma de construcción sostenible arraigado en la historia y contemporaneidad. Su composición simple, basada en ingredientes locales, refleja un enfoque consciente hacia la arquitectura, priorizando la eficiencia y la durabilidad. La flexibilidad en la proporción de estos ingredientes permite adaptar la técnica a diversas condiciones locales, subrayando su versatilidad en diferentes entornos geográficos y climáticos.
- Los bloques de tapia pisada representan una opción atractiva por su sostenibilidad, bajo costo y propiedades aislantes, pero su uso exitoso requiere un cuidado especial en su fabricación y manejo para asegurar la durabilidad y resistencia necesarias en las construcciones. La técnica de la tapia pisada en la construcción, arraigada en la historia ancestral colombiana y heredada a través de generaciones, emerge como una práctica arquitectónica que fusiona la destreza del constructor con los recursos naturales del entorno. A pesar de la influencia inicial de los colonizadores españoles, la conexión profunda de los indígenas Chibchas y Guanes con la tierra revela una tradición que antecede la llegada de los europeos. La resistencia y durabilidad de las edificaciones en tapia pisada, ejemplificadas en lugares como Barichara, Girón y San Gil, subrayan la solidez de esta técnica constructiva a lo largo del tiempo.
- Los bloques de hormigón han evolucionado en su diseño y aplicación en la arquitectura moderna. Su versatilidad y diversidad en dimensiones y texturas han permitido su integración creativa en el diseño arquitectónico, desde muros hasta elementos estructurales. Aunque se asocian comúnmente

con la construcción económica, su potencial estético ha sido subutilizado, ya que no se explora completamente su capacidad creativa en el diseño.

En términos de rendimiento térmico, los bloques de hormigón pueden ser eficientes si se toman medidas adecuadas durante su instalación, como el uso de aislantes o la colocación adecuada de la mezcla en las juntas. La fabricación de estos bloques comprende procesos específicos, desde la mezcla hasta el moldeado, curado y almacenamiento.

A medida que avanza la tecnología, se han introducido mejoras en la fabricación de bloques de hormigón para abordar desafíos específicos, como la impermeabilización. Los bloques pueden incorporar aditivos que mejoran su resistencia al agua y se han diseñado con bordes especiales para alejar la humedad de su superficie.

- El proceso de fabricación implica la preparación del barro y la producción de los adobes. Se enfoca en la limpieza de la tierra, mezcla de los ingredientes, preparación de los moldes y secado de los bloques. Los métodos varían desde la técnica de lanzado, que implica una mezcla lanzada con fuerza en el molde, hasta prensas manuales o automáticas que ofrecen distintos niveles de rendimiento y eficiencia en la producción.

Si bien los bloques de adobe representan una construcción sostenible y tradicional, su producción y aplicación han evolucionado con el tiempo. Desde métodos manuales hasta prensas automáticas, se ha explorado una gama de enfoques para mejorar su rendimiento y resistencia, manteniendo su esencia sostenible.

- Los bloques de hormigón, fruto de una mezcla equilibrada de cemento, arena, agua y otros agregados, han emergido como elementos esenciales en la construcción moderna, ofreciendo resistencia y durabilidad. Su composición versátil, con la posibilidad de agregar aditivos para mejorar propiedades específicas, proporciona a los arquitectos y constructores una herramienta flexible y eficaz para la materialización de diversas estructuras. El diseño de mezcla, fundamental para alcanzar resistencias específicas, demuestra la adaptabilidad de esta tecnología a diferentes requisitos de construcción.
- Los bloques de madera y poliestireno expandido representan innovaciones significativas en el ámbito de la construcción, ofreciendo alternativas sostenibles y eficientes en términos de manejo y aislamiento. Los bloques de madera destacan por su sostenibilidad y versatilidad, utilizando madera reciclada o de bosques gestionados de manera sostenible. Aunque pueden enfrentar desafíos en términos de disponibilidad de materia prima y necesidad de tratamientos, su baja huella de carbono y características estructurales los convierten en opciones atractivas. Por otro lado, los bloques de poliestireno expandido se distinguen por su ligereza y propiedades aislantes, lo que los hace ideales para ciertas aplicaciones. A pesar de su resistencia estructural potencialmente menor, su resistencia a la humedad y capacidad de ensamblaje rápido los posicionan como una opción valiosa en construcciones específicas.

8.2. REFLEXION

Explorar la historia del ladrillo revela un viaje fascinante más allá de su función como simple material de construcción. Desde las antiguas civilizaciones que erigieron monumentos icónicos hasta las innovaciones actuales para abordar el cambio climático, el ladrillo ha sido testigo de la creatividad humana a lo largo de milenios. Esta historia refleja la diversidad cultural y las técnicas regionales, destacando la identidad única de cada sociedad en su arquitectura.

Hoy en día, la relevancia de la historia del ladrillo se magnifica con la búsqueda de soluciones sostenibles en la construcción. La adopción de ladrillos ecológicos y la integración de biomásas en bloques de cenizas volantes representan avances prometedores hacia la construcción respetuosa del medio ambiente. La

reflexión sobre el pasado del ladrillo impulsa la innovación, combinando métodos tradicionales con tecnologías modernas para estructuras eficientes y sostenibles.

En el caso de los bloques de adobe, la fabricación no es solo un proceso técnico, sino un arte transmitido a través de generaciones. La conexión profunda entre la comunidad y la tierra se revela en cada paso, desde la recolección del barro hasta la variedad de métodos de fabricación. Aunque presenta desafíos, como la estabilización con cemento, los bloques de adobe ofrecen un modelo inspirador para la construcción sostenible, equilibrando tradición e innovación.

La tapia pisada, más que una forma de construcción es un testimonio de la armonía entre la comunidad y su entorno. En un mundo centrado en la sostenibilidad, la tapia pisada emerge como un modelo arraigado en la tradición, pero también inspirador para la arquitectura moderna consciente y equilibrada.

Los bloques de concreto, más allá de su función estructural, representan un lienzo creativo en el diseño arquitectónico. La diversidad de dimensiones y texturas desafía la percepción convencional, mientras que avances tecnológicos mejoran sus propiedades estéticas y funcionales. La optimización de costos y la búsqueda constante de soluciones completas indican una evolución continua en esta industria. La capacidad de moldear el concreto permite una amplia gama de posibilidades en la creación de estructuras y diseños, brindando flexibilidad en la implementación y adaptación a diversas necesidades constructivas

La diversificación de materiales, como bloques de madera y poliestireno expandido, refleja una creciente conciencia ambiental. Estas alternativas no solo son sostenibles, sino que abordan desafíos específicos en la construcción moderna. A medida que avanzamos, estas innovaciones remodelarán la industria, ofreciendo nuevas posibilidades creativas para arquitectos y constructores. La historia de los materiales de construcción se convierte así en un catalizador para un futuro más sostenible y eficiente en la arquitectura.

CAPITULO 9: BIBLIOGRAFIA

- Aceros Arequipa S.A, B. W. (2020). *Los ladrillos*. Lima: Aceros Arequipa S.A, By Webtilia.
- ACI, A. C. (2014). *Requisitos de Reglamento para concreto estructural*. American Concrete Institute.
- ACOSTA, I. D. (2020). *REDUCCIÓN DE LAS DIMENSIONES TÍPICAS DE MUROS EN TAPIA PISADA*. bogota : UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.
- Andrews, D. B. (2005). *Design for Production using the Design Building Block Approach*. <https://doi.org/10.3940/RINA.IJME.2005.A1.050154>.
- ARGOS, J. D. (2023). *HISTORIA DEL CONCRETO Y DEL CEMENTO*. ARGOS 360.
- ARGOSCENIZAS. (2023). *IMPORTANCIA DE LAS CENIZAS VOLANTES EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO*. ARGOS 360.
- Arqhys. (2012). *ladrillos silico-calcareos*. <https://www.arqhys.com/construccion/silicos-ladrillos.html>.
- ASTM C 90, A. S. (1996). *Standard Specification for Load-Bearing Concrete*. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- BLOQUES.ORG. (2023). *ladrillos de cemento* . <https://bloqueras.org/ladrillos-cemento/#:~:text=El%20ladrillo%20de%20cemento%20o,elaboración%20de%20muros%20y%20paredes>.
- Bohórquez, D. A. (2015). *Bloque F escuela colombiana de ingeniería julio garavito* . Bogota D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Bruger, J. (1975). *Materiales de construcción* . Barcelona : del Rio J. }.
- Campbell, j. w. (2012). *LADRILLO historia universal*. EEUU: BLUME.
- CANDO. (2023). *Proceso De Fabricación Del Ladrillo*. BLOQUES CANDO, S.L.
- CANO LAGOS, H. (2015). *MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD UTILIZANDO EL*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Castellanos, D. S. (2023). *La revolución del ladrillo en Bogotá: ¿cómo este material democratizó la visual de la ciudad?* Bogotá: Falic Media.
- CEAC. (1990). *Arcilla y vidriado para el ceramista*. España: Rhodes, D.
- CeraWiki. (2015). *Nomenclatura de las partes de un ladrillo*. Kloeppel: Physical Sciences Editor.
- CICER. (2021). *¿Qué sabés del ladrillo hueco?* ARGENTINA: <https://www.evolucionladrillo.com/que-sabes-del-ladrillo-hueco/27/La-evolucion-del-ladrillo-a-lo-largo-de-la-historia#:~:text=La%20primera%20vez%20que%20se,elementos%20constructivos%20tradicionales%20por%20entonces>.
- cifra, m. (2020). *Bloque de Madera Encastrada: innovador sistema para construir con madera*. <https://www.cifrasonline.com.ar/bloque-de-madera-encastrada-innovador-sistema-para-construir-con-madera/>.

- Colombia, D. E. (2020). *Mampostería de Cavidad reforzada*. colombia: Diseño Estructural Colombia pagina de facebook.
- Construcción, I. r. (2023). *¿Qué es la mampostería confinada?* IngeCivil.
- CONSTRUMATICA. (2008). *Ladrillos con Cenizas Volantes en la Construcción para el Desarrollo*. https://www.construmatica.com/construpedia/Ladrillos_con_Cenizas_Volantes_en_la_Construcción_para_el_Desarrollo.
- DASWELL. (2023). *Cenizas Volantes - Propiedades, Origen, Ventajas, Usos*. HENAN, CHINA: DASWELL MAQUINARIA CO. LTD.
- EN, n. e. (2016). *Especificaciones de piezas para fábrica de albañilería*. españa: AENOR, asociacion española de normalizacion y certificacion.
- ENCYCLOPEDIA, W. T. (2023). *Fly ash brick* . WIKIPEDIA THE FREE ENCYCLOPEDIA .
- ERTL, T. A. (2016). *Utilización de ladrillos ecológicos a base de cascarillas de arroz como material alternativo en la construcción*. TFG ANTONELLA ERTL.
- finanzasparatodos. (2010). *La Revolución Industrial (1760-1840)*. Gran Bretaña.: finanzasparatodos.
- Franco, J. T. (2018). *Arquitectura con bloques de cemento: ¿cómo construir con este material modular y de bajo costo?* Colombia: https://www.archdaily.co/co/889483/arquitectura-con-bloques-de-cemento-como-construir-con-este-material-modular-y-de-bajo-costo?ad_medium=widget&ad_name=navigation-prev.
- Gélvez., R. J. (2020). *Tapia pisada, herencia viva de la construcción en tierra*. Radio Nacional de Colombia.
- Geografic, N. (2020). *Piramides*. National Geografic españa.
- GONZALEZ, J. A. (2017). *Proceso y beneficios de la producción de ladrillo ecológico*. <https://es.slideshare.net/JOSEADANRESENDIZGONZ/proceso-y-beneficos-de-la-produccion-de-ladrillo-ecologico-jarg>.
- hernan rivera salcedo, o. m. (2021). *Adobe como saber ancestral usado en construcciones autóctonas de Pore y Nunchía, Casanare (Colombia)*. bogota : unversidad catolica.
- HOMCENTER. (2023). *Ladrillo Estructural y Divisorio*. Colombia : <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/68598/ladrillo-macizo-20-x-10-x-6-cm-50u-m2/68598/>.
- <http://blogguernuevo.blogspot.com/>. (2016). *ACERO DE REFUERZO*. Colombia: CONCRETOS LIVIANOS.
- ICESI, U. I. (2021). *Innovación arquitectónica: 5 inventos importantes en la construcción*. Cali - Colombia: blogs_estudiantes.
- ICOFORMAS. (2021). *Geobloques en icopor y poliestireno expandido*. BOGOTA: <https://icoformas.com/productos/construccion-e-infraestructura/geobloques/>.

- Interiores, H. a. (2022). *La Historia del ladrillo*. Madrid España: <https://www.honra2.com/blog/la-historia-del-ladrillo#:~:text=El%20ladrillo%20cocido%20empez%C3%B3%20a,y%20barato%20que%20tallar%20piedras>.
- ISO-UNE-EN-10628. (2001). *Diagrama de flujo de plantas de proceso, Reglas generales*. ESPAÑA: AENOR Asociación española de normalización y certificación .
- jull, p. c. (2019). *ladrillos silicocalcareo* . cusco : universidad nacional de san antonio abad del cusco .
- KEDA, I. C. (2023). *Solución de producción de ladrillos silicocalcáreos*. Anhui Province, China: KEDA (Anhui) Industrial Co., Ltd.
- Legis, E. d. (2021). *Mampostería estructural en Colombia bajo la NSR10*. Legis.
- libre, W. I. (2023). *Historia del ladrillo de arcilla cocida*.
- Manabí, U. T. (2022). *COMBINACIÓN DE MEZCLAS DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS*. Ecuador : Revista Científica “INGENIAR”.
- masa. (2022). *Bloques sílico-calcáreo y fabricación*. www.masa-group.com.
- media, z. (2023). *En la antigua China construían edificios con paredes de arroz*. MUY INTERESANTE .
- Ministerio de ambiente, v. y. (2010). *Titulo D - Reglamento colombiano de construcción sismo resistente*. Colombia : Asociación Colombiana de ingeniería sísmica.
- Miranda, G. T. (1985). *La arquitectura colonial en Colombia*. Cauca: Claustro de Santo Domingo, Universidad del Cauca.
- Monografías. (2017). *Historia Del Block De Concreto*. Plus, Monografías.
- Moran, J. (2020). *HISTORIA DE LA ARQUITECTURA POR PERÍODOS Y ESTILOS*. Montevideo, Uruguay: <https://www.estudiojorgemorán.uy/historia-de-la-arquitectura-por-periodos-y-estilos/>.
- NSR10, L. E. (2010). *Mampostería estructural en Colombia bajo la NSR10*. Bogotá D.C.: Equipo de Redactores Legis.
- NTC. (1975). *ladrillos silico calcareos* . bogota : norma técnica colombiana .
- NTC. (1997). Bogota : *NORMATIVA TÉCNICA COLOMBIANA*.
- NTC. (2000). Bogota: *NORMATIVA TÉCNICA COLOMBIANA*.
- NTC. (2005). Bogota : *NORMATIVA TÉCNICA COLOMBIANA* .
- NTC, I. (1975). *LARILLOS SILICOCALCAREOS*. BOGOTA: norma técnica colombiana.
- NTC, I. (2000). *Dimensiones Modulares de Ladrillo, Piezas Cerámicas y Arcilla Cocida*. BOGOTA: NORMA TÉCNICA COLOMBIANA (NTC).
- NTC, I. (2003). *metodo de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería*. Bogota: norma técnica colombiana.
- NTC, I. (2020). *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA Ingeniería Civil y Arquitectura*. Colombia: NTC.

- Patiamarillos, S. (2019). *Tapia Pisada*. barichara: saberespaiamarillosbarichara.
- pereira, C. B. (2015). guatemala: arquitectos sen fronteiras.
- pereira, C. B. (2015). guatemala: arquitectos sen fronteiras.
- PLASTICO, T. D. (2023). *Ladrillos de plástico para construcción*. México.: TECNOLOGIA DEL PLASTICO .
- QUIROGA, B. M. (2023). *Nsr titulo d*. SlideShare de Scribd.
- quispe, s. m. (2019). *Ladrillo Silico Calcareo*. Perú: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- RAMIREZ, H. C. (2021). *Mamposteria reforzada* . scrib.
- Rivera, M. F. (2019). *Alternativas de estabilización del adobe para disminuir su contracción*. Bogotá,: Universidad de los Andes.
- S.A., J. R. (2018). *Bloque Standard de hormigón*. Siero, Asturias: JUAN ROCES S.A.
- S.A.S, g. A. (2022). *ladrillos de plastico para la construccion* . mexico: <https://www.plastico.com/es/noticias/bloqueplas-se-posiciona-en-el-mercado-mexicano>.
- Sarmiento, J. A. (2019). *La industria del ladrillo y la urbanización de San Cristóbal, 1910-1940*. BOGOTA : UNIVERSIDAD NACIONAL .
- SENA. (1990). *MANUAL PARA LA FABRICACION DE BLOQUES Y ADOQUINES*. BOGOTA .
- Sierra, J. A. (2020). *Medición del impacto ambiental de bloques de suelo-cemento, bloques cerámicos y bloques de concreto por el método de análisis de ciclo de vida*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- SUAREZ, A. Z. (2018). *CIENCIA E INGENIERIA DE NUEVOS MATERIALES EN LA FABRICACION DE LADRILLOS MEJORADOS TECNOLOGICAMENTE* . Madrid, España: UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID .
- surfer, i. (2023). *Comparación de ladrillos de cenizas volantes y ladrillos de arcilla – composición, producción*. mexico : <https://industrysurfer.com/blog-industrial/ingenieria/ingenieria-electrica-ingenieria/los-triunfos-y-las-tribulaciones-del-uso-de-medidores-analogicos/>.
- TIEMPO, R. E. (1996). *INICIOS DE LA INDUSTRIA CEMENTERA*. Bogotá D.C.: el tiempo.
- Tiusaba, C. F. (2019). *Reforzamiento por una cara de muros de mamposteria de arcilla con unidades de perforación horizontral*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Trujillo, M. A. (2015). *LA TAPIA PISADA UNA TÉCNICA ANCESTRAL*. Barichara: Baricharareconstruyendounatradicionecologica.
- ULTRACEM, C. (2020). *Bloques de Concreto, todo lo que debes saber*. BOGOTA D.C.: ULTRACEM CEMENTO.
- UNODC, o. d. (2017). *Como cubicamos nuestra madera*. BOLIVIA: JA'tun sah'á.

Zorro, S. M. (2019). *Historia de los chircales y las ladrilleras en Bogotá*. BOGOTA: ARCHIVO DE BOGOTA.

9.1. BIBLIOGRAFÍA DE ARTICULOS CIENTÍFICOS

- Arjun Siva Rathan, R. T., & Sunitha, V. (2022). Development of effective wearing layer elastic modulus for interlocking concrete block pavements. *Construction and Building Materials*, *341*, 127796. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.127796>
- Bhairappanavar, S., Liu, R., & Shakoor, A. (2021). Eco-friendly dredged material-cement bricks. *Construction and Building Materials*, *271*, 121524. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.121524>
- Bouchefra, I., EL Bichri, F. Z., Chehouani, H., & Benhamou, B. (2022). Mechanical and thermophysical properties of compressed earth brick reinforced by raw and treated doum fibers. *Construction and Building Materials*, *318*, 126031. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.126031>
- Caratenuto, A., Xie, L., Gu, L., Tian, Y., Liu, X., Wang, C., Su, M., & Zheng, Y. (2023). Adobe bricks as zero-material-cost solar evaporators for water-scarce regions. *Desalination*, *546*, 116199. <https://doi.org/10.1016/J.DESAL.2022.116199>
- Dorado, P., Cabrera, S., & Rolón, G. (2022). Contemporary difficulties and challenges for the implementation and development of compressed earth block building technology in Argentina. *Journal of Building Engineering*, *46*, 103748. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2021.103748>
- Eliche-Quesada, D., Sandalio-Pérez, J. A., Martínez-Martínez, S., Pérez-Villarejo, L., & Sánchez-Soto, P. J. (2018). Investigation of use of coal fly ash in eco-friendly construction materials: fired clay bricks and silica-calcareous non fired bricks. *Ceramics International*, *44*(4), 4400–4412. <https://doi.org/10.1016/J.CERAMINT.2017.12.039>
- Fayed, S., Mansour, W., & Tawfik, T. A. (2023). Bearing behavior of steel fiber reinforced recycled aggregate concrete blocks. *Structures*, *57*, 105249. <https://doi.org/10.1016/J.ISTRUC.2023.105249>
- Gupta, N., Gedam, V. V., Moghe, C., & Labhasetwar, P. (2017). Investigation of characteristics and leaching behavior of coal fly ash, coal fly ash bricks and clay bricks. *Environmental Technology & Innovation*, *7*, 152–159. <https://doi.org/10.1016/J.ETI.2017.02.002>
- Gupta, V., Siddique, S., & Chaudhary, S. (2021). Optimum mixing sequence and moisture content for hydrated lime fly ash bricks. *Journal of Cleaner Production*, *285*, 124859. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.124859>
- Khan, S., Ashish, P. K., Kannelli, V., Hossain, K., Nagabhushana, M. N., & Tiwari, D. (2022). Potential application of over-burnt brick and fly ash for sustainable inverted pavement structure. *Construction and Building Materials*, *345*, 128298. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.128298>
- Kumanan, T. S., & Sofi, A. (2023). Progression of bio-modified adobes with derivatives of cassava periderm and clay brick waste by experimental and probabilistic prediction models. *Construction and Building Materials*, *399*, 132535. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2023.132535>
- Kumar, K. V., Daniel, C., Amudhan, V., Kapilan, S., & Arunraj, E. (2023). Experimental investigation of eco-friendly building blocks utilizing coconut shells. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2023.08.208>
- Małek, M., Grzelak, K., Łasica, W., Jackowski, M., Kluczyński, J., Szachogluchowicz, I., Torzewski, J., & Łuszczek, J. (2022). Cement-glass composite bricks (CGCB) with interior 3D printed PET-G scaffolding. *Journal of Building Engineering*, *52*, 104429. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2022.104429>
- Muntohar, A. S. (2011). Engineering characteristics of the compressed-stabilized earth brick. *Construction and Building Materials*, *25*(11), 4215–4220. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2011.04.061>

- Ordieres, R., & Cultrone, G. (2022). Technical quality of solid bricks made using clayey earth with added coffee grounds and fly ash. *Construction and Building Materials*, 341, 127757. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.127757>
- Rajwade, B., & Netam, N. (2020). Investigation of effects of corncob ash in fly ash bricks. *Materials Today: Proceedings*, 28, 2431–2434. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2020.04.721>
- Theodoridou, M., Charalambous, E., Maravelaki-Kalaitzaki, P., & Ioannou, I. (2016). Amelioration of crushed brick - lime composites using nano-additives. *Cement and Concrete Composites*, 68, 77–87. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2016.02.009>
- Vinai, R., Lawane, A., Minane, J. R., & Amadou, A. (2013). Coal combustion residues valorisation: Research and development on compressed brick production. *Construction and Building Materials*, 40, 1088–1096. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2012.11.096>
- Wang, X., Chin, C. S., & Xia, J. (2023). Study on the properties variation of recycled concrete paving block containing multiple waste materials. *Case Studies in Construction Materials*, 18, e01803. <https://doi.org/10.1016/J.CSCM.2022.E01803>
- Yang, S., Lu, J. X., & Poon, C. S. (2020). Recycling of waste glass in dry-mixed concrete blocks: Evaluation of alkali-silica reaction (ASR) by accelerated laboratory tests and long-term field monitoring. *Construction and Building Materials*, 262, 120865. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.120865>
- Zhang, L., Zhou, T., Zhang, Z., Tan, W., & Liang, Z. (2023). Near-surface-mounted retrofitting of adobe walls using different materials: Evaluation of seismic performance. *Structures*, 54, 1149–1163. <https://doi.org/10.1016/J.ISTRUC.2023.05.137>