

**EFFECTO DEL USO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES EN LAS
PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LOS LADRILLOS**

LISSET MARITZA LUNA CAÑAS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2012**

**EFFECTO DEL USO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES EN LAS
PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LOS LADRILLOS**

LISSET MARITZA LUNA CAÑAS

**Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el título de
GEÓLOGA**

Director:

**Carlos Alberto Ríos Reyes
Geólogo PhD en Ciencias Aplicadas**

Codirector:

**Luz Amparo Quintero Ortiz
Ingeniera Metalúrgica Msc**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2012**

AGRADECIMIENTOS

Hoy culmina una etapa de mi vida, con sueños y metas por alcanzar, con miles de motivos para ser feliz.

Hoy agradezco a mis padres por darme siempre esa voz de aliento y su apoyo incondicional en todas mis decisiones; gracias por estar en todos mis proyectos acompañándome, guiándome y sobre todo fortaleciéndome como persona.

A mi hermana por las sonrisas que me saca en todo momento, por las alegrías, por todas las cosas que hemos compartido.

Agradecerle a mi tía Lucero por ser esa mano amiga en todo momento y por estar en mi camino siempre.

A mi familia en general por el apoyo en esta etapa de mi vida, a mis amigos, compañeros y colegas por todos los años de amistad, por todo lo compartido en la Universidad. Gracias por todo lo vivido.

Agradecerles a mis profesores, por el conocimiento que me transmitieron y me llevaron a ser la profesional que hoy culmina su etapa universitaria.

A mi Director Carlos Ríos y Codirectora Luz Amparo, gracias por el tiempo que dedicaron a mi proyecto, por sus asesorías y por acompañarme en este logro de mi vida.

GRACIAS A TODOS

Lisset Maritza Luna Cañas

Tabla de Contenido

INTRODUCCIÓN	19
1. OBJETIVOS.....	20
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	20
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	20
2. ANTECEDENTES.....	21
3. GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	29
3.1 LADRILLERA ERGO DURÁN Y GARCÍA LTDA.	29
Ubicación	29
3.2 Descripción General	32
3.3 Elaboración del Ladrillo.....	33
4. MARCO TEÓRICO	36
4.1 INCORPORACIÓN DE RESIDUOS EN LAS PROPIEDADES DE LOS LADRILLOS.....	37
4.2 PROCESO DE ELABORACIÓN DE LADRILLOS	38
4.3 ENSAYOS DE RESISTENCIAS	41
Ensayo de Rotura (Flexión)	41
Ensayo de Compresión	44
5. METODOLOGÍA.....	48
5.1 FASE BIBLIOGRÁFICA.....	48
5.2 FASE DE CAMPO	49
5.3 FASE DE PREPARACIÓN DE PROBETAS.....	49
5.4 FASE DE CALCINACION DE PROBETAS.....	52
5.5 FASE DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y FLEXIÓN	55
5.6 FASE DE ENSAYOS DE UNIDADES DE LADRILLOS: ENSAYOS DE DURABILIDAD Y RESISTENCIA SEGÚN NORMA NTC 4017.....	55
ENSAYOS DE DURABILIDAD	56
Eflorescencia	56
ENSAYOS DE RESISTENCIA.....	57

5.7 FASE DE ESTRUCTURACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS RECOPIADOS	57
6. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO	58
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA DE LADRILLOS	64
8. ENSAYOS DE DURABILIDAD CON ÁCIDO SULFÚRICO Y COMPORTAMIENTO DEL LADRILLO CON EL ENSAYO DE FLEXIÓN.....	76
8.1 Soluciones en ácido sulfúrico	76
8.2 Resultados.....	78
8.3 Ensayos de flexión.....	84
8.3.1 Mezcla 1: Ladrillos con incorporación de Aserrín	86
8.3.2 Mezcla 2: Ladrillos con incorporación de Cacota de Cacao	88
8.3.3 Mezcla 3: Ladrillos con incorporación de Cascarilla de Arroz	90
8.3.4 Mezcla 4: Ladrillos con incorporación de Caña de Azúcar	92
8.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS ENSAYO DE ROTURA.....	94
9. ENSAYOS DE DURABILIDAD CON SULFATO DE MAGNESIO Y COMPORTAMIENTO DEL LADRILLO CON EL ENSAYO DE COMPRESIÓN	95
9.1 Resultados.....	96
9.2 Ensayos de compresión.....	100
9.2.1 Mezcla 1: Ladrillos con incorporación de Aserrín	103
9.3 Mezcla 2: Ladrillos con incorporación de Cacota de Cacao	105
9.4 Mezcla 3: Ladrillos con incorporación de Cascarilla de Arroz.....	107
9.5 Mezcla 4: Ladrillos con incorporación de Caña de Azúcar	109
CONCLUSIONES	112
BIBLIOGRAFÍA.....	114
ANEXOS	117

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación geográfica del Municipio de Girón.	29
Figura 2. Ubicación del municipio de Girón con sus límites. Se observa la ubicación de la Ladrillera ERGO Durán y García Ltda.	30
Figura 3. Ubicación de la Ladrillera ERGO Durán y García Ltda con su vía de acceso.	31
Figura 4. Ladrillera ERGO Durán y García Ltda. (a) Frente de explotación de materia prima. (b) Proceso de selección de mezcla. (c) Tolva que separa el material. (d) Proceso de producción de extendido. (e) Máquina extrusora. (f) Proceso de encasillado. (g) Proceso de cargue de horno. (h) Horno tipo Hoffman, Proceso de Quema. (i) Proceso de deshorne	34
Figura 5. Proceso de fabricación de ladrillos.	39
Figura 6. Diagrama de montaje módulo de rotura.	41
Figura 7. Diagrama de cuerpo libre para la deducción de la fórmula del módulo de rotura.	42
Figura 8. Equipo utilizado en la compresión	44
Figura 9. Diámetro del Bloque Superior	45
Figura 10. Distancia del bloque a la esquina más lejana del espécimen del ensayo.	46
Figura 11. Procedimiento en la realización de materiales cerámicos (Ladrillos): a. Muestra de Cacota de Cacao, b. Peso del residuo a incorporar, c. Materia Prima cantidad a utilizar, d. Incorporando La Cacota de Cacao en la Materia Prima, e. Adicionando agua a la mezcla, f. Mezcla general para el ladrillo, g. Se coloca un aislante (en este caso ACPM) para que el Ladrillo no se adhiera a las paredes h. Con una espátula rellorando el molde para realizar los ladrillos, i. Ladrillo final con	50

la adición correspondiente.	
Figura 12. A. Mufla de calcinación. B. Se observan el PV y el SV.	52
Figura 13. A. Ladrillos Crudos, B. Dimensiones de los Ladrillos antes de ser calcinados, C. Mufla de Calcinación, D. Ladrillos después de ser calcinados y de haber reposado, E. Dimensiones de los Ladrillos después de calcinados y F. Ladrillos Calcinados.	53
Figura 14. Regiones Fisiográficas del Departamento de Santander (Adaptado del IGAC, 1992).	57
Figura 15. Paquetes litológicos segmentos A, B, C, D y E. Primeros segmentos aflorantes.	60
Figura 16. Paquetes litológicos segmentos F,G Y H.	61
Figura 17. Paquetes litológicos segmentos G, H, I, J, K, L Y M.	61
Figura 18. Panorámica de la ladrillera ERGO.	62
Figura 19. Lote de Ladrillos utilizados para ensayos de flexión. A) Cascarilla de arroz 5%, B) Cascarilla de arroz 10%, C) Cascarilla de arroz 20%, D) Caña de Azúcar 5%. E) Caña de azúcar 10%, F) Caña de azúcar 20%, G) Aserrín 5%, H) Aserrín 10%, I) Aserrín 20%, J) Cacota de Cacao 5% y K) Cacota de cacao 10%.	63
Figura 20. Lote de Ladrillos utilizados para ensayos de compresión. A) Cascarilla de arroz 5%, B) Cascarilla de arroz 10%, C) Cascarilla de arroz 20%, D)Caña de Azúcar 5%. E) Caña de azúcar 10%, F) Caña de azúcar 20%, G) Aserrín 5%, H) Aserrín 10%, I) Aserrín 20%, J) Cacota de Cacao 5% y K) Cacota de cacao 10%.	67
Figura 21. Lote de ladrillos utilizados para los ensayos de soluciones en ácido. A. Ladrillos con aditivo de aserrín 5%, B. Ladrillo con aditivo de aserrín de 10%, C. Ladrillos con aditivo de aserrín de 40%, D. Lote ladrillos aditivo de cacota de cacao, E. Lote de ladrillo aditivo de caña de azúcar y F. Lote Ladrillo aditivo de cascarilla de arroz.	76

Figura 22. A) Ladrillo de Aserrín 5% con ataque ácido de 1M. B) Ladrillo de Aserrín 5% con ataque ácido de 2M	77
Figura 23. Ladrillos de diferentes dosificaciones de aserrín (Ladrillo patrón).	81
Figura 24. Ataques de ácidos al 0,25M para ladrillos de Aserrín: a. Ladrillo Ligeramente eflorecido, b. No eflorecido y c. No eflorecido.	81
Figura 25. Montaje ensayo de rotura: A) Ubicación ladrillo en la máquina, B) aplicando la cargando puntual y C) Ruptura del ladrillo.	83
Figura 26. Lote de ladrillos utilizados para los ensayos con sulfatos. A. Lote de ladrillos aditivo de aserrín, B. Lote ladrillos aditivo de cacota de cacao, C. Lote de ladrillo aditivo de caña de azúcar y D. Lote Ladrillo aditivo de cascarilla de arroz.	94
Figura 27. Ladrillos de Aserrín en soluciones de sulfatos. A) Aserrín 10% en 7 días, B) Aserrín 10% en 15 días y C) Aserrín 10% en 30 días.	95
Figura 28. Montaje ensayo de compresión: A) Ubicación ladrillo en la máquina, B) aplicando la cargando puntual y C) Fractura generada por la compresión.	99

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Dimensiones de los ladrillos, Ladrillera ERGO Durán y García Ltda.	32
Tabla 2. Ensayos de rotura en ladrillos patrón.	64
Tabla 3. Ensayos de compresión en ladrillos patrón.	66
Tabla 4. Resistencia de cálculo de las fábricas de ladrillos macizos.	70
Tabla 5. Resistencia a la compresión. Fuente: Laboratorio de materiales de construcción Universidad Pontificia Bolivariana	71
Tabla 6. Resistencia característica a la compresión de fábricas usuales.	72
Tabla 7. Resistencia característica a la flexión de fábricas usuales	72
Tabla 8. Resultados ensayos de compresión	73
Tabla 9. Resultados ensayos de flexión	74
Tabla 10. Dimensiones, peso y volumen antes y después del ataque con ácido con 0,25 M.	79
Tabla 11. Dimensiones, peso y volumen antes y después del ataque con ácido con 0,5 M.	80
Tabla 12. Respuesta a los ensayos de eflorescencia en base a las soluciones de ácido sulfúrico.	82
Tabla 13. Ensayos de rotura en ladrillos con ataques ácidos.	84
Tabla 14. Ensayo de flexión para ladrillos con incorporación de aserrín. Unidad patrón.	85
Tabla 15. Ensayo de flexión para ladrillos con incorporación de aserrín y ataque ácido al 0,25M	85
Tabla 16. Ensayo de flexión para ladrillos con incorporación de aserrín y ataque ácido al 0,5M	85
Tabla 17. Ensayo de flexión para ladrillos con incorporación de cacota de	87

cacao. Unidad patrón	
Tabla 18. Ensayo de flexión para ladrillos con incorporación de cacota de cacao y ataque ácido al 0,25M	87
Tabla 19. Ensayo de flexión para ladrillos con incorporación de cacota de cacao y ataque ácido al 0,5M	87
Tabla 20. Ensayo de flexión para ladrillos con incorporación de Cascarilla de arroz. Unidad patrón	89
Tabla 21. Ensayo de flexión para ladrillos con incorporación de cascarilla de arroz y ataque ácido al 0,25M	89
Tabla 22. Ensayo de flexión para ladrillos con incorporación de cascarilla de arroz y ataque ácido al 0,5M	90
Tabla 23. Ensayo de flexión para ladrillos con incorporación de Caña de Azúcar. Unidad patrón	91
Tabla 24. Ensayo de flexión para ladrillos con incorporación de caña de azúcar y ataque ácido al 0,25M	91
Tabla 25. Ensayo de flexión para ladrillos con incorporación de caña de azúcar y ataque ácido al 0,5M	92
Tabla 26. Dimensiones, peso y volumen antes y después del ataque con sulfatos a los 7 días.	96
Tabla 27. Dimensiones, peso y volumen antes y después del ataque con sulfatos a los 15 días.	97
Tabla 28. Dimensiones, peso y volumen antes y después del ataque con sulfatos a los 30 días.	98
Tabla 29. Ensayos de compresión para ladrillos con ataques de sulfatos.	101
Tabla 30. Ensayo de compresión para ladrillos con incorporación de aserrín al 5% con diferentes días.	102
Tabla 31. Ensayo de compresión para ladrillos con incorporación de aserrín al 10% con diferentes días.	102

Tabla 32. Ensayo de compresión para ladrillos con incorporación de aserrín al 20% con diferentes días.	103
Tabla 33. Ensayo de compresión para ladrillos con incorporación de cacota de cacao al 5% con diferentes días.	104
Tabla 34. Ensayo de compresión para ladrillos con incorporación de cacota de cacao al 10% con diferentes días.	105
Tabla 35. Ensayo de compresión para ladrillos con incorporación de cascarilla de arroz 5% con diferentes días.	106
Tabla 36. Ensayo de compresión para ladrillos con incorporación de cascarilla de arroz al 10% con diferentes días.	106
Tabla 37. Ensayo de compresión para ladrillos con incorporación de cascarilla de arroz al 20% con diferentes días.	107
Tabla 38. Ensayo de compresión para ladrillos con incorporación de caña de azúcar al 5% con diferentes días.	108
Tabla 39. Ensayo de compresión para ladrillos con incorporación de caña de azúcar al 10% con diferentes días.	108
Tabla 40. Ensayo de compresión para ladrillos con incorporación de caña de azúcar 20% con diferentes días.	109

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Comportamiento de los ladrillos respecto a las dosis aplicadas en cada mezcla contra el módulo de rotura.	65
Gráfica 2. Comportamiento de los ladrillos respecto a las dosis aplicadas en cada mezcla contra resistencia a la compresión.	68
Gráfica 3. Porcentaje de adición de aserrín vs Modulo de rotura	86
Gráfica 4. Porcentaje de adición de cacota de cacao vs Modulo de rotura	88
Gráfica 5. Porcentaje de adición de cascarilla de arroz vs Modulo de rotura	90
Gráfica 6. Porcentaje de adición de caña de azúcar vs Modulo de rotura	92
Gráfica 7. Días de exposición a sulfatos aserrín vs Resistencia	103
Gráfica 8. Días de exposición a sulfatos cacota de cacao vs Resistencia	105
Gráfica 9. Días de exposición de sulfatos de aditivo de cascarilla de arroz vs resistencia	107
Gráfica 10. Días de exposición de sulfatos de aditivo de caña de azúcar vs resistencia.	109

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Procedimientos y cálculos en soluciones con ácido	117
Anexo B. Procedimientos y cálculos en soluciones con sulfatos	120
Anexo C. Resultados de ensayos de laboratorio. Ensayos de Flexión y Compresión.	124

RESUMEN

TITULO: “EFECTO DEL USO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES EN LAS PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LOS LADRILLOS”¹

AUTORES: LISSET MARITZA LUNA CAÑAS²

Palabras Claves: Residuos Agroindustriales, Arcilla, Ladrillos.

DESCRIPCIÓN

El presente trabajo de investigación tiene como fin evaluar el efecto en las Propiedades Mecánicas de los ladrillos modificados con adición de residuos agroindustriales. Esto se realizó mediante pruebas de ensayo de durabilidad y esfuerzos en los especímenes elaborados con la pasta convencional, a la cual se le adicionaron diferentes concentraciones de cada uno de los residuos agroindustriales, seleccionados para este proyecto. Al final, estos ladrillos fueron sometidos a diferentes pruebas físicas, mecánicas y químicas con el fin de evaluar posibles cambios en sus propiedades mecánicas. Se realizó una caracterización estratigráfica al área de obtención de la materia prima (*Ladrillera ERGO Durán & García*), zona en la cual se han identificado composicionalmente materiales sedimentarios constituidos por segmentos de arenas finas y muy finas, con intercalaciones de capas arcillosas, cantos y conglomerados que presentan una matriz de tipo arcillosa, con lo cual se concluyó que está ubicado en el sector del Miembro Fino (Qbf) de la Formación Bucaramanga.

Después de identificar la composición mineralógica de la materia prima, se procedió a elaborar 88 especímenes de dimensiones específicas, para lo cual se emplearon adiciones de Cacota de Cacao, Caña de Azúcar, Cascarilla de Arroz y Aserrín aplicándole a la mezcla una dosis respectiva de estos mismos (5%, 10% y 20%) curados a temperatura ambiente.

Posteriormente a cada unidad de ladrillos se le realizaron ensayos de durabilidad y esfuerzos mecánicos con el fin de analizar y comparar el comportamiento físico, mecánico y químico de los especímenes, lo cual permitió definir la mezcla que garantiza las mejoras de las propiedades del ladrillo. Para realizar dichas pruebas se usaron soluciones de ácidos y sulfatos, y después de expuestos a esos ensayos se procede a realizar esfuerzos como compresión y flexión (*según Norma NTC 4017*).

¹ Proyecto de Grado

² Facultad de Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director: Ph.D Carlos Alberto Ríos Reyes. Codirector: Msc. Luz Amparo Quintero Ortiz.

ABSTRACT

TITLE: "EFFECT OF AGRO WASTE USE IN PROPERTIES OF BRICKS"³

AUTHORS: LUNA CAÑAS, Lisset Maritza⁴

Keywords: Agribusiness Waste, Clay Bricks.

DESCRIPTION

This research aims to evaluate the effect on the mechanical properties of the bricks modified with added agro-industrial waste. This was accomplished by testing the durability test specimens and efforts made with conventional pulp, to which were added various concentrations of each of agroindustrial waste, selected for this project. In the end, these bricks were subjected to various physical tests, mechanical and chemical in order to assess possible changes in their mechanical properties. Stratigraphic characterization was performed to obtain the area of raw material (ERGO Ladrillera Duran & Garcia), an area which has been identified compositionally sedimentary materials consist of segments of fine and very fine sands, with interbedded clay layers, segments and conglomerates having a clay-like matrix, which concluded that it is located in the sector member Fine (QBF) Formation Bucaramanga.

After identifying the mineralogical composition of the raw material, was elaborated 88 specimens of specific dimensions, which were used for additions Cócota Cocoa, sugar cane, rice husk and sawdust mixture applying the respective dose of these thereof (5%, 10% and 20%) cured at ambient temperature.

Following each brick unit assays were performed durability and mechanical stress in order to analyze and compare the child's physical, mechanical and chemical specimens, which allowed us to define the mixture ensuring improvements in the properties of brick. For these tests were used solutions of acids and sulfates, and after exposure to proceed to test those efforts as compression and bending (as NTC Standard 4017).

³ Degree Work

⁴ Physical-Chemical Faculty. Geology School. Director: Ph.D Carlos Alberto Ríos Reyes. Codirector: Msc. Luz Amparo Quintero Ortiz.

INTRODUCCIÓN

Los ladrillos cocidos son el material preferido para paredes en muchos países del mundo. Por miles de años han soportado la lluvia y el sol, terremotos y guerras; son cálidos en tiempo de frío, frescos en el calor, y pueden ser usados una y otra vez.

En el Área de Desarrollo y Experimentación de Tecnologías para Viviendas, desde hace varios años se trabaja en la búsqueda de materiales formulados a partir de la incorporación de desechos de origen urbano y agroindustrial. En este marco, se han desarrollado acciones de investigación que promueven varias líneas de búsqueda con insumos provenientes del reciclaje.

Actualmente existe una cantidad importante de residuos de origen urbano, industriales o agroindustriales que podrían ser reutilizados. Por la escala de producción y la capacidad de consumir materiales, el sector de la construcción es una alternativa válida para dar destino a residuos que no pueden volver al ambiente en forma sustentable. Ejemplos son los restos de demolición, los residuos plásticos: polietilentereftalato (PET), polietileno (PE), polipropileno (PP) o sus mezclas; neumáticos fuera de uso, entre otros. A su vez, los desechos de la agroindustria, por su ubicación, tienen escasa aplicación.

Por tal razón y en el marco del proyecto **“Efecto del uso de Residuos Agroindustriales en las Propiedades Tecnológicas de los Ladrillos”** realizado en convenio con la Ladrillera ERGO Durán y García Ltda., se busca implementar nuevas tecnologías para la fabricación de ladrillos a través de su elaboración con la adición de residuos agroindustriales como Cacota de Cacao, Caña de Azúcar, Cascarilla de Arroz y Aserrín.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Contribuir al conocimiento de las propiedades físicas, mecánicas, químicas y mineralógicas de la pasta base para la fabricación de ladrillos, con el fin de evaluar el efecto del uso de residuos agroindustriales en las propiedades tecnológicas de los ladrillos.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Conocer desde el punto de vista composicional y granulométrico la materia prima con la que se elabora la pasta base para la fabricación de los ladrillos.
- ✓ Observar la respuesta de cada uno de los ladrillos con diferente concentración de residuos agroindustriales ante esfuerzos y ambientes extremos.
- ✓ Plantear una metodología apropiada para procesar la pasta base con que se elaboran ladrillos introduciendo aditivos de residuos agroindustriales.
- ✓ Encontrar las concentraciones (%) más apropiadas de cada uno de los residuos agroindustriales en los ladrillos, para que cumplan con las condiciones físicas, mecánicas y químicas que hacen mejorar las propiedades tecnológicas del ladrillo.

2. ANTECEDENTES

Los ladrillos tradicionales cocidos como material de construcción datan de hace más de 5000 años. Éstos han permitido la Construcción de edificios duraderos y confortables. Los Romanos, grandes innovadores de la arquitectura, ya utilizaban en sus construcciones los ladrillos cocidos y antes de estos los adobes tradicionales ya que ellos eran conocedores de sus buenas propiedades haciendo gran uso de este tipo de materiales durante toda su historia. A finales del siglo XX, los ladrillos cocidos fueron usados generalmente en estructuras de media y baja altura, como revestimiento en muros de hormigón, pilares de acero y en tabiquería interna no portante. (Brick Development Association, 2009a)

Generalmente los ladrillos han sido hechos a base de una pasta de arcilla, en la que entran proporciones más o menos grandes de arena que constituyen la estructura de la masa. Esta pasta se seca al aire libre o al sol para luego pasarla a un horno para su cocción. Uno de los problemas que se presentan en el proceso de elaboración de los ladrillos, tiene que ver con el secadero y su capacidad de producción, ya que por ser al aire libre depende tanto del clima del lugar, ya que el secado puede ser nulo en países fríos y húmedos, como de la capacidad del mismo, y las producciones de hornos, máquinas y arcillas en el yacimiento son generalmente amplias y constantes. Un ladrillo es una pieza de construcción, generalmente cerámica y con forma ortoédrica. Se emplea en albañilería para la ejecución de fábricas en general. Dependiendo del fin del material de construcción deben ser resistentes a la intemperie y cumplir ciertas condiciones de resistencia a la compresión y de permeabilidad del agua. Las características generales de todo buen ladrillo son: Moldeo Perfecto, ausencia completa de grietas, estar bien cocido, sonoro a la percusión, estructura porosa, no contener sales solubles (Reverté, 1979).

La materia prima empleada en la elaboración de ladrillos es la Arcilla. Originalmente el término se aplica a la fracción de grano fino de los sedimentos y rocas sedimentarias, definido de diversas maneras como partículas cuya dimensión es menor a $1 / 256$ o menor a 0.002 mm. Este tamaño fue elegido porque las partículas de este tamaño no se pueden identificar con los métodos convencionales ópticos. Los sedimentos se componen de una colección de hojas de minerales de silicato, por lo que el término mineral de arcilla ha llegado a referirse a hojas de minerales de silicato menores a 0,002 mm. (Nesse 2000).

Los residuos industriales se incorporan como adiciones a materiales de base arcillosa con el fin de obtener productos aptos en construcciones civiles. Entre los residuos estudiados se pueden mencionar cenizas gruesas de centrales térmicas, lodos de proceso de alto horno, cenizas de semillas de girasol, aserrín, arenas de moldeo de fundición, estériles del proceso de extracción de carbón, entre otros.

Escudero, et al.(2009) plantean que el aserrín proveniente de la materia prima (eucalipto) que se utiliza para fabricar tableros de fibra de madera, determinado las propiedades de este descarte, y en función de las características de los hornos ladrilleros artesanales de la región, se ha concluido que para obtener un ladrillo de buena calidad, adecuada porosidad, buena resistencia mecánica, térmica y acústica, lo óptimo es preparar una mezcla de arcilla, con un equilibrado contenido de aserrín que asegure la obtención en el producto final. En este caso, el residuo agregado actúa como formador de poros, obteniéndose un ladrillo que responde a la tipología de ladrillo alivianado.

Citroni et al. (2006), comparan los resultados obtenidos entre incorporaciones de poliestireno triturado y carbonilla. Estos resultados muestran la disminución en la densidad para los ladrillos con adición de estos residuos. Los ladrillos con

poliestireno muestran una disminución en la resistencia a la compresión a medida que se aumenta los porcentajes, sin embargo, es mayor que en los ladrillos con carbonilla. También las pruebas muestran que la conductividad térmica disminuye a medida que se incorpora poliestireno y carbonilla. Como conclusión tenemos que la incorporación de poliestireno es mejor que la carbonilla como aditivo, aunque ambos residuos disminuyen significativamente la resistencia a la compresión de los ladrillos.

Reyes (2009), demostró que la inclusión de fibras de maíz tratadas en matrices de cal mejora las características del mortero. Esto ocurrió con todos los porcentajes utilizados, sin embargo la adición del 8% de fibra de maíz mostro las mejores resistencias. En este caso, al adicionar fibras dentro de la matriz se alcanzaron notables mejoras en la resistencia a la flexotracción y en la compresión. Otro factor positivo es la poca energía requerida para elaborar 1 Kg de material que es relativamente baja en comparación con otros materiales con los que se puede fabricar los mismos elementos de construcción. Podemos concluir que la adición de la fibra de maíz en estos morteros les proporciona una mejora en sus propiedades y al requerir menor energía en su elaboración se disminuye el impacto ambiental provocado por la fabricación de este tipo de elementos de construcción.

Peréz y Vargas (2009), en su proyecto de grado realizaron un estudio sobre la factibilidad técnica de obtener refractarios sílico-aluminosos de alta calidad a partir de arcillas beneficiadas provenientes de la Vereda Guayabal del Municipio de Barichara. Los cerámicos obtenidos fueron caracterizados empleando técnicas de análisis mineralógico por Difracción de Rayos X (DRX) y Fluorescencia de Rayos X (FRX); microestructura por microscopía electrónica de barrido (SEM); densidad y porosidad aparente por método de Arquímedes; punto de ablandamiento por

método de conos pirométricos, estabilidad térmica por ATD-TGA; resistencia a la flexión en frío; según norma ICONTEC 682 y resistencia al choque térmico según norma ICONTEC 1 432. Se determinó que las mejores condiciones para fabricar los refractarios, son: mezcla del 20% chamota-80%arcilla, sinterizada por 2 horas a 1300°C. Finalmente se confluje que es posible desarrollar refractarios arcilla-chamota, para usos que no excedan 1600°C.

García, et. Al. (2010), plantean como objetivo de estudio; investigar el uso de alpeorujos como aligerante en la fabricación de ladrillos de arcilla. El alpeorujos presenta un tamaño de partícula muy pequeño y un contenido en humedad alta, lo que le confiere valores bajos de porosidad y alta plasticidad. Las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos fueron comparadas con las de aquellos sin alpeorujos añadido, con el fin de evaluar el uso de este material en la fabricación de ladrillos de arcilla. Se concluyó que la utilización de alpeorujos como aditivo en la fabricación de ladrillos supone la eliminación de un residuo muy contaminante y a la vez una forma de valorizarlo. Al ser un residuo húmedo permite la reducción de costes de fabricación. Es un eficaz aditivo aligerante, ya que aumenta la porosidad del material, lo que permite su aplicación como aislante. Aunque implica una disminución de las propiedades mecánicas de los ladrillos respecto a los fabricados solamente con arcilla, todas las series ensayadas presentan valores de la resistencia a la compresión por encima del valor mínimo establecido por la normativa.

Laguna (2011), plantea en su proyecto "*Ladrillo Ecológico como material sostenible para la construcción*" donde el principal objetivo del trabajo es el desarrollo de ladrillos ecológicos de carácter puzolánico mediante la incorporación de residuos procedentes del cultivo del arroz, y con bajo coste energético y económico. El producto final denominado "ecoladrillo" satisface completamente las expectativas de este trabajo. Este nuevo tipo de ladrillo puzolánico ecológico sin

cocción, incrementa su valor ecológico al contener como componentes del mismo, aditivos sostenibles y respetuosos con el medio ambiente, sobre todo por el ahorro energético que se produce en el proceso de su fabricación. El ecoladrillo está hecho con un suelo arcilloso, marga gris, 5% de cal hidráulica natural, 8% de cenizas de cáscaras de arroz residuo de la industria de la biomasa, y un 5% de cascarillas de arroz subproducto de la cosecha del mismo. Es un producto con óptimas características mecánicas, obteniéndose buenos resultados de resistencia a compresión y a inmersión en agua, y excelente durabilidad frente a temperaturas extremas, además la apariencia del mismo es totalmente innovadora.

Ranham (1987) sustenta los diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de arroz y quemado en un horno de cocción para tiempos diferentes en ladrillos elaborados con mezclas de arena-arcilla. Las duraciones de cocción a 1000 ° C fueron 2 horas, 4 horas y 6 horas. Los efectos de la ceniza de cáscara de arroz contenido en el contenido de agua de la mezcla trabajable, límites de Atterberg, contracción lineal, densidad, resistencia a la compresión y la absorción de agua de los ladrillos fueron investigados. Los resultados del ensayo indicaron que los ladrillos ligeros con la ceniza de cascarilla de arroz no sufren ningún deterioro en la calidad; además, la resistencia a la compresión de los ladrillos fue mayor con la ceniza de cascarilla de arroz por lo que la duración de cocción óptima se encontró que era 4 horas a 1000 ° C. Por lo que se concluyó que la mezcla de arcilla con ceniza de cascarilla de arroz puede ser utilizada en paredes de soporte de cargas por que presenta las mejores condiciones en los cambios presentados en las propiedades de los ladrillos.

Momtazi and Zanoosh (2012). El objetivo principal de este estudio fue investigar el uso de la cáscara de arroz en el compuesto de cemento contenido de residuos neumáticos. La cáscara de arroz utilizado en el presente trabajo se sustituyó el

10% del peso del cemento y cinco designados contenidos de caucho que varían de 10% a 50% en volumen y 0,3% de fibra de polipropileno son los utilizados. Los análisis incluyeron resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, la velocidad de la onda ultrasónica, la absorción de agua y SEM. Los resultados del ensayo indicaron que el aumento en el contenido de caucho aumenta significativamente la capacidad de deformación de los materiales. También el uso de cáscara de arroz presentó una disminución de las propiedades mecánicas en edad temprana. Resistencia a la flexión se mejora para la relación de volumen de caucho comprende 20%. La adición de cáscara de arroz se reduce la resistencia a flexión en edad temprana, pero esta adición permite aumentar la absorción del sonido. La resistencia a la absorción de agua ofrece una mejoría contra la corrosión, lo que permitió concluir que la cáscara de arroz es la más absorbente.

Quesada, et al. (2012). En este trabajo se estudia la aplicación de una variedad de materiales de desecho en la producción de ligeros ladrillos: aserrín, filtración de aceite, compost y mármol. Los ladrillos cerámicos fueron fabricados con diferentes cantidades de residuos (0-10 en peso.% de aserrín . peso, 0-20.% para el mármol, y 0-30% en peso de compost y filtración de aceite). Estos ladrillos se expusieron a 950 y 1050 ° C. El efecto de la adición de estos residuos en el comportamiento tecnológico de la ladrillo se evaluó mediante la contracción lineal, absorción de agua, densidad aparente, la absorción de succión, resistencia a la compresión y la microscopía electrónica de barrido (SEM). Los resultados han demostrado que la temperatura óptima es de 1050 ° C. Por debajo de esta temperatura, a 950 ° C, el aumento de la porosidad abierta disminuye la resistencia a la compresión de los ladrillos. Basándose en los resultados obtenidos, las cantidades óptimas de los residuos eran 5 en peso.% aserrín en peso, 10.% de compost y peso 15.% filtración de aceite y mármol.

De la casa, et al. (2012) Este trabajo se ocupa del uso de alperujo, el residuo principal de la dos fases proceso de extracción de aceite de oliva, como materia prima en mampostería de arcilla cocida unidades de producción. Diferentes cantidades (3, 6 y 12% en peso) de arcilla fueron sustituidas por alperujo, y las propiedades de las unidades resultantes de cerámica se compararon con los de los productos convencionales. Los resultados muestran que un número de ventajas se pueden obtener. Al 12% en peso de alperujo las unidades de mampostería presentan menor densidad (1710 kg m^{-3} en comparación con 1850 kg m^{-3} valor de referencia) y una mayor eficacia de aislamiento térmico (18% de reducción en la mayor parte de la conductividad térmica de arcilla cocida). Con respecto a las propiedades mecánicas, la resistencia a la flexión cocido obtenido de aproximadamente 14 mm N^{-2} es suficientemente alta para este tipo de unidad. Además, el valor de calentamiento obtenido del contenido orgánico del agregado alperujo puede causar una disminución en los requisitos de calentamiento en el proceso de cocción.

Toonayopas et al. (2012). Los efectos de la ceniza de cáscara de arroz (CCA), además, en las propiedades físicas y mecánicas en la construcción de ladrillos ligeros de arcilla fueron investigados. Diferente proporciones de CCA de 10-50% en masa fueron mezclados con el crudo de ladrillos de arcilla. Todas las muestras de ensayo fueron producidos por método de prensa hidráulica y expuesto a 1050° C . Esta investigación ha demostrado una forma factible de utilizar CCA incinerados para producir un ladrillo de alta calidad. Características orgánicas dan una contribución adicional a la entrada de calor del horno. De acuerdo con resultados de pruebas, una mezcla de hasta a 50% de aditivos CCA en peso se puede utilizar en la construcción de la producción de ladrillo cocido, en particular para ladrillo ligero. La temperatura de cocción más económica se determinó como 1050° C . CCA puede ser utilizado como una especie orgánica de aditivo formador de poros en el cuerpo de arcilla sin ningún efecto perjudicial sobre los otros

parámetros de fabricación de ladrillos. El uso de material de CCA en la mezcla de arcilla mejorado las propiedades físicas y mecánicas. La utilización de residuos en la producción de ladrillos CCA proporciona una contribución económica y también sirve como materia de eficiencia energética para la construcción. Se indica que CCA podría ser una materia prima alternativa para la producción de ladrillos de arcilla y entornos ambiente.

3. GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1 LADRILLERA ERGO DURÁN Y GARCÍA LTDA.

Ubicación

Para llevar a cabo este proyecto la materia prima extraída para la elaboración de las probetas fueron tomadas en la planta de la Ladrillera ERGO Durán y García Ltda., la cual se encuentra ubicada al Suroccidental del casco urbano del municipio de Girón (departamento de Santander) (Figura 1).

El municipio limita con Bucaramanga, Lebrija, Floridablanca, Piedecuesta y el Pantano (Figura 2).

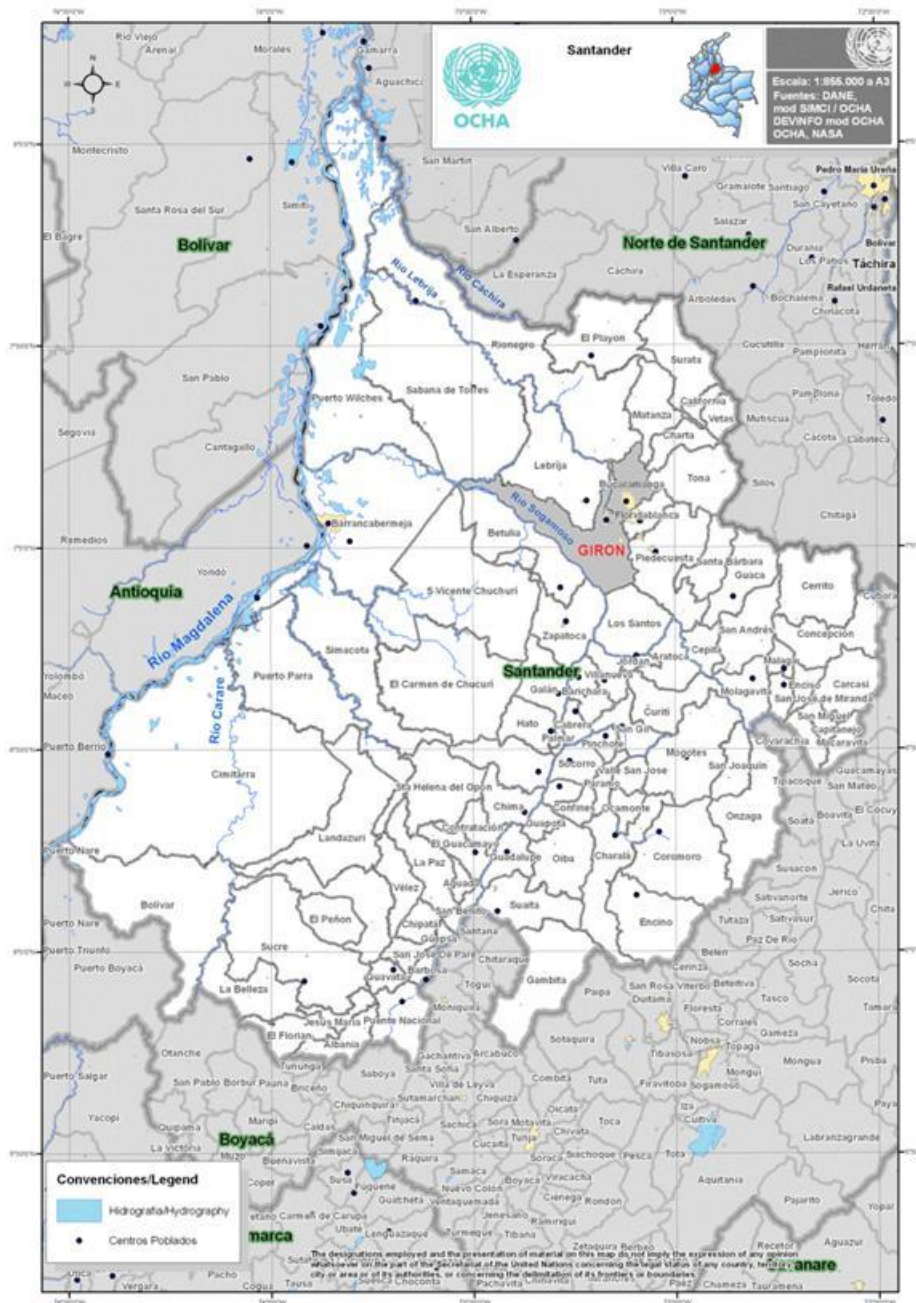


Figura 1. Ubicación geográfica del Municipio de Girón.

Fuente: Tomada y modificada de <http://www.colombiassh.org/site/spip.php?article54>

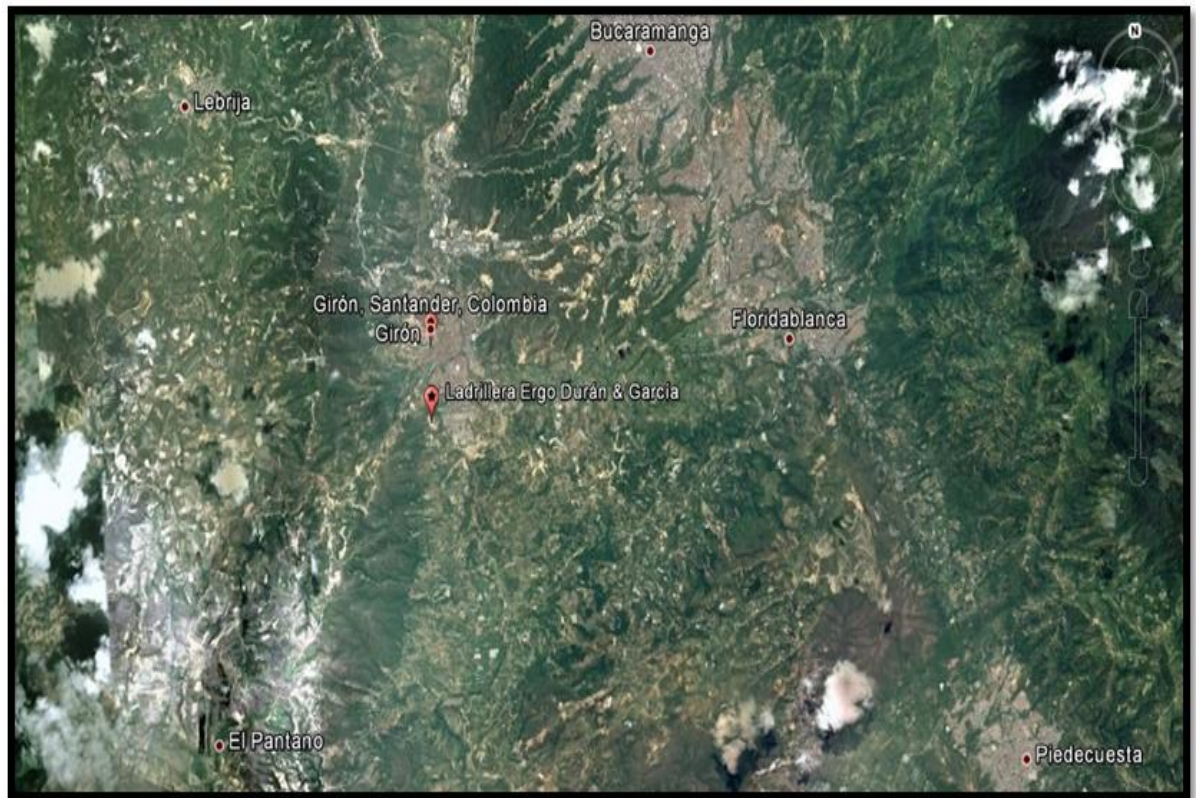


Figura 2. Ubicación del municipio de Girón con sus límites. Se observa la ubicación de la Ladrillera ERGO Durán y García Ltda.

Fuente: Google Earth

La Ladrillera ERGO Durán y García Ltda., está localizada en el kilómetro 1 sobre la vía antigua que comunica a Girón con Zapatoca (coordenadas $7^{\circ}03'20,13''N$, $73^{\circ}10'26.62''O$ y elevación 750m) (Figura 3).

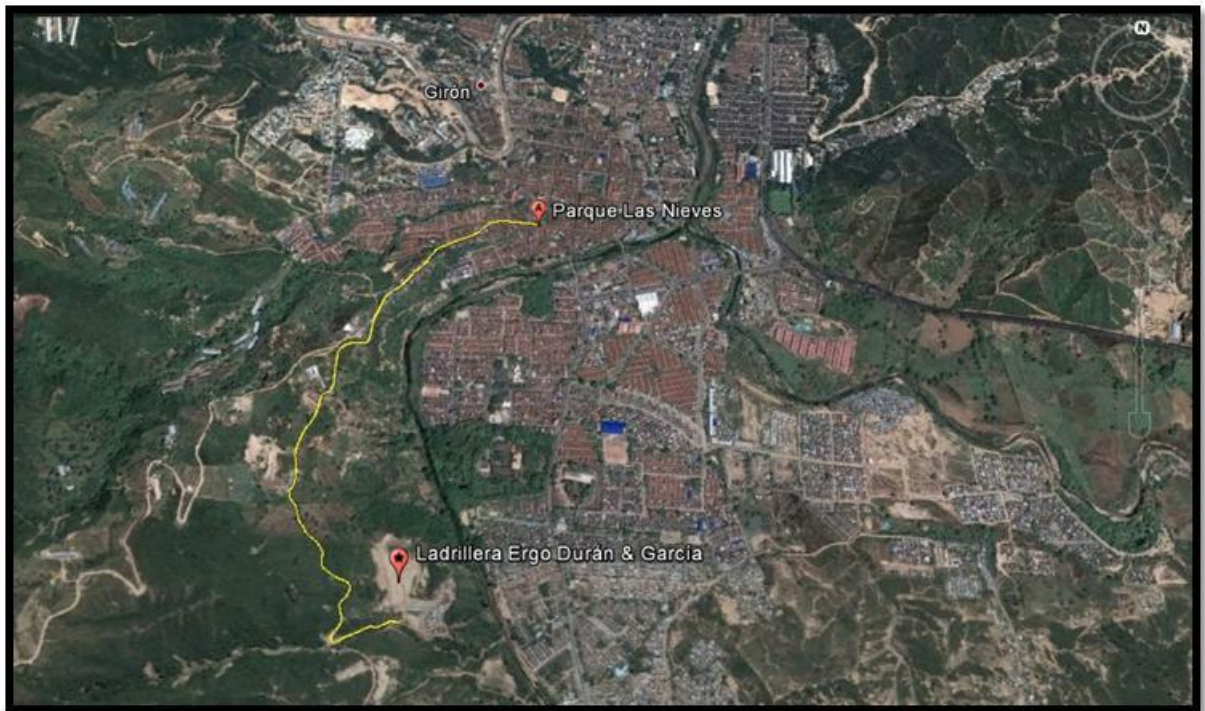


Figura 3. Ubicación de la Ladrillera ERGO Durán y García Ltda con su vía de acceso.

Fuente: Google Earth

3.2 Descripción General

En la ladrillera ERGO Durán y García Ltda., se ha caracterizado por la producción de ladrillos y tejas. El desarrollo tecnológico de la empresa ha sido de forma constante con el fin de acelerar el rendimiento del proceso de fabricación, de tal manera que en plena capacidad de funcionamiento, la Ladrillera ERGO pasó de producir 5.000 unidades de ladrillo a 18.000 Unidades diarias. Este incremento obligo a mejoras locativas como lo son la construcción de un túnel de secado artificial, la ampliación de patios y la agilización del proceso de horneado.

La ladrillera ERGO Durán y García Ltda., cuenta con 4 tipo de ladrillos que son H7, H10, H12, H15 y H10 ½.






Tipo de Ladrillo	H7	H10	H12	H15	H10 1/2
Medida	7 X 20 X 30	10 x 20 x 30	12 X 20 X 30	15 X 20 X 30	10 X 15 X 20
Peso	4 1/2	6 1/2 kg	7 1/2	8 1/2	3,25 kg
					

Tabla 1. Dimensiones de los ladrillos, Ladrillera ERGO Durán y García Ltda.

Tomado: <http://www.ladrilleraergo.com/home.html>

3.3 Elaboración del Ladrillo

La ladrillera ERGO Durán y García Ltda., en el proceso de elaboración de ladrillos han planteado 7 etapas que se exponen a continuación (Figura 4):

3.3.1 Proceso de selección de mezcla

Después del proceso de meteorización de las arcillas, estas son acarreadas hasta las tolvas que separa el material. Después son transportadas por un sistema de bandas y laminadores, quienes se encargan de seleccionar la piedra y terrones terminando en la maquina amasadora de donde sale lista para ser recibida por la maquina extrusora. La arcilla extrusada es recibida por el cortador quien se encarga de darle el tamaño al ladrillo. Este proceso se lleva a cabo mediante la extracción de la arcilla por medio de retroexcavadoras, se deja en conos a la intemperie o meteorización. (Fuente: Ladrillera ERGO).

3.3.2 Proceso en producción de extendido

El ladrillo extrusado sale por bandas donde es manipulado y transportado por ayuda mecánica directo a los sitios de secado, donde permanece por un lapso de tiempo estimado y es colocado de una forma adecuada la cual le ayuda a tomar mayor consistencia, a este proceso le llamamos extendido. (Fuente: Ladrillera ERGO).

3.3.2.1 Proceso de encasille y secado

El aprovechamiento de la temperatura del ambiente es usado para el secado del ladrillo, el cual después de ser extendido se manipula y se transporta con ayuda mecánica hasta el sitio donde permanece por un tiempo estimado, quedando totalmente seco listo para el proceso de quema, este proceso es natural. El secado artificial, se lleva a cabo por medio de un túnel secadero, el cual una hornilla alimentada de carbón coke le inyecta aire caliente. (Fuente: Ladrillera ERGO).

3.3.2.2 Proceso de cargue del horno

La empresa cuenta con un horno hollman, el cual es cargado con ladrillo seco que es transportado desde los patios de secado, se coloca sobre canales de madera donde se deslizan y son ubicados de una manera especial. Nuestro horno cuenta con cámaras que son llenadas a diario. (Fuente: Ladrillera ERGO)

3.3.2.3 Proceso de quema

La cocción del ladrillo se logra con la ayuda de carbojets, quienes inyectan carbón pulverizado con aire al horno por medio de mangueras alimentadoras, logrando mantener una temperatura de aproximadamente 800 grados centígrados. Además

de esto se necesita la ayuda de una turbina la cual se encarga de extraer el humo. Este proceso cuenta con estudios isocineticos realizados por contratistas especializados y controlados por la autoridad ambiental (cdmb). (Fuente: Ladrillera ERGO)

3.3.2.4 Proceso de deshorne

Después de un largo proceso, el ladrillo es sacado del horno por medio de bandas transportadoras, donde es seleccionado minuciosamente por el personal calificado a fin de entregar un producto de excelente calidad a nuestros clientes. (Fuente: Ladrillera ERGO).



Figura 4. Ladrillera ERGO Durán y García Ltda. (a) Frente de explotación de materia prima. (b) Proceso de selección de mezcla. (c) Tolva que separa el material. (d) Proceso de producción de extendido. (e) Máquina extrusora. (f) Proceso de encasillado.

(g)Proceso de cargue de horno. (h) Horno tipo Hoffman, Proceso de Quema. (i) Proceso de deshorne Fuente: Ladrillera ERGO.

4. MARCO TEÓRICO

Por la necesidad del hombre de adaptarse al ambiente en que vive y utilizar las cosas que lo rodean, el ladrillo hizo su aparición en la antigüedad en todos aquellos países en los que faltaba la piedra y abundaba la arcilla.

La técnica de cocer arcillas para producir ladrillos y baldosas tiene más de 4000 años. Se basa en que los suelos arcillosos (que contienen entre 20 y 50% de arcillas) experimentan reacciones irreversibles, calentándolos a 850-1000 °C, en los cuales las partículas se entrelazan mediante un material cerámico vidrioso.

La arcilla está constituida por partículas pequeñas que provienen de la descomposición de los feldspatos. Es un silicato de alúmina hidratado, coloreado por óxidos de hierro e impurezas. Esta puede ser plástica y no plástica. Las plásticas se caracterizan por contener mucha agua y las no plásticas porque están completamente secas. Al mojarse, la arcilla desprende un olor característico y da origen a una pasta aglutinante: la arcilla plástica empleada en moldeado.

La arcilla se utiliza desde hace varios milenios para la fabricación de tejas, ladrillos, alfarería, etc. Calentándola a una temperatura de unos 1.200°C, la arcilla se transforma en terracota o productos cerámicos. Su color gris al principio se vuelve rojo a consecuencia de las impurezas ferruginosas que la roca contiene. Dentro de los productos cerámicos destinados a la construcción, están: los ladrillos, las tejas, las baldosas, los tubos, los adobes, los azulejos y las porcelanas. *(Tomado: Monografías de arquitectura- materiales cerámicos).*

4.1 INCORPORACIÓN DE RESIDUOS EN LAS PROPIEDADES DE LOS LADRILLOS

La industrialización en los países ha derivado en un aumento de subproductos agrícolas, con la consecuente acumulación de desechos no aprovechados.

Con el fin de realizar mejoras significativas en el proceso de producción y reducir el gran aporte de energía necesario para la fabricación de ladrillos puzolánicos, numerosos estudios están desarrollando la incorporación de diferentes residuos en los ladrillos con el fin de disminuir el aporte de arcilla y la posibilidad de reducir las temperaturas de cocción. (Laguna, 2011).

García, et. al. (2010), sustentan que la contaminación de suelos con alpeorujó puede ser un problema grave. La incorporación de los residuos a los materiales de construcción tradicionales se realiza con el fin de investigar el efecto que genera el uso de alpeorujó como aligerante en la fabricación de ladrillos de arcilla. Este aditivo presenta un tamaño de partícula muy pequeño y un contenido en humedad alta, lo que le confiere valores bajos de porosidad y alta plasticidad.

Perez y Vargas (2009), plantea que el proceso que se llevó a cabo mediante operaciones metalúrgicas de tamizaje en húmedo, sedimentación, concentración magnética y lixiviación ácida inversa, con lleva a mejorar la calidad de las arcillas al eliminar algunas de sus impurezas e incrementando el % Al_2O_3 presente; y una vez selecciona la arcilla de mayor calidad se empleó en el estudio de obtención de refractarios compuestos de arcilla-chamota bajo diferentes concentraciones y temperaturas.

Reyes (2009), su objetivo principal en el trabajo desarrollado es evaluar el potencial de las fibras de la planta de maíz para ser utilizada como refuerzo en

matrices inorgánicas, con el fin de aplicarlas en el desarrollo de materiales constructivos para viviendas de bajo coste en países Latinoamericanos.

4.2 PROCESO DE ELABORACIÓN DE LADRILLOS

Gatani (2002) Para fabricar ladrillos de suelo-cemento deben seguirse los siguientes pasos:

1.- Tamizado del suelo: Una vez controlado el contenido del suelo a emplear, es necesario tamizar latiera a fin de desarmar los terrones producidos por la humedad. Esta etapa tiene efectos importantes en la calidad del ladrillo producido, ya que evitará la presencia de grumos. Para realizar el tamizado, el suelo debe estar seco.

2.- Mezclado en seco: Se mezclan las partes de suelo y el porcentaje de cemento, hasta que el conjunto tome el mismo color. Se logran mezclas uniformes con la mezcladora de paletas con eje horizontal. Las mezcladoras denominadas perita de tambor giratorio no se aconsejan, ya que la mezcla humedecida forma grumos al golpear en las paredes del tambor.

3- Agregado de agua: A la mezcla seca se le agrega agua. La cantidad de agua a incorporar se determina empíricamente a pie de producción.

4.- Compactación: La compactación se hace para aumentar la resistencia a la compresión, y proveer mayor capacidad higroscópica. En esta etapa de la fabricación se utiliza una máquina. Existen varios procedimientos para realizar el moldeo y compactación. Desde la conocida Cimva-Ram hasta maquinarias más complejas tales como Ceratec o Hydraform. En el proceso experimental de la

producción de los ladrillos de suelo cemento se llegó a desarrollar una máquina ponedora, adaptada de una máquina ponedora de bloques.

Se incorporó un juego de pisones a fin de otorgar la presión necesaria; el juego de moldes está regulado para absorber la diferencia de volumen inicial de suelo y cemento, y el resultante luego de la compactación.

Para fabricar los ladrillos se llenan los moldes de la ponedora con la mezcla de suelo cemento humedad, y se dejan caer los pisones de la máquina que producen la compactación. A través de una palanca se levantan los pisones y se dejan caer nuevamente y se dejan caer nuevamente, repitiendo este proceso cuatro o cinco veces para lograr una buena compactación por impactos sucesivos.

Una vez finalizada esta tarea se levantan los moldes, se dejan los ladrillos en el piso, y se desplaza la ponedora, repitiendo el procedimiento.

Los ladrillos moldeados quedan sobre la cancha de moldeo, durante un día (en condiciones medias de temperatura y humedad), debiendo ser regados durante ese lapso con una fina lluvia de agua para iniciar el curado.

5.- Acopio y curado: Luego de que los ladrillos adquieren resistencia inicial, los mismos son retirados de la cancha y acopiados protegidos del sol y del viento, para evitar contracciones por secado rápido. Son cubiertos con polietileno, y son humectados dos veces por día durante al menos los primeros 6 días de estiba.

Los ladrillos de suelo cemento no son empleados en mamposterías antes de transcurridos 21 días desde la fabricación.


		
1- En una mezcladora de eje horizontal se vierte la tierra tamizada	2- Luego, se agrega cemento, según el dosaje pre-establecido	3- Los componentes tierra y cemento son mezclados en seco
		
4- Cuando esta mezcla adquiere un color uniforme, se agrega el agua	5 y 6- La mezcla de suelo, cemento y agua cae por una compuerta abierta en la parte inferior de la mezcladora, a una carretilla, la cual alimenta a la máquina ponedora de ladrillos.	
		
7- Se rellenan los moldes con igual cantidad de mezcla para que los ladrillos resulten de igual tamaño.	8- Se sueltan los pisones que caen libremente y por medio de una palanca son levantados para ejercer 4 o 5 golpes más.	9- El juego de moldes y pisones tiene capacidad para moldear 6 ladrillos de suelo-cemento simultáneamente.
		
10 y 11- Los pisones estampas pequeñas semiesferas sobre la cara superior de los ladrillos. De esta manera se consigue mejorar la adherencia del mortero al momento de realizar la mampostería		12- La máquina ponedora va depositando sobre la plataforma nivelada 6 ladrillos por postura

Figura 5. *Proceso de fabricación de ladrillos.*

Fuente: http://www.habitat.arq.una.py/ambitos/tyh/cct/crh_cct_0010.pdf

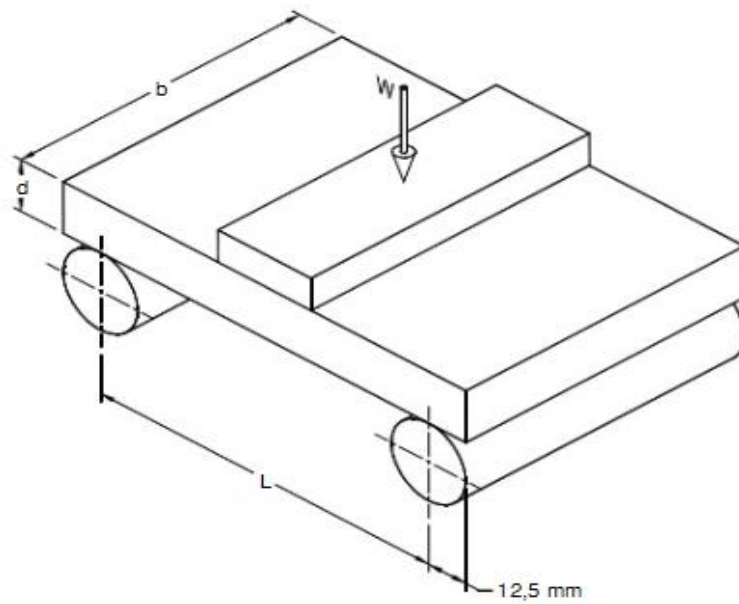
4.3 ENSAYOS DE RESISTENCIAS

Según la norma técnica Colombia NTC 4017 los ensayos que determinan la resistencia del material cerámico se presentan a continuación:

Ensayo de Rotura (Flexión)

Se coloca el espécimen con el lado plano hacia abajo, a menos que se especifique algo diferente, lo cual se debe consignar en el respectivo informe, (es decir, se aplica la carga en la dirección de la profundidad de la unidad). Los soportes deben ser barras sólidas de acero de diámetro 25,4 mm \pm 1,0 mm cuyo centro debe estar colocado a 12,5 mm \pm 2,0 mm de cada borde del espécimen, el cual se carga en el centro de la luz de apoyo (véase la Figura 6). Si los especímenes tienen reentrantes o ranuras, se colocan de tal manera que estas depresiones o ranuras queden en el lado de compresión. La carga se aplica a la cara superior del espécimen mediante una placa de apoyo de acero de 6,0 mm de espesor y 38,0 mm de ancho; su longitud debe ser como mínimo igual al ancho del espécimen.

Es necesario cerciorarse de que los soportes del espécimen están libres para rotar en dirección longitudinal y transversal a éste y se deben ajustar de manera que no ejerzan fuerza en estas direcciones.



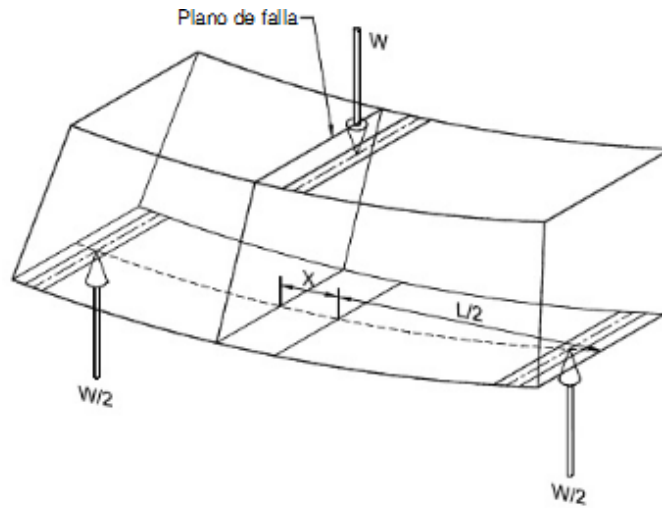
en donde

- W = carga aplicada, en N
 L = distancia entre los soportes de apoyo, en mm
 b y d = ancho y alto respectivamente, en mm

Figura 6. Diagrama de montaje módulo de rotura.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/50159446/NTC4017>

El módulo de rotura se calcula de la siguiente manera:



$$MR = 3W \left(\frac{L}{2} - x \right) b d^2$$

en donde

- MR = módulo de rotura de la muestra en el plano de falla, en Pa.
- W = carga máxima indicada por la máquina de prueba, en N.
- L = distancia entre los soportes (medida centro a centro), en mm.
- b = ancho neto (distancia de cara a cara) de la muestra en el plano de falla, en mm.
- d = profundidad, (distancia desde la cara superior hasta el plano de apoyo) de la muestra en el plano de falla, en mm.
- x = distancia promedio del plano de falla al centro de la pieza, medida en la dirección de la línea central de la superficie sometida a tensión, en mm.

Figura 7. Diagrama de cuerpo libre para la deducción de la fórmula del módulo de rotura.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/50159446/NTC4017>

Ensayo de Compresión

Para unidades de mampostería o ladrillos que sean macizos, semi macizos o adoquines, los especímenes de ensayo deben ser unidades secas que contengan la altura y el ancho completos de la unidad tal como se usa en el muro o en el enladrillado, pero con una longitud igual a la mitad de la longitud de la pieza entera ± 25 mm; y se someten a carga en la misma posición que ocuparían en su aplicación. Si ocurre que los especímenes descritos exceden la capacidad de la máquina de ensayo, entonces deben consistir de unidades secas de la pieza con la totalidad de la altura y ancho de la unidad original, con una longitud no menor que una tercera parte de la longitud de la pieza original y con una sección transversal perpendicular a la dirección de carga, no menor de 90 cm.

Se ensayan los especímenes en una posición tal que la carga sea aplicada en la dirección que van a estar puestos. Los especímenes se centran bajo el soporte esférico superior con una tolerancia de 1,6 mm.

La máquina de ensayos debe cumplir con lo establecido en la norma NTC-ISO 7500-1 para Clase 1.

La máquina de ensayo debe tener una precisión de $\pm 1,0$ % sobre el rango provisto de carga, el soporte superior debe estar provisto de una rótula esférica con un bloque de metal endurecido, firmemente fijado al centro de la cabeza superior de la máquina. El centro de la esfera debe descansar en el centro de la superficie del bloque metálico en contacto con el espécimen. Este bloque debe ser sostenido lo más cercano posible en el asiento esférico, pero debe estar libre para bascular en un ángulo de aproximadamente 3° en cualquier dirección para permitir especímenes cuyas superficies no sean exactamente paralelas. La máquina de ensayo debe estar equipada con una rótula cuyo diámetro debe ser al menos 125 mm. Se permite el uso de una platina metálica endurecida debajo del espécimen para minimizar el desgaste del plato inferior de la máquina. Las superficies de los

bloques de carga que estarán en contacto con el espécimen, deben tener una dureza mayor o igual a 55 HRC. Cuando el área de cualquiera de los bloques de carga o apoyo (superior o inferior) no sea suficiente para cubrir el área del espécimen, se debe colocar una platina metálica adicional con superficies maquinadas que no deben desviarse del plano en más de 0,01 mm por cada 100 mm y con un espesor igual al menos, a la distancia que hay desde el borde de la rótula de carga y la esquina más alejada del espécimen refrentado; la longitud y el ancho de la pieza intermedia adicionada debe ser al menos 6,0 mm más grande que la longitud y el ancho de la unidad a ensayar (véanse las figuras del Anexo A). Los espesores de las platinas de ensayo se determinan de acuerdo con lo establecido en esta norma.

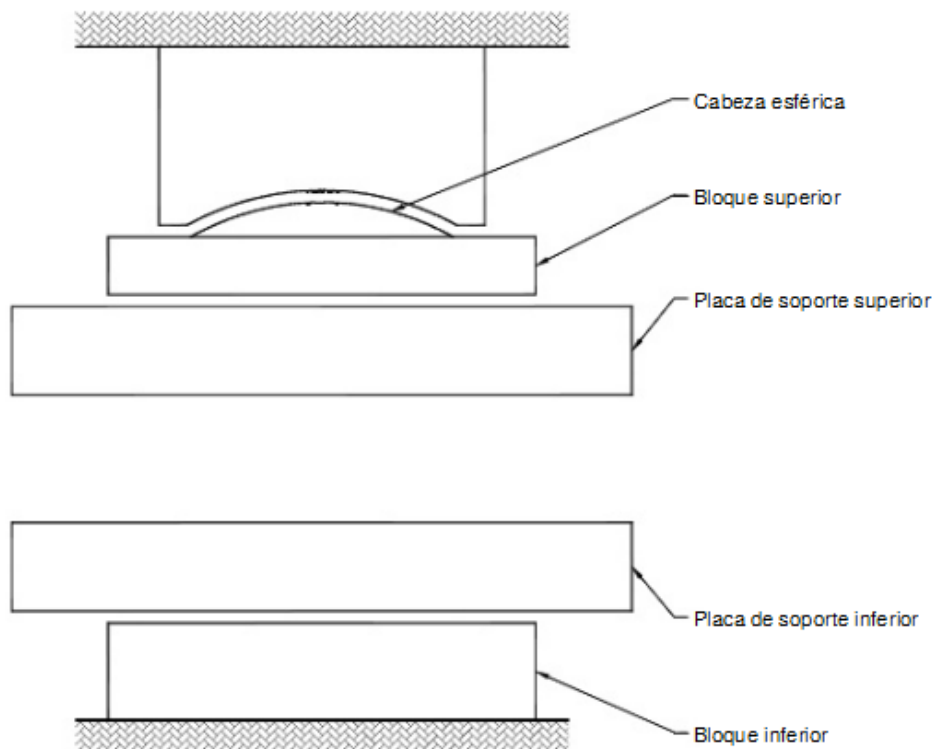
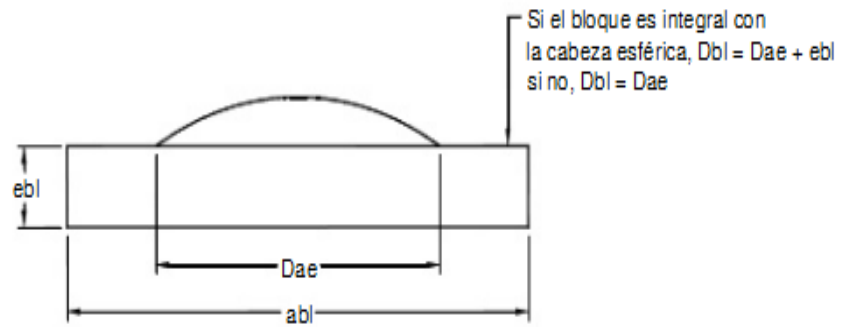


Figura 8. Equipo utilizado en la compresión

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/50159446/NTC4017>



en donde

- D_{ae} = diámetro medido para el asiento esférico, en mm.
- D_{bl} = diámetro calculado para el bloque superior, en mm.
- abl = ancho mínimo medido del bloque superior, en mm.
- e_{bl} = espesor medido de la sección no esférica del bloque superior, en mm.

Figura 9. Diámetro del Bloque Superior

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/50159446/NTC4017>

$$d = A - \frac{D_{bl}}{2}$$

en donde

- d = distancia desde el bloque a la esquina más lejana del espécimen, en mm.
- A = distancia desde el centro de masa del espécimen a la esquina más lejana del espécimen, en mm.
- D_{bl} = diámetro calculado para el bloque superior, en mm.

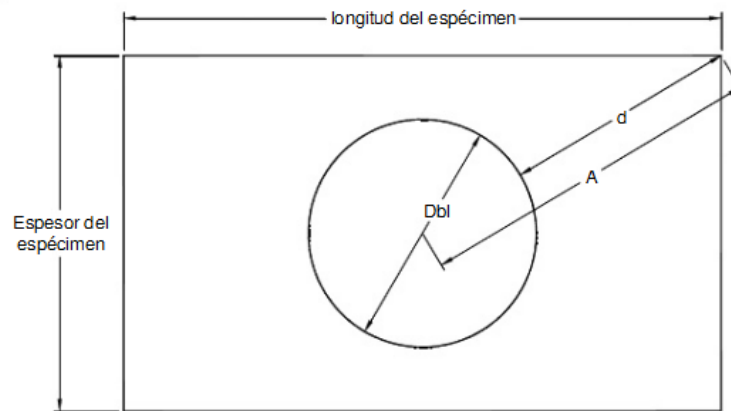
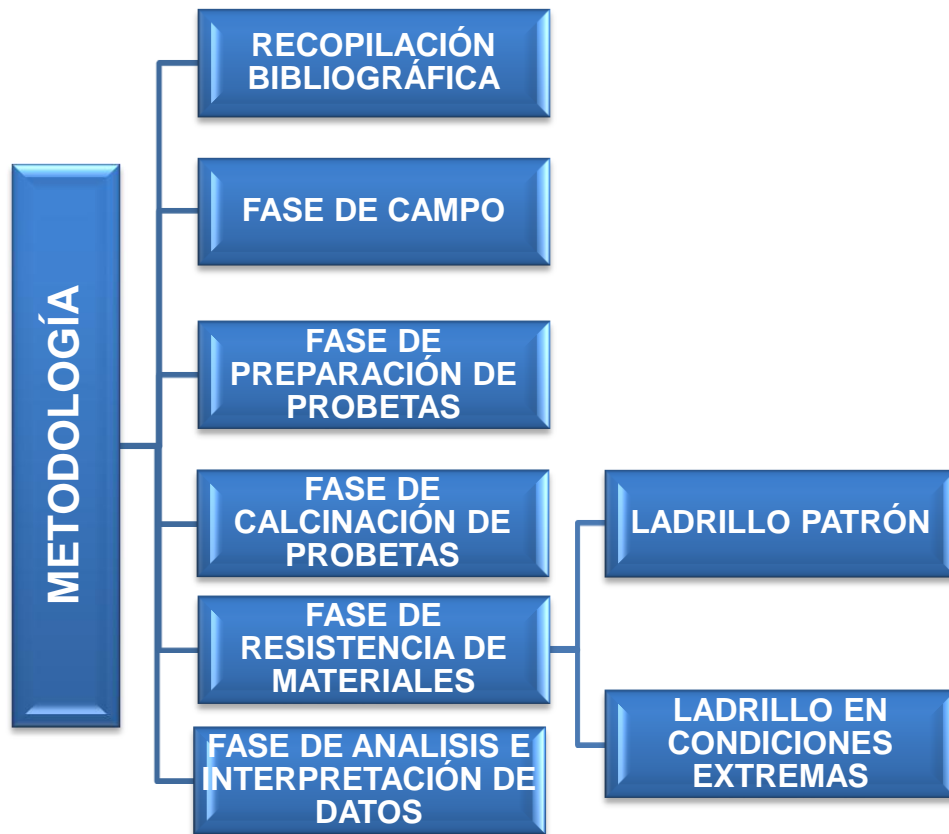


Figura 10. Distancia del bloque a la esquina más lejana del espécimen del ensayo.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/50159446/NTC4017>

5. METODOLOGÍA

En la etapa del proyecto investigativo, se sustenta el proceso que se llevó a cabo en la ejecución de cada fase propuesta, como se presentan a continuación:



5.1 FASE BIBLIOGRÁFICA

La recopilación de archivos bibliográficos se lleva a cabo durante el proceso del proyecto de investigativo. Estos archivos son tomados de diferentes bases de datos; las principales fuentes se encontraron en la biblioteca de la Universidad Industrial de Santander (recursos electrónicos, libros y proyecto de grado), así como información documentada de tesis de maestrías y doctorados por medio del

internet, estos debidamente certificados. Fuentes fundamentales para el desarrollo de este proyecto fueron las normas técnicas Colombianas NTC 4017 y NTC 4205.

5.2 FASE DE CAMPO

En la Ladrillera ERGO Durán & García Ltda., se llevó a cabo el estudio de la materia prima la cual fue la pasta base para la realización de cada uno de los especímenes. En esta fase se realizaron visitas técnicas, las cuales permitieron conocer el proceso que se desarrolla en la ladrillera con respecto a la producción de ladrillos.

En esta etapa se realiza una descripción geológica donde se reconocen segmentos estratigráficos con el fin de llevar un control de los niveles arenosos y arcillosos de interés de la empresa; se realiza una descripción detallada del frente de explotación caracterizando por medio de imágenes los principales rasgos estratigráficos con el fin de determinar los mejores horizontes que para este caso corresponden a los de composición arcillo-arenosa.

5.3 FASE DE PREPARACIÓN DE PROBETAS

Uno de los principales objetivos del proyecto es contribuir al mejoramiento de las propiedades tecnológicas de los ladrillos evaluando el efecto del uso de residuos agroindustriales incorporados en la pasta convencional del ladrillo. Por consiguiente se plantean las siguientes proporciones:

Caso 1: 5% de adición; 95% de materia prima

Caso 2: 10% de adición; 90% de materia prima

Caso 3: 20% de adición; 80% de materia prima

Los residuos agroindustriales adicionados en la mezcla son: Cacota de Cacao, Aserrín, Cascara de Arroz y La Caña de Azúcar (Brozo). Estos residuos fueron triturados hasta tomar un tamaño de grano similar al de la materia prima extraída. Las dimensiones estipuladas para las probetas a realizar en este trabajo investigativo son 5x6x9cm respectivamente,

El procedimiento que se llevó a cabo para la elaboración de Materiales Cerámicos es el siguiente (figura 11):

- a. Se define la dosis de residuo agroindustrial (5%, 10% o 20%)
- b. Se determina el peso en gramos necesario para incorporar en la mezcla la adición del residuo seleccionado.
- c. Se define la cantidad de materia prima necesaria para realizar la probeta y se adiciona el residuo.
- d. Se adiciona agua a la mezcla general de la materia prima y del residuo.
- e. Se mezcla hasta presentar una textura homogénea.
- f. Al molde se cubre con un aislante (en este caso ACPM) para que el Ladrillo no se adhiera a las paredes.
- g. Con una espátula se rellena el molde para realizar los ladrillos.
- h. Se espera un poco que el ladrillo seque para ser retirado del molde y quede con las dimensiones planteadas.



Figura 11. Procedimiento en la realización de materiales cerámicos (Ladrillos): *a. Muestra de Cacota de Cacao, b. Peso del residuo a incorporar, c. Materia Prima cantidad a utilizar, d. Incorporando La Cacota de Cacao en la Materia Prima, e. Adicionando agua a la mezcla, f. Mezcla general para el ladrillo, g. Se coloca un aislante (en este caso ACPM) para que el Ladrillo no se adhiriera a las paredes h. Con una espátula rellenando el molde para realizar los ladrillos, i. Ladrillo final con la adición correspondiente. Fuente: Autor*

5.4 FASE DE CALCINACION DE PROBETAS

Para la calcinación de las probetas se tomaron en cuenta las dimensiones de los ladrillos antes y después del proceso de cocción.

El procedimiento es el siguiente:

1. Se toman las dimensiones de los ladrillos antes de ser calcinados
2. Se debe tener en cuenta el tiempo de curado del ladrillo
3. Se introduce en la mufla y elevar a una temperatura de 800°C
4. Se debe esperar hasta que la mufla alcance la máxima temperatura (800°C)
5. Después de que alcanza su máxima temperatura se mantiene durante 2 horas.
6. Se apaga la Mufla y se deja reposar hasta que este alcance la temperatura ambiente para poder ser retirados de la Mufla.
7. Se toman las dimensiones de los ladrillos después de ser calcinados.

Para el caso de la Mufla los datos para tener en cuenta son (Figura 12):

PV: Se conoce como temperatura control. En este caso se produce un aumento de temperatura paulatinamente hasta alcanzar la máxima temperatura (800°C). Está inicia en temperatura ambiente hasta llegar a la temperatura deseada.

SV: Se conoce como la Máxima Temperatura. En este caso se observa a la temperatura que se desea llegar.



Figura 12. A. Mufla de calcinación. B. Se observan el PV y el SV.

Fuente: Autor

A continuación se presenta el proceso que se llevó a cabo para la calcinación de los ladrillos (Figura 13)



Figura 13. A. Ladrillos Crudos, B. Dimensiones de los Ladrillos antes de ser calcinados, C. Mufla de Calcinación, D. Ladrillos después de ser calcinados y de haber reposado, E. Dimensiones de los Ladrillos después de calcinados y F. Ladrillos Calcinados. Fuente: Autor

5.5 FASE DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y FLEXIÓN

Los ensayos de resistencia se llevaron a cabo en el Laboratorio de Materiales de Construcción de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Pontificia Bolivariana. Se aplicaron los esfuerzos de flexión y compresión a 22 ladrillos con el fin de determinar cómo es el comportamiento de los especímenes respecto a las dosificaciones de residuos incorporadas en la pasta convencional, para concluir el efecto que generaron la adición de residuos en las propiedades mecánicas de los ladrillos respecto a las condiciones extremas a las que se exponen las unidades.

5.6 FASE DE ENSAYOS DE UNIDADES DE LADRILLOS: ENSAYOS DE DURABILIDAD Y RESISTENCIA SEGÚN NORMA NTC 4017

En esta etapa del proyecto de grado, se realizaron ensayos en los ladrillos para evaluar el comportamiento en condiciones extremas a las que pueden estar expuestos.

Por este motivo se aplicaron dos factores diferentes; ensayos de durabilidad y ensayos de resistencia en materiales cerámicos. Para los ensayos de durabilidad se exponen los ladrillos a diferentes ataques en soluciones con ácidos y sulfatos con el fin de determinar el desgaste. Esto con lleva que por medio de la observación y recopilación de datos, mostrar como el ladrillo se comporta al estar sumergido en diferentes etapas en este tipo de soluciones; de esta manera determinar la retención de agua al filtrarse por cavidades que presenten los especímenes, lo cual definirá la densidad de porosidad, es decir entre más agua se filtre más poroso será el ladrillo, lo que indicará que la resistencia a la compresión y flexión será baja. Los ensayos de resistencias se definieron según la norma técnica colombiana NTC 4017 como ensayos de rotura (flexión) y ensayos de compresión.

ENSAYOS DE DURABILIDAD

Para los ensayos de durabilidad se aplicaron unos ataques a los ladrillos con el fin de determinar el comportamiento que estos podrían tener si fueran expuestos a este tipo de ambientes. En este caso se tienen en cuenta ataques de ácidos (ácido sulfúrico) y sales (Sulfato de magnesio).

Realizados los ensayos y en base a la norma técnica colombiana NTC 4017 se observó que al aplicar estas soluciones a los especímenes, en algunos tomaban unas características particulares, por lo tanto estos patrones se podrían evaluar mediante el ensayo de eflorescencia.

Eflorescencia

Son manchas superficiales en las caras de los ladrillos, generalmente blanquecinas y producidas por la cristalización de sales solubles arrastradas por el agua hacia el exterior del ladrillo en los ciclos de humectación–secado.

Por lo tanto para este trabajo investigativo se tomaron en cuenta rasgos presentes en los especímenes ensayados respectivamente para cada tipo de ataque. Los siguientes ítems son tomados en cuenta para la clasificación de este ensayo:

- a. **NO EFLORESCIDO:** no se observa diferencia con el ladrillo patrón.
- b. **LIGERAMENTE EFLORESCIDO:** se observa un velo homogéneo blanquecino de capa fina en todo el canto, o bien, cuando se observan manchas blanquecinas en las aristas y vértices del canto visto.

- c. EFLORESCIDO: existen manchas diferenciadas en el canto visto o cuando la eflorescencia invade la totalidad de las caras vistas.

ENSAYOS DE RESISTENCIA

Mencionado en el ítem 5.5 los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Materiales de Construcción de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Pontificia Bolivariana. Para esta etapa se aplicaron los esfuerzos de flexión a 22 ladrillos con ataque de ácido; y a los esfuerzos de compresión se aplicaron 33 ladrillos con ataque de sulfatos; con el fin de determinar cómo es el comportamiento de los especímenes antes y después de ser expuesto a ataques de ácidos y sulfatos.

5.7 FASE DE ESTRUCTURACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS RECOPIRADOS

En esta fase se toman en cuenta la integración de los datos recopilados durante la realización del proyecto. Se plantea la estructura del proceso que se llevó a cabo en el desarrollo del trabajo investigativo y se incorporan los datos obtenidos en los ensayos que se sustentaron con el fin de generar el mejor comportamiento de los ladrillos con las dosificaciones de los residuos seleccionados.

6. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

Santander es uno de los departamentos más montañosos del país y gran parte de su territorio corresponde a la Cordillera Oriental, donde el relieve es escarpado a moderado; sin embargo en su extremo occidental posee una amplia zona baja y plana. El departamento de Santander está representado por dos grandes regiones naturales como son la Cordillera Oriental y el Valle Medio del Magdalena (IGAC, 1999) cuyas características geomorfológicas muestran contrastes bien marcados.

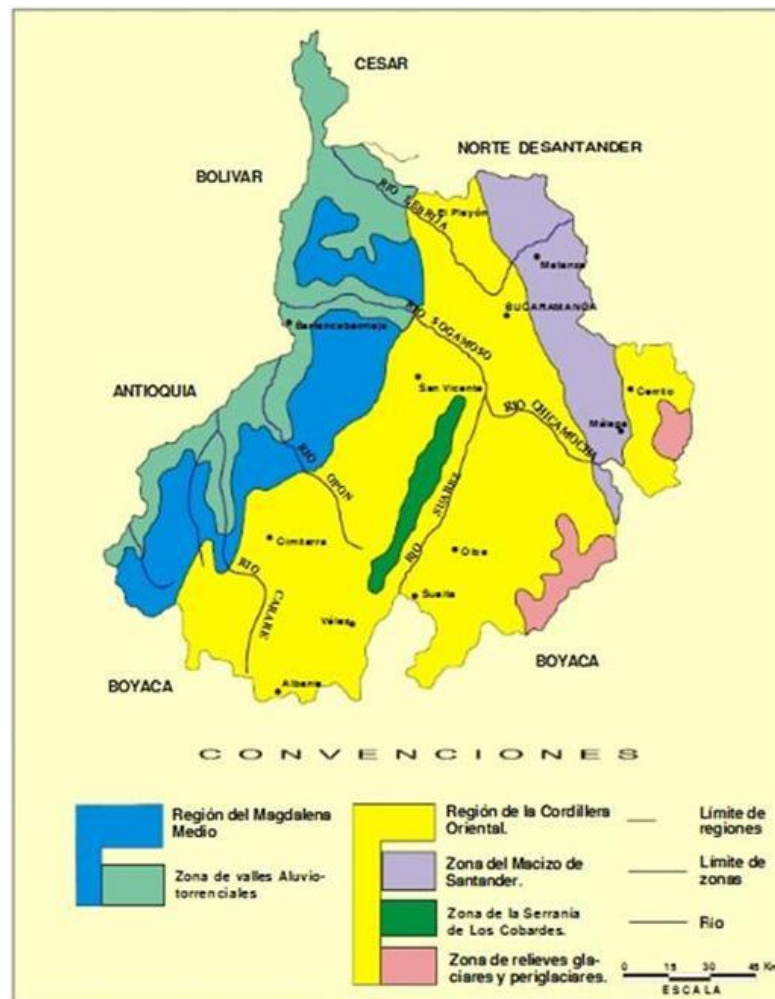


Figura 14. Regiones Fisiográficas del Departamento de Santander (Adaptado del IGAC, 1992). Fuente: Ingeominas (2001)

En el Departamento de Santander, los depósitos cuaternarios son muy variados en su origen y se encuentran ampliamente distribuidos a lo largo de los valles de los principales ríos y quebradas. Entre los depósitos de mayor extensión se diferencian tres unidades predominantes: La unidad TQ está constituida por areniscas, limolitas y conglomerados débilmente consolidados y considerados como depósitos de origen fluvial, los cuales están representados por el Grupo Mesa y la Unidad Meseta de Bucaramanga, de edad Pliocena-Pleistocena; la Unidad *Qtf* se encuentra compuesta por depósitos no consolidados aluviales en abanicos y terrazas, es considerada de edad Pleistoceno, y la Unidad Qal está conformada por depósitos no consolidados de aluvión, coluvión, derrubios, glaciares, fluvioglaciares, que son considerados del Holoceno. (Clavijo y Royero, 2001).

La Ladrillera ERGO Duran y García Ltda., el frente de explotación se ha identificado como la Formación Bucaramanga (Qbf) es un depósito Cuaternario que corresponde a un abanico aluvial erosionado.

Para este proyecto el miembro importante es el Miembro Finos (Qbf): Éste nivel fue reconocido y definido por Hubach (1952). Se ubica estratigráficamente entre el nivel inferior de la Formación Bucaramanga (Miembro Órganos) y el nivel superior (Miembro Gravoso) en contactos netos plano paralelos. Es una extensa capa lenticular horizontal, donde alternan niveles arcillosos, limoarenosos y arenolimosos.

Estructuralmente se considera como un bloque hundido limitado al este por el sistema de fallas Bucaramanga – Santa Marta, que lo separa del macizo de Santander, al oeste por la falla del Suárez – Rio de Oro, que lo separa de la mesa de Lebrija, al norte por la intersección de las dos fallas anteriores y por la falla de los Angelinos y al sur por el sistema de fallas de Ruitoque y Los Santos, este

sistema es ortogonal a la falla de Bucaramanga y le permitió el levantamiento de las mesas de Ruitoque y los Santos.

El área de estudio se identifica estratigráficamente como la Formación Bucaramanga (Qbf) caracterizada por ser un depósito Cuaternario que corresponde a un abanico aluvial erosionado.

Entre las principales características estratigráficas se identificaron que los paquetes de interés para la extracción de la materia manejan una plasticidad y una deformación; que para el caso de los materiales cerámicos es el contexto clave para su extracción y producción de ladrillos.

Se caracterizan por presentar una estratificación plano paralela, en algunos sectores se observan grietas de desecación e intercalaciones de capas areno arcillosas con una matriz limosa y areniscas de grano fino a medio. Presentan una gradación en algunas ocasiones y también tipo de granos que van de grano creciente a grano decreciente, arcillas de plasticidad media a alta, granos subredondeados, selección de regular a buena. Composicionalmente predominan las arenas arcillosas, que para este proyecto serían las de mayor importancia.

Los segmentos que no son de interés presentan conglomerados, cantos y guijas, sus granos están variando de media a gruesas y en poca proporción guijarros flotantes. Principalmente se compone de textura conglomerática de grano muy grueso, medio y muy fino. Consta de granos subangulares y subredondeados pero presenta una baja calibración y con matriz de tipo arcilloso.

Definidos los paquetes por lo que está compuesto el frente de explotación de la ladrillera ERGO Durán y García se concluye que los segmentos E, H y M se constituyen principalmente de guijos, cantos, entre otros aspectos que bajan la

resistencia de la materia prima. En general se observan que los demás segmentos presentan una proporción Arena Arcillosa, puesto que la granulometría de la zona se encuentra entre los 200 a 400 μm . Esta relación la determino en base a la recopilación de datos granulométricos del frente de explotación.

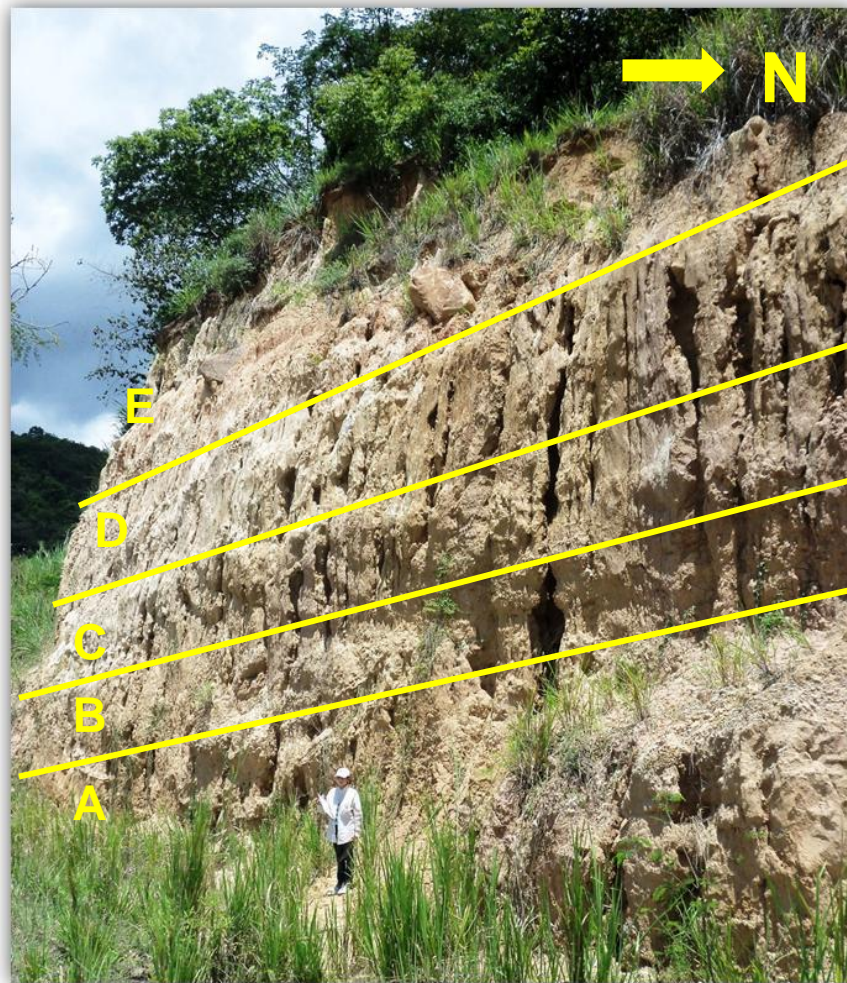


Figura 15. Paquetes litológicos segmentos A, B, C, D y E. Primeros segmentos aflorantes.

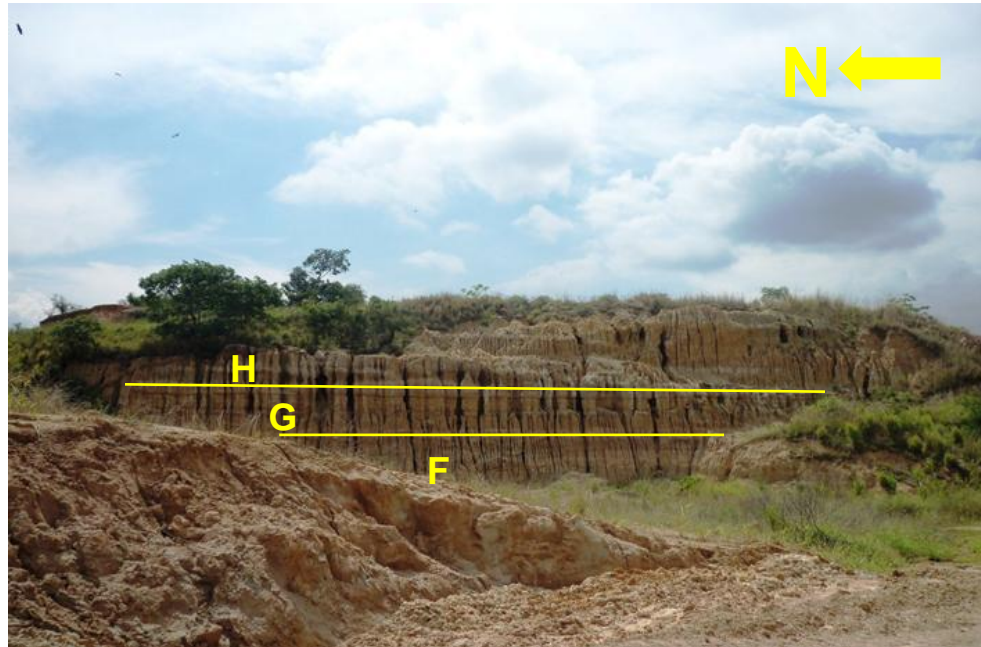


Figura 16. Paquetes litológicos segmentos F,G Y H.

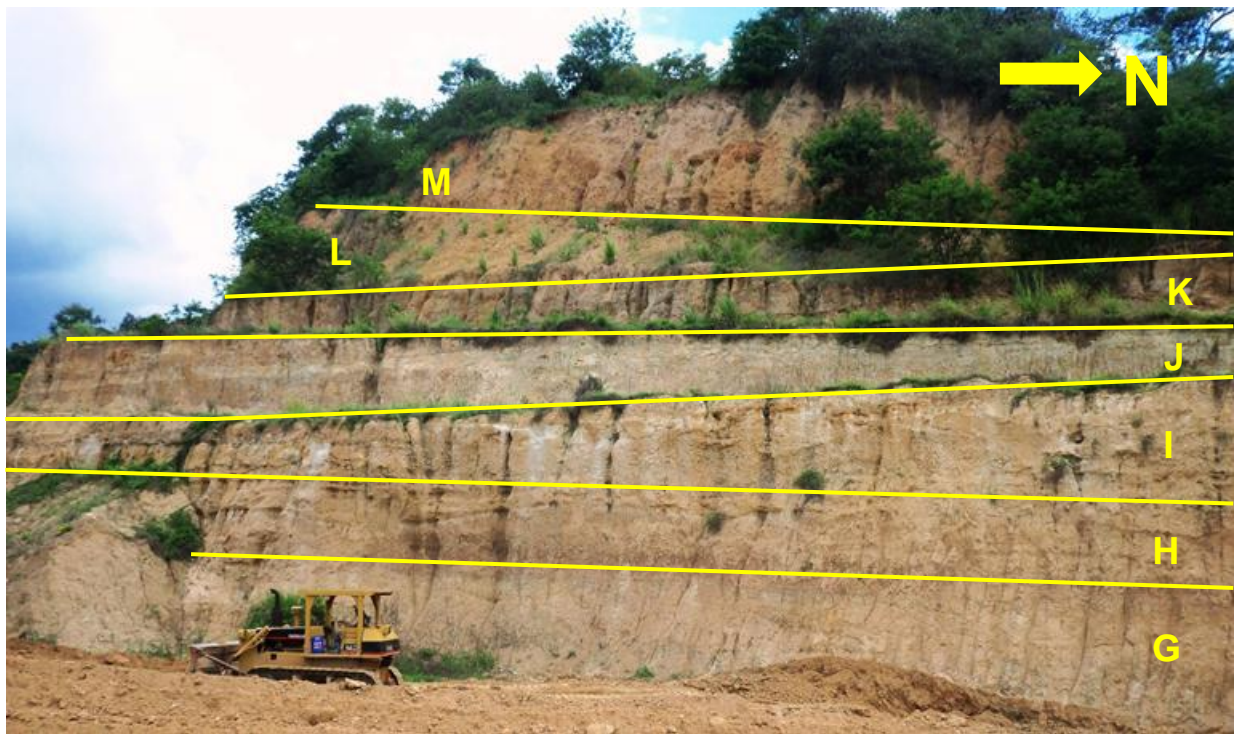


Figura 17. Paquetes litológicos segmentos G, H, I, J, K, L Y M.



Figura 18. Panorámica de la ladrillera ERGO.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA DE LADRILLOS

A continuación se presentan los resultados de los ensayos de flexión y compresión realizados en el Laboratorio de Materiales de Construcción de la Universidad Pontificia Bolivariana. Tabla 2 y 3.

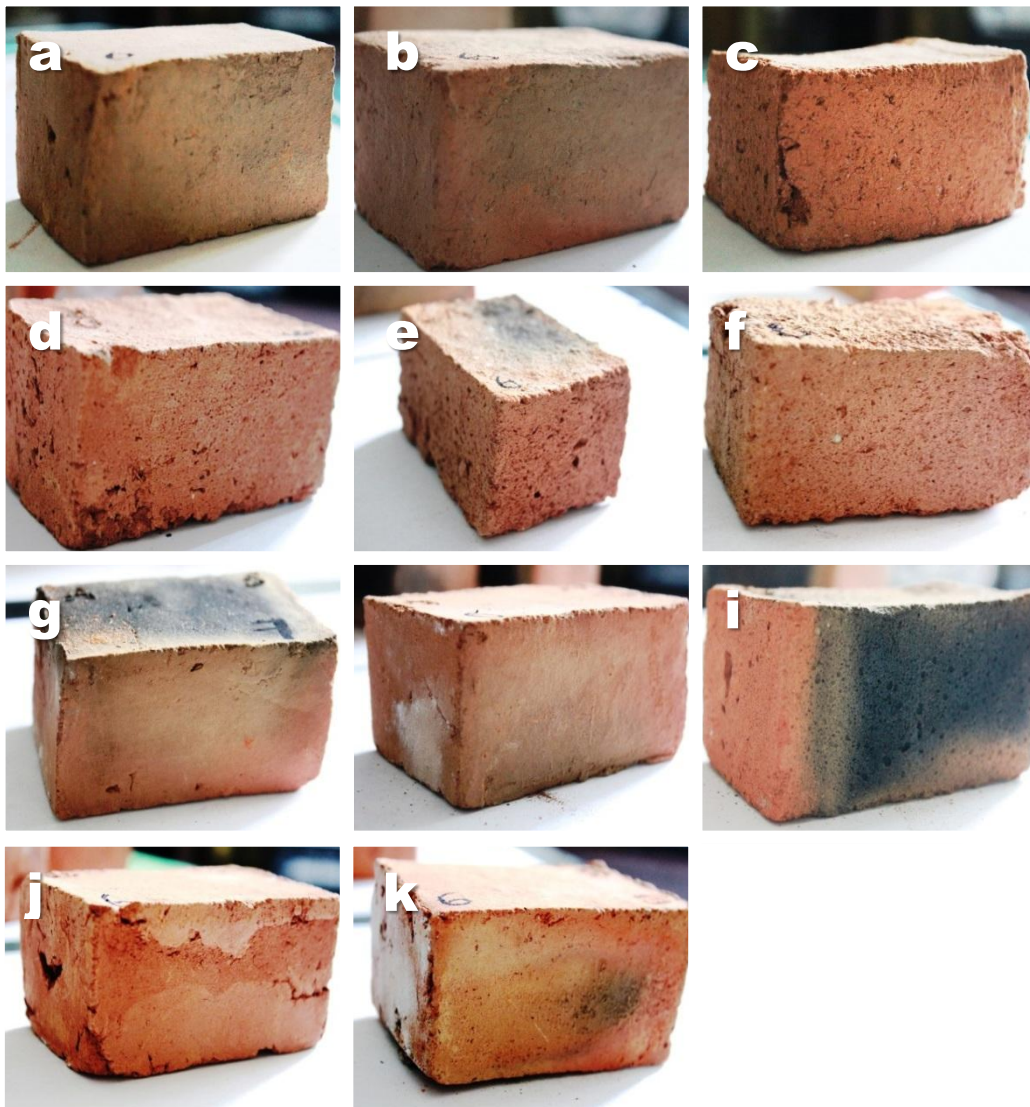


Figura 19. Lote de Ladrillos utilizados para ensayos de flexión. A) Cascarilla de arroz 5%, B) Cascarilla de arroz 10%, C) Cascarilla de arroz 20%, D) Caña de Azúcar 5%. E) Caña

de azúcar 10%, F) Caña de azúcar 20%, G) Aserrín 5%, H) Aserrín 10%, I) Aserrín 20%, J) Cacota de Cacao 5% y K) Cacota de cacao 10%.

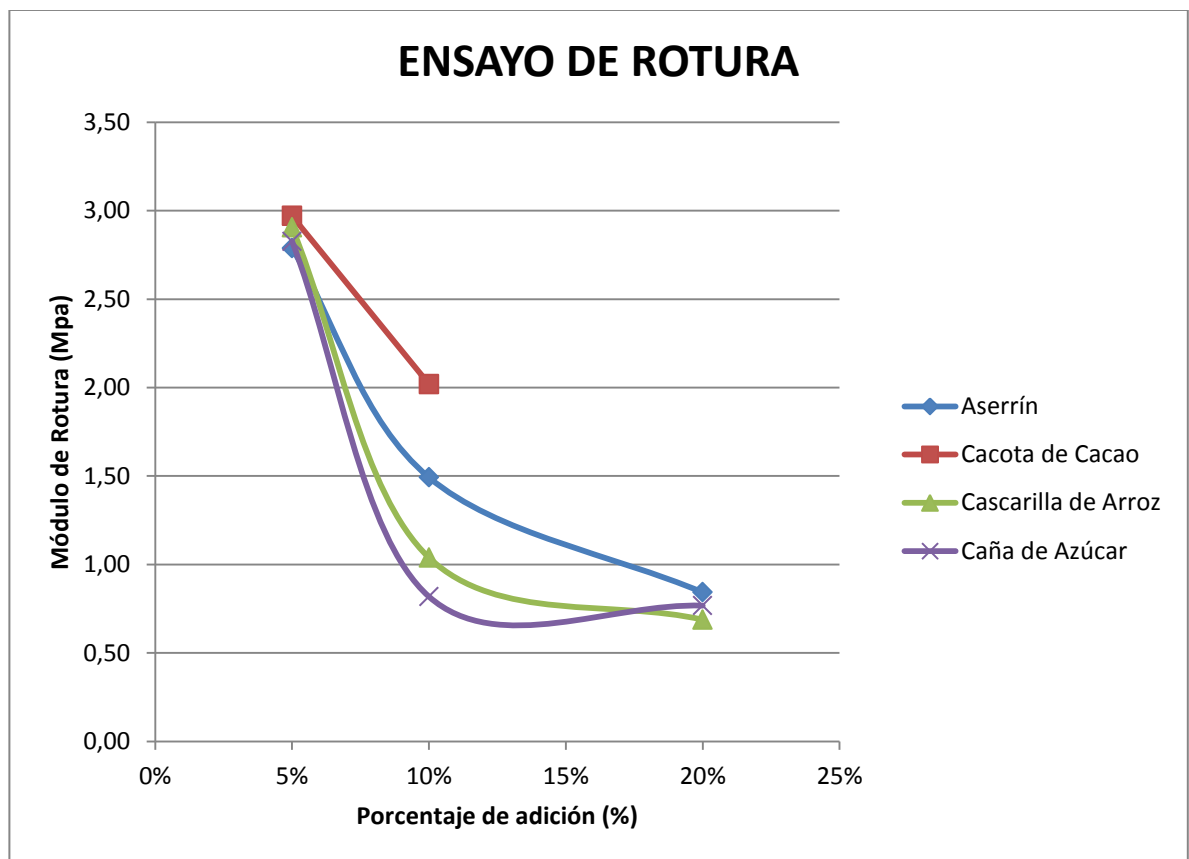
ENSAYO DE ROTURA								
Residuo	Porcentaje (%)	b,cm	c,cm	d,cm	Luz, cm	Carga (kN)	Módulo de Rotura	
							kN/cm ²	Mpa
Aserrín	5%	4,3	5,8	8,9	6,4	4,2	0,28	2,79
Aserrín	10%	4,7	6,3	8,9	6,4	2,9	0,15	1,49
Aserrín	20%	4,5	6,0	9,0	6,5	1,4	0,08	0,84
Cacota de Cacao	5%	4,4	6	8,9	6,4	4,9	0,30	2,97
Cacota de Cacao	10%	4,4	5,5	8,9	6,4	2,8	0,20	2,02
Cascarilla de Arroz	5%	4,7	5,9	9,1	6,6	4,8	0,29	2,90
Cascarilla de Arroz	10%	4,5	6,0	9,1	6,6	1,7	0,10	1,04
Cascarilla de Arroz	20%	4,3	6,0	9,6	7,1	1,0	0,07	0,69
Caña de Azúcar	5%	4,4	5,5	9,1	6,6	3,8	0,28	2,83
Caña de Azúcar	10%	4,5	6,0	9,3	6,8	1,3	0,08	0,82
Caña de Azúcar	20%	4,3	5,7	9,0	6,5	1,1	0,08	0,77

Tabla 2. Ensayos de rotura en ladrillos patrón.

Evaluando los datos recopilados por medio de la siguiente gráfica se observan las variaciones que se presentan en cada una de las mezclas de aditivos en diferentes dosis (Gráfica 1).

Presentando un balance con respecto a todas las mezclas expuestas en el proyecto se puede determinar que los mejores resultados de flexión se presentan en las dosificaciones de 5% respectivamente en cada uno de los residuos; el que presenta la mejor respuesta a la flexión en este caso es la mezcla de arcilla 95% y cacota de cacao del 5%, donde su módulo de rotura 2,97Mpa y se fractura con una carga puntual de 4,9kN.

En la gráfica 1 se observa la disminución que actúan sobre los especímenes al aplicar el ensayo de flexión a los ladrillos. A medida de que el porcentaje en peso aumenta, el módulo de rotura de las unidades es más bajo, lo que puede ser debido a la porosidad que estos presentan. Para demostrar lo expuesto anteriormente se presentara los resultados de los ladrillos cuando han sido expuestos a diferentes factores externos que puedan deteriorar el comportamiento de las probetas.



Gráfica 1. Comportamiento de los ladrillos respecto a las dosis aplicadas en cada mezcla contra el módulo de rotura.

ENSAYOS DE COMPRESIÓN					
ADITIVO	PORCENTAJE	Medidas mm		Carga, kN	RESISTENCIA
		a	b		Mpa
Aserrín	5%	60	93	17,8	3,2
Aserrín	10%	60	92	36,5	6,6
Aserrín	20%	59	91	5,9	1,1
Cacota de cacao	5%	56	88	49,2	10,0
Cacota de cacao	10%	60	89	28,7	5,4
Caña de Azúcar	5%	56	90	22	4,4
Caña de Azúcar	10%	58	90	7,5	1,4
Caña de Azúcar	20%	58	92	4,9	0,9
Cascarilla de Arroz	5%	59	92	11,5	2,1
Cascarilla de Arroz	10%	60	91	9,4	1,7
Cascarilla de Arroz	20%	62	95	3,3	0,6

Tabla 3. Ensayos de compresión en ladrillos patrón.

En tabla 3 se observa el comportamiento que presentaron los ladrillos hacer expuestos a esfuerzos compresivos observando en la gráfica 2, lo siguiente:

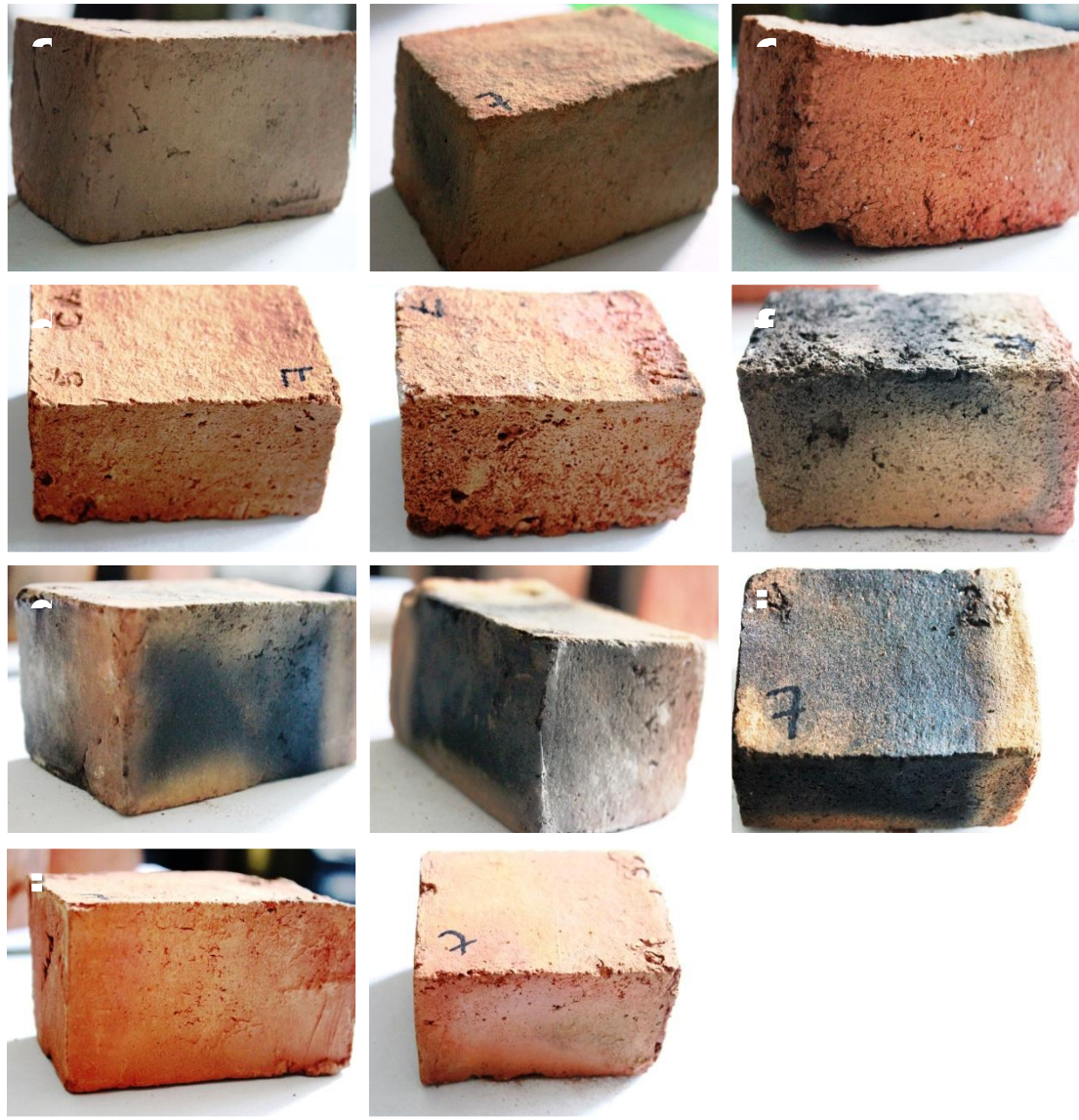
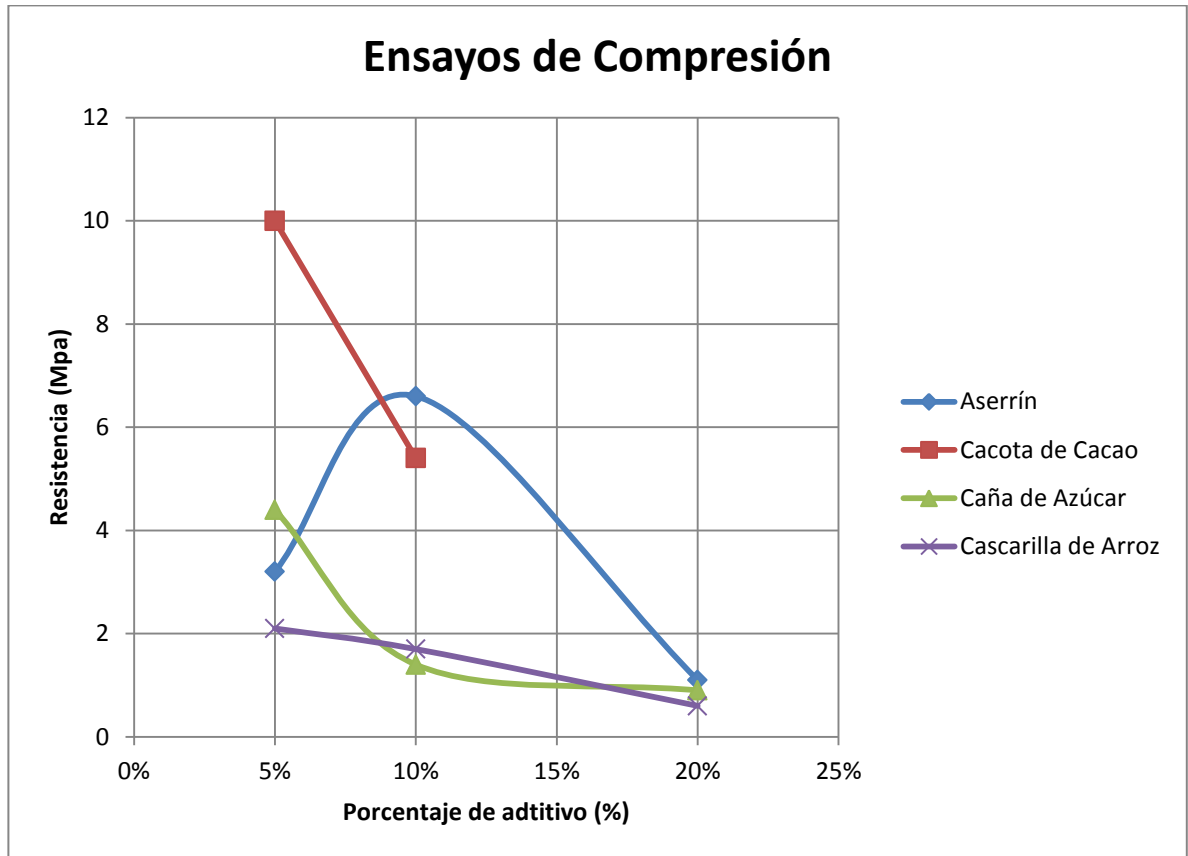


Figura 20. Lote de Ladrillos utilizados para ensayos de compresión. A) Cascarilla de arroz 5%, B) Cascarilla de arroz 10%, C) Cascarilla de arroz 20%, D) Caña de Azúcar 5%. E) Caña de azúcar 10%, F) Caña de azúcar 20%, G) Aserrín 5%, H) Aserrín 10%, I) Aserrín 20%, J) Cacota de Cacao 5% y K) Cacota de cacao 10%.



Gráfica 2. Comportamiento de los ladrillos respecto a las dosis aplicadas en cada mezcla contra resistencia a la compresión.

En la gráfica 2 se observa que los aditivos utilizados como la Cacota de Cacao y la Cascarilla de arroz muestran un comportamiento lineal, es decir, a medida que aumenta el porcentaje en peso del aditivo disminuye su resistencia a la compresión, mientras que caso contrario se sustentan para el aserrín y la caña de azúcar. Para el caso del aserrín se observa que presenta cambios abruptos en su comportamiento, puesto que la máxima resistencia a la compresión se muestra para la dosis de 10% en peso. Para el caso de la caña de azúcar se observa una baja resistencia a medida que la dosis de aditivo va aumentando. Por lo tanto, según la gráfica los mejores resultados de resistencia a la compresión se

presentan para los aditivos de cacota de cacao de 5% de peso que son valores de aproximadamente 10,1 Mpa con una carga puntal de 49,2 kN.

RELACIÓN DE LOS DATOS RECOPIRADOS EN BASE A LA NORMATIVA DE LADRILLOS Y BLOQUES

Basando la recopilación de datos obtenidas en el estudio realizado para el proyecto que se llevó a cabo, se sustentan los resultados obtenidos por medio de normas que exponen los resultados de los ladrillos convencionales practicando ensayos de compresión y flexión para determinar de este modo que tan favorables fueron los estudios realizados con la incorporación de los aditivos agroindustriales antes mencionados.

Por consiguiente se plantean estudios que a continuación se compraran en base a los datos obtenidos.

1- La Normativa de ladrillos y bloques expone los valores documentados según la norma NBE AE-88 denominada acciones en la edificación que se presentan a continuación por medio de la tabla 4 que evalúa el comportamiento del ensayo de compresión para ladrillos macizos.

Resistencia del ladrillo kg/cm ²	Plasticidad del mortero	Espesor de las juntas en cm	Resistencia de cálculo f _d de la fábrica, en kg/cm ² con mortero				Espesor de las juntas en cm	Plasticidad del mortero	Resistencia del ladrillo kg/cm ²
			M-20	M-40	M-80	M-160			
100	magra	> 1,5	12	14	16	•			
	magra sograsa	1,5 a 1 > 1,5	14	16	18	•			
	magra sograsa grasa	< 1 1,5 a 1 > 1,5	16	18	20	•	> 1,5	magra	
	sograsa grasa	< 1 1,5 a 1	18	20	22	25	1,5 a 1 > 1,5	magra sograsa	
	grasa	< 1	20	22	25	28	< 1 1,5 a 1 > 1,5	magra sograsa grasa	150
200	magra sograsa	1,5 a 1 > 1,5	22	25	28	32	< 1 1,5 a 1	sograsa grasa	
	magra sograsa grasa	< 1 1,5 a 1 > 1,5	25	28	32	36	< 1 > 1,5	grasa magra	
	sograsa grasa	< 1 1,5 a 1	28	32	36	40	1,5 a 1 > 1,5	magra sograsa	
	grasa	< 1	32	36	40	45	< 1 1,5 a 1 > 1,5	magra sograsa grasa	300
				36	40	45	50	< 1 1,5 a 1	sograsa grasa
			40	45	50	56	< 1	grasa	

Tabla 4. Resistencia de cálculo de las fábricas de ladrillos macizos.
Fuente: <http://www.madrid.org/bdccm/normativa/PDF/Ladrillos%20y%20bloques/Compendio/CPLADR.pdf>

Relacionando los datos recopilados en los ensayos realizados para este proyecto y basado la normativa de ladrillos y bloques se plantea que los comportamientos de los ladrillos expuestos son favorables, puesto que el rango mínimo que se está sustentando es de 12 – 56 kg/cm² dependiendo de las dimensiones que tenga el ladrillo. Para este caso en particular se nombran cuatro tipos de ladrillos y revisando la respuesta que tienen los especímenes utilizados con diferentes aditivos, se concluye que las mejores condiciones de resistencia a la compresión se presentan para las mezclas de materia prima 90% - Aserrín 10%, materia prima 95% - Cacota de Cacao 5%, materia prima 90% - Cacota de Cacao 10% y materia

prima del 95% - Caña de Azúcar del 5%, ya que los rangos para estos casos se encuentran entre 44,4 – 101,8 Kg/cm², donde la mezcla más favorable es la de materia prima 95% - Cacota de Cacao 5%.

N°	LADRILLO N°	ADITIVO Y PORCENTAJE	MEDIDAS, mm		CARGA, kN	RESISTENCIA	
			a	b		MPa	kg/cm ²
1	8	ASERRIN - 5%	60	93	17,8	3,2	32,5
2	7	ASERRIN - 10%	60	92	36,5	6,6	67,4
3	7	ASERRIN - 20%	59	91	5,9	1,1	11,2
4	7	CACOTA DE CACAO - 5%	56	88	49,2	10,0	101,8
5	7	CACOTA DE CACAO - 10%	60	89	28,7	5,4	54,9
6	7	CAÑA DE AZUCAR - 5%	56	90	22,0	4,4	44,4
7	7	CAÑA DE AZUCAR - 10%	58	90	7,5	1,4	14,6
8	7	CAÑA DE AZUCAR - 20%	58	92	4,9	0,9	9,3
9	7	CASCARILLA DE ARROZ - 5%	59	92	11,5	2,1	21,5
10	7	CASCARILLA DE ARROZ - 10%	60	91	9,4	1,7	17,6
11	7	CASCARILLA DE ARROZ - 20%	62	95	3,3	0,6	5,8

Tabla 5. Resistencia a la compresión. Fuente: Laboratorio de materiales de construcción Universidad Pontificia Bolivariana

Para este caso solo se puede evaluar la relación existente en el ensayo de compresión.

2- Recopilando la información del libro *“el proceso constructivo de las obras de fábrica la construcción de arcos y bóvedas” sustentan los siguientes resultados.*

Resistencia normalizada de las piezas, f_b (N/mm ²)	10		15		20		25
Resistencia del mortero, f_{mv} (N/mm ²)	5	7.5	7.5	10	10	15	15
Ladrillo macizo con junta delgada	5	5	7	7	9	10	11
Ladrillo macizo	4	4	6	6	8	8	10
Ladrillo perforado	4	4	5	6	7	8	9
Bloques aligerados	3	4	5	5	6	7	8
Bloques huecos	2	3	4	4	5	6	6

Tabla 6. Resistencia característica a la compresión de fábricas usuales. Fuente: <http://www.vorsevi.es/descarga/publicaciones/Libro%20%20Obras%20de%20F%C3%A1brica.pdf>

Tipo de pieza	Morteros ordinarios				Morteros de junta delgada		Morteros ligeros	
	$f_m < 5\text{N/mm}^2$		$f_m \geq 5\text{N/mm}^2$		f_{xk1}	f_{xk2}	f_{xk1}	f_{xk2}
	f_{xk1}	f_{xk2}	f_{xk1}	f_{xk2}				
Cerámica	0.10	0.20	0.10	0.40	0.15	0.15	0.10	0.10
Sílico-calcareos	0.05	0.20	0.10	0.40	0.20	0.30	-	-
Hormigón ordinario	0.05	0.20	0.10	0.40	0.20	0.30	-	-
Hormigón celular de autoclave	0.05	0.40	0.10	0.40	0.15	0.20	0.10	0.15
Piedra artificial	0.05	0.40	0.10	0.40	-	-	-	-
Piedra natural	0.05	0.20	0.10	0.40	0.15	0.15	-	-

Tabla 7. Resistencia característica a la flexión de fábricas usuales. Fuente: <http://www.vorsevi.es/descarga/publicaciones/Libro%20%20Obras%20de%20F%C3%A1brica.pdf>

La relación de los datos recopilados se muestran en N/mm² esto tiene una equivalencia de Mpa. La relación de los resultados permiten determinar que los

datos obtenidos en la investigación realizada siguen presentando una respuesta positiva. Estos resultados mantienen la proporción de favorabilidad en la adición de los residuos incorporados en la mezcla de la pasta convencional.

Los rangos para el caso de la compresión oscilan entre 4 -10 Mpa, se sigue presentando que las mejores mezclas están ubicadas aserrín del 10%, cacota de cacao del 5% y 10% y caña de azúcar del 5%.

Para los rangos de la flexión 0,1 – 0,4 Mpa, lo que nos indica que el comportamiento de las mezclas para este tipo de ensayo es favorecido. Los rangos de los resultados obtenidos en el trabajo investigativo se encuentran 0,69 – 2,97 Mpa. Este caso se evaluó como material cerámico para la tabla 7 y como un mortero ordinario y cerámico.

3- Basados en ensayos de laboratorios de “absorción, compresión y flexión de ladrillos”, se tomaron en cuenta cinco unidades para realizar cada uno de los ensayos y arrojaron unos valores los cuales se promediaron y dieron los siguientes resultados:

Nº	MASA (gr)	ALTURA (cm)	ANCHO (cm)	LARGO (cm)	AREA (cm ²)	(P) CARGA DE ROTURA(Kg)	RESISTENCIA (Mpa)
1	3550	9,6	15,5	16,6	257,3	6880	2,67
2	3164	9,4	15,5	15,5	240,25	5520	2,29
3	2942	9,2	15,7	14,7	230,79	4180	1,81
4	3216	9,2	16,0	15,1	241,6	5240	2,16
5	3064	9,4	16,0	15,3	244,8	5460	2,23

Tabla 8. Resultados ensayos de compresión

$$A = \text{largo} * \text{ancho}$$

$$\text{Compresión} = (26,74+22,98+18,11+21,69+22,3)/5$$

$$\text{Compresión} = 22,36 \text{ kg/cm}^2 / 10$$

$$\text{Compresión} = 2,24 \text{ Mpa}$$

N °	MASA (gr.)	ANCHO (cm.)	(b)LARGO (cm.)	ALTUR A (cm.)	AREA (cm2)	(P) CARGA (kg)	(L) DISTANCIA ENTRE APOYOS	MÓDULO DE ROTURA (Mpa)
1	4010	15,0	22,8	8,0	342	244,9	17,8	0,68
2	3534	14,7	22,8	8,0	335,16	224,5	17,8	0,63
3	3548	14,7	22,6	8,0	332,22	285,71	17,6	0,81
4	3926	14,8	22,6	7,7	334,48	214,29	17,6	0,64
5	3650	15,1	22,7	7,6	342,77	168,37	17,7	0,51

Tabla 9. Resultados ensayos de flexión

$$\text{Módulo de ruptura} = \frac{3 P L}{2 b h^2}$$

$$\text{Módulo de ruptura} = (6,81+6,37+8,01+6,45+5,13)/5$$

$$\text{Módulo de ruptura} = 6,55 \text{ kg/cm}^2 / 10$$

$$\text{Módulo de ruptura} = 0,66 \text{ Mpa}$$

Fuente: <http://laboratoriosdehormigones.blogspot.com/2010/06/absorcion-de-ladrillos-compresion-de.html>

Según los cálculos expuestos anteriormente y comparando los datos recopilados en el proyecto, se determina que el comportamiento de las adiciones es favorable a cada uno de los ensayos de resistencia realizados.

En el caso de la compresión y teniendo en cuenta que la resistencia está dada 2,24Mpa, los mejores casos se presentan para las dosis del 5% al 10% de Aserrín y de cacota de cacao; y para caña de azúcar del 5%. Observando los datos, se observa que para el caso de cascarilla de arroz la resistencia a la compresión comprende rangos muy bajos, por lo que la mezcla con este aditivo no es favorable y no se recomienda sustituir en la pasta convencional.

Según los datos recopilados de flexión, el módulo de rotura en este artículo es de aproximadamente 0,66 Mpa. Basado en ese análisis, los resultados en los ensayos realizados arrojan rangos de módulo de rotura 0,69 – 2,97Mpa, es decir que mejoran notablemente las propiedades tecnológica de los ladrillos en cuanto a los ensayos de flexión.

8. ENSAYOS DE DURABILIDAD CON ÁCIDO SULFÚRICO Y COMPORTAMIENTO DEL LADRILLO CON EL ENSAYO DE FLEXIÓN

8.1 Soluciones en ácido sulfúrico

Este ensayo se realizó con el fin de determinar cómo es el comportamiento del ladrillo al ser expuesto a medios ácidos. Para este caso se determinaron datos como el tipo de absorción que muestra, basándolo en qué proporción disminuye el volumen de solución en el cual se sumergió durante 30 días. Con esto se deduce si el especímenes presenta una alta o baja porosidad y como es el comportamiento cuando es expuesto a esfuerzos de flexión.

Realizado el ensayo de exposición a medio ácido se observó que en las caras de los ladrillos presentan algunos factores tales como la formación de hormigueros, grietas, fracturas, corrosión, entre otros aspectos que afectaran de forma negativa las propiedades de la mezcla que se realizó del ladrillo.

El fin para realizar este ensayo es llevar el control durante un mes que se debe mantener en esta solución el ladrillo para determinar en que se ve afectado las propiedades tecnológicas, es decir, se desea observar el comportamiento de las probetas expuestas en esta solución.

Los ladrillos a utilizar se muestran a continuación en la figura 21.



Figura 21. Lote de ladrillos utilizados para los ensayos de soluciones en ácido. A. Ladrillos con aditivo de aserrín 5%, B. Ladrillo con aditivo de aserrín de 10%, C. Ladrillos con aditivo de aserrín de 40%, D. Lote ladrillos aditivo de cacota de cacao, E. Lote de

ladrillo aditivo de caña de azúcar y F. Lote Ladrillo aditivo de cascarilla de arroz. Fuente: Autor

8.2 Resultados

Para este tipo de ataque se tuvieron las dimensiones, peso y tiempo de curado de cada espécimen que se expusieron al ensayo antes y después del ataque, con el fin de observar el comportamiento del ladrillo al dejar transcurrir 30 días.

Al iniciar el proceso de ataque de ácidos en solución durante un mes se observa que para el caso de las dosificaciones de ladrillos al 5% de Aserrín, cuando el espécimen entra en contacto con la solución este tiene una efervescencia aproximadamente durante 2 horas y al transcurrir el tiempo se observa que las paredes del ladrillo empieza a disgregarse.

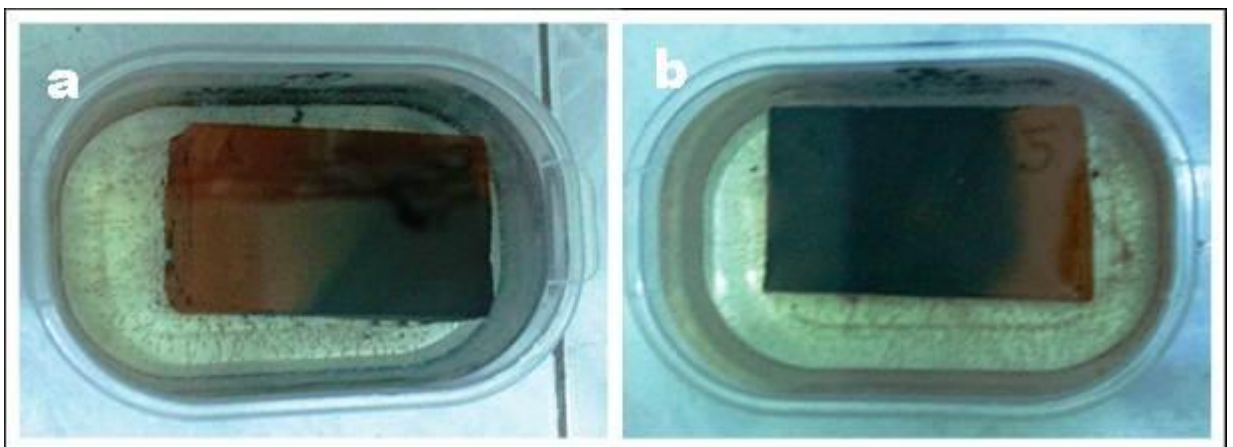


Figura 22. A) Ladrillo de Aserrín 5% con ataque ácido de 1M. B) Ladrillo de Aserrín 5% con ataque ácido de 2M. Fuente: autor

La efervescencia es un factor constante al iniciar el proceso de la solución de ácido sulfúrico en cada uno de los ladrillos, pero se observó que la efervescencia

en las primeras unidades fue de forma más permanente; por consiguiente se cambiaron las dosis de los ataques con el fin de evitar el desgaste como tal de cada uno de los ladrillos. Para las demás probetas se realizaron con concentraciones de 0.25 M y 0.5M y este factor fue repetitivo, la diferencia se presenta por no ser tan prolongado.

Los ensayos al pasar los 30 días se observan algunos cambios representativos en las muestras. Los más predominantes fueron el aumento en las dimensiones lo que quiere decir que el ladrillo debido a la porosidad que presenta, absorbe proporciones notables de solución. A continuación por medio de una tabla 5 se exponen el comportamiento de las unidades por medio de las dimensiones, peso y volumen absorbido durante el proceso.

Al observar cada una de los especímenes ensayados se determinó la eflorescencia presente en cada uno de ellos, a pesar de que la norma se somete solo a 7 días este tipo de ensayo, en el trabajo investigativo se observó unos cambios notorios en los ladrillos. Por lo tanto el proceso denominado de Eflorescencia se tendrá en cuenta para ser aplicado en este caso.

Mencionado anteriormente se determinara con base en la siguiente clasificación y se documentara con las figuras que se presentarán a continuación.

- a. NO EFLORESCIDO: no se observa diferencia con el ladrillo patrón.
- b. LIGERAMENTE EFLORESCIDO: se observa un velo homogéneo blanquecino de capa fina en todo el canto, o bien, cuando se observan manchas blanquecinas en las aristas y vértices del canto visto.
- c. EFLORESCIDO: existen manchas diferenciadas en el canto visto o cuando la eflorescencia invade la totalidad de las caras vistas.

	Cacota 5%	Cacota 10%	Caña 5%	Caña 10%	Caña 20%	Tamo 5%	Tamo 10%	Tamo 20%	Aserrín 5%	Aserrín 10%	Aserrín 20%
Hora	7:20pm	7:45pm	8:10pm	7:30pm	7:55pm	8:00pm	7:50pm	7:40pm	5:50pm	6:10pm	6:20pm
Volumen (ml)	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Largo (cm)	9	9,0	8,9	9,0	8,8	8,8	9,2	9,2	9,1	9,0	9,2
Alto (cm)	4,5	4,5	4,5	4,5	4,4	4,8	4,5	4,6	4,5	4,7	4,6
Ancho (cm)	5,8	5,9	5,7	5,8	5,7	6,2	5,9	6,6	5,7	6,0	6,0
Molaridad	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,0	0,25	0,25
Peso (gr)	357	371	330	233	203	370	339	273	385	341	258
Ladrillo No.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

	Cacota 5%	Cacota 10%	Caña 5%	Caña 10%	Caña 20%	Tamo 5%	Tamo 10%	Tamo 20%	Aserrín 5%	Aserrín 10%	Aserrín 20%
Hora	2:21pm	2:25pm	2:36pm	2:37pm	2:40pm	03:03pm	03:06pm	3:08pm	2:00pm	3:16pm	3:17pm
Volumen (ml)	425	375	375	350	300	300	350	340	375	375	325
Largo (cm)	8,7	8,6	9,0	9,2	9,1	8,9	9,6	9,3	9,0	9,1	9,1
Alto (cm)	4,2	4,6	4,5	4,2	4,3	4,9	4,6	4,5	4,4	4,3	4,5
Ancho (cm)	5,6	5,8	5,6	6,0	5,3	5,9	6,1	6,2	5,8	6,0	5,9
Molaridad	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,0	0,25	0,25
Peso (gr)	418	446	402	358	338	459	461	428	467	439	395
Ladrillo No.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 10. Dimensiones, peso y volumen antes y después del ataque con ácido con 0,25 M. Fuente: Autor

	Cacota 5%	Cacota 10%	Caña 5%	Caña 10%	Caña 20%	Tamo 5%	Tamo 10%	Tamo 20%	Aserrín 5%	Aserrín 10%	Aserrín 20%
Hora	7:20pm	7:45pm	8:10pm	7:30pm	7:55pm	8:00pm	7:50pm	7:40pm	5:50pm	6:10pm	6:20pm
Volumen (ml)	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Largo (cm)	9	9,0	8,9	9,0	8,8	8,8	9,2	9,2	9,1	9,0	9,2
Alto (cm)	4,5	4,5	4,5	4,5	4,4	4,8	4,5	4,6	4,5	4,7	4,6
Ancho (cm)	5,8	5,9	5,7	5,8	5,7	6,2	5,9	6,6	5,7	6,0	6,0
Molaridad	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1,0	0,25	0,25
Peso (gr)	357	371	330	233	203	370	339	273	385	341	258
Ladrillo No.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

	Cacota 5%	Cacota 10%	Caña 5%	Caña 10%	Caña 20%	Tamo 5%	Tamo 10%	Tamo 20%	Aserrín 5%	Aserrín 10%	Aserrín 20%
Hora	3:34pm	3:35pm	3:44pm	3:58pm	4:01pm	04:18pm	4:22pm	4:25pm	2:08pm	3:45pm	3:51pm
Volumen (ml)	360	376	375	328	350	400	350	305	395	365	325
Largo (cm)	9,0	8,7	8,8	8,9	9,0	9,0	9,4	9,5	9,3	9,3	9,0
Alto (cm)	4,4	4,4	4,4	4,4	4,5	4,7	4,7	4,5	4,5	4,4	4,6
Ancho (cm)	5,6	5,7	5,6	5,9	5,8	5,9	5,8	6,1	5,6	5,9	5,9
Molaridad	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	2,0	0,25	0,25
Peso (gr)	460	420	408	382	346	485	442	432	446	433	386
Ladrillo No.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Tabla 11. Dimensiones, peso y volumen antes y después del ataque con ácido con 0,5 M. Fuente: Autor

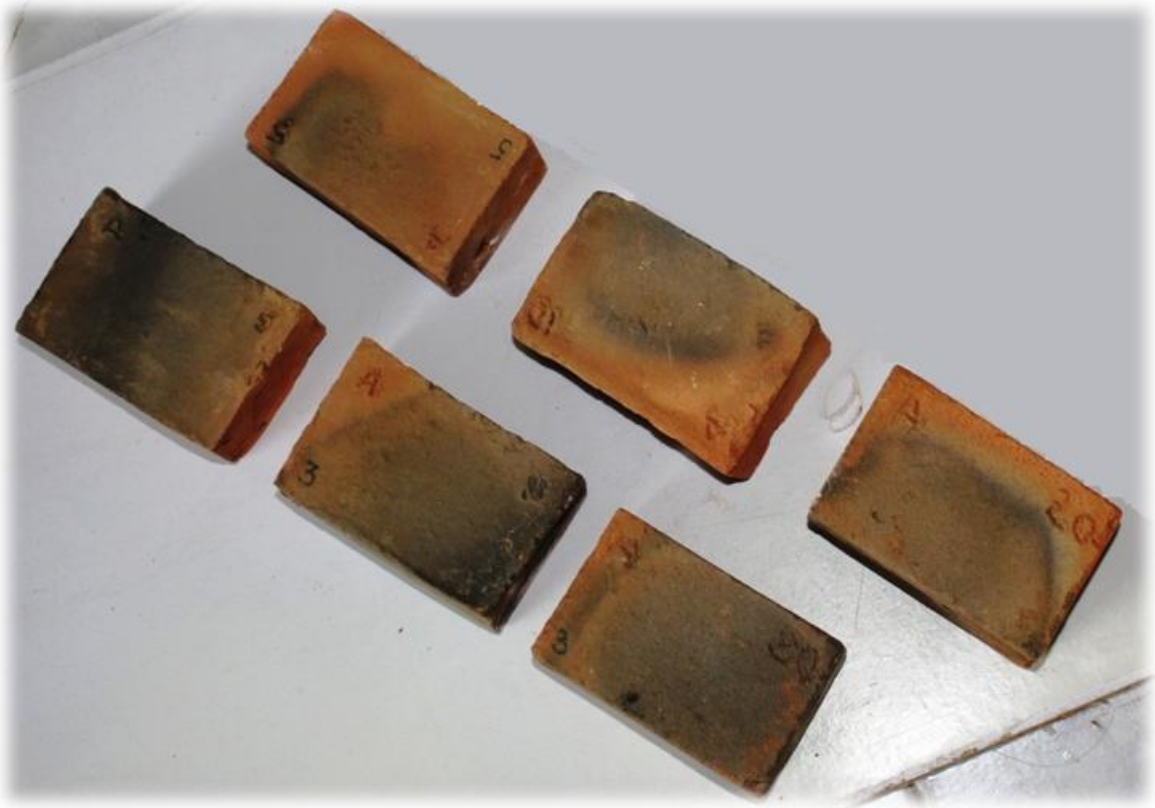


Figura 23. Ladrillos de diferentes dosificaciones de aserrín (Ladrillo patrón). Fuente: Autor



Figura 24. Ataques de ácidos al 0,25M para ladrillos de Aserrín: a. Ladrillo Ligeramente eflorecido, b. No eflorecido y c. No eflorecido. Fuente: Autor

ENSAYOS EN ÁCIDO SULFÚRICO				
Ladrillo N°	Aditivo	% de aditivo	Molaridad	Eflorescencia
1	Aserrín	5	1M	Ligeramente Eflorecido
1	Aserrín	10	0,25M	No eflorecido
1	Aserrín	20	0,25M	No eflorecido
1	Cascarilla de arroz	5	0,25M	Ligeramente Eflorecido
1	Cascarilla de arroz	10	0,25M	No eflorecido
1	Cascarilla de arroz	20	0,25M	Ligeramente Eflorecido
1	Caña de Azúcar	5	0,25M	Ligeramente Eflorecido
1	Caña de Azúcar	10	0,25M	Ligeramente Eflorecido
1	Caña de Azúcar	20	0,25M	Ligeramente Eflorecido
1	Cacota de cacao	5	0,25M	Ligeramente Eflorecido
1	Cacota de cacao	10	0,25M	Ligeramente Eflorecido
2	Aserrín	5	2M	Ligeramente Eflorecido
2	Aserrín	10	0,5M	No eflorecido
2	Aserrín	20	0,5M	No eflorecido
2	Cascarilla de arroz	5	0,5M	No eflorecido
2	Cascarilla de arroz	10	0,5M	Ligeramente Eflorecido
2	Cascarilla de arroz	20	0,5M	No eflorecido
2	Caña de Azúcar	5	0,5M	Ligeramente Eflorecido
2	Caña de Azúcar	10	0,5M	Ligeramente Eflorecido
2	Caña de Azúcar	20	0,5M	No eflorecido
2	Cacota de cacao	5	0,5M	Ligeramente Eflorecido
2	Cacota de cacao	10	0,5M	Ligeramente Eflorecido

Tabla 12. Respuesta a los ensayos de eflorescencia en base a las soluciones de ácido sulfúrico.

En las tablas 10 y 11 se observa el comportamiento del ladrillo sumergido durante 30 días. A medida que aumenta el porcentaje en peso de aditivo la absorción de la solución es más notoria, es decir el volumen de solución disminuye lo que nos indica que la tasa de absorción es alta. Las dimensiones de los ladrillos varían, se presentan cambios de milímetros. Esto se puede producir por la tasa de absorción haciendo que se expandan el ladrillo por la retención de agua que este puede

absorber. En este caso entre más baja sea la porosidad que presenta el ladrillo mejores resultados de resistencia tendrá el material.

8.3 Ensayos de flexión

Este ensayo se realizó con el objetivo de conocer la carga puntual máxima aplicada que puede soportar un adobe apoyado en los extremos, hasta su rotura, de acuerdo a la norma NTC 4017.

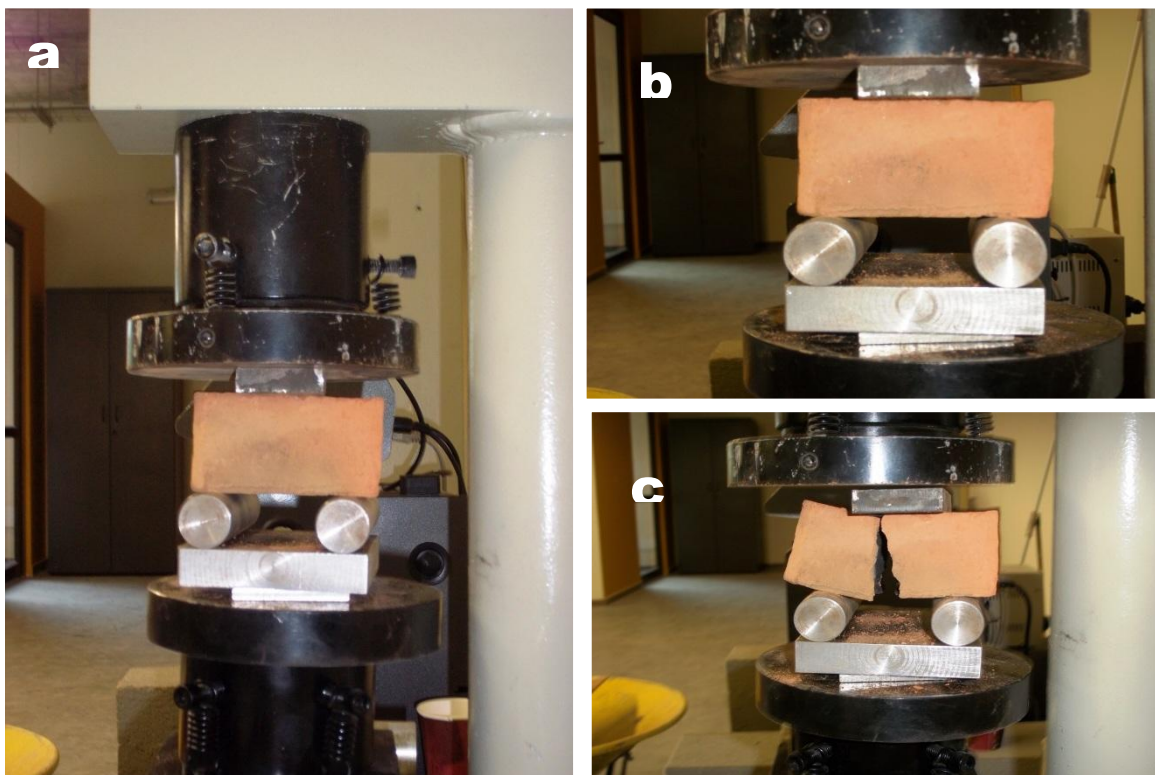


Figura 25. Montaje ensayo de rotura: A) Ubicación ladrillo en la máquina, B) aplicando la carga puntual y C) Ruptura del ladrillo. Fuente: Autor

En la figura 28 se muestra el montaje para realizar los ensayos de rotura de los lotes correspondientes para este ensayo. Para el desarrollo total de esta práctica, recopiló unos datos donde clasifican la carga puntual que se realiza, las dimensiones de ancho y profundidad del ladrillo y el módulo de rotura para así

determinar la resistencia del material en base a como se generó la ruptura, por lo tanto si el módulo de rotura del material con ataque ácido es mayor al patrón; es decir la muestra sin ningún tipo de ataque, puedo concluir que tanto las dosificaciones incorporadas en cada uno de los ladrillos como los ataques que se realizaron a estos son satisfactorias para los ambientes planteados (Ambientes ácidos y con sales); lo que hace de este agregado un factor importante en la nueva mezcla generada y lo que permitiría una disminución en el impacto ambiental que este aditivo está generando.

Por lo tanto en las siguientes tablas se sustenta los valores arrojados en base los ladrillos expuestos a diferentes soluciones que para este caso es de tipo ácido.

ENSAYO DE ROTURA								
Residuo	Porcentaje (%)	b,cm	c,cm	d,cm	Luz, cm	Carga (kN)	Módulo de Rotura	
							kN/cm ²	Mpa
Aserrín	5%	4,6	5,7	9,0	6,4	4,2	0,27	2,70
Aserrín	5%	4,7	5,6	9,2	6,4	2,9	0,19	1,89
Aserrín	10%	4,6	6,0	9,2	6,5	1,4	0,08	0,82
Aserrín	10%	4,5	5,9	9,1	6,4	4,9	0,30	3,00
Aserrín	20%	4,6	6,0	9,2	6,4	2,8	0,16	1,62
Aserrín	20%	4,6	5,9	9,2	6,6	4,8	0,30	2,97
Cacota de Cacao	5%	4,4	5,8	8,9	6,6	1,7	0,11	1,14
Cacota de Cacao	5%	4,5	5,8	9	7,1	1,0	0,07	0,70
Cacota de Cacao	10%	4,5	5,9	9,0	6,6	3,8	0,24	2,40
Cacota de Cacao	10%	4,5	5,9	8,9	6,8	1,3	0,08	0,85
Cascarilla de Arroz	5%	4,5	6,2	8,8	6,5	1,1	0,06	0,62
Cascarilla de Arroz	5%	4,8	6,2	9	6,4	4,2	0,22	2,19
Cascarilla de Arroz	10%	4,6	5,9	9,5	6,4	2,9	0,17	1,74
Cascarilla de Arroz	10%	4,7	5,9	9,3	6,5	1,4	0,08	0,83
Cascarilla de Arroz	20%	4,7	6,6	9,7	6,4	4,9	0,23	2,30
Cascarilla de Arroz	20%	4,4	6,6	9,5	6,4	2,8	0,14	1,40
Caña de Azúcar	5%	4,6	5,7	9,1	6,6	4,8	0,32	3,18
Caña de Azúcar	5%	4,8	5,7	8,5	6,6	1,7	0,11	1,08
Caña de Azúcar	10%	4,4	5,8	9	7,1	1,0	0,07	0,72
Caña de Azúcar	10%	4,4	5,8	9,3	6,6	3,8	0,25	2,54
Caña de Azúcar	20%	4,5	5,7	9,2	6,8	1,3	0,09	0,91
Caña de Azúcar	20%	4,4	5,7	9,5	6,5	1,1	0,08	0,75

Tabla 13. Ensayos de rotura en ladrillos con ataques ácidos.

8.3.1 Mezcla 1: Ladrillos con incorporación de Aserrín

A continuación se presentan los resultados obtenidos para los ladrillos con incorporación de aditivo aserrín en diferentes dosificaciones y con ataques de ácidos de 0,25M y 0,5M. Esta relación de resistencia se evaluara en base a la respuesta que tuvieron los ladrillos que no estuvieron expuestos a ningún tipo de ataque.

Residuo	Porcentaje	Carga, kN	Módulo de rotura
			Mpa
Aserrín	5%	4,2	2,79
Aserrín	10%	2,9	1,49
Aserrín	20%	1,4	0,84

Tabla 14. Ensayo de flexión para ladrillos con incorporación de aserrín. Unidad patrón.

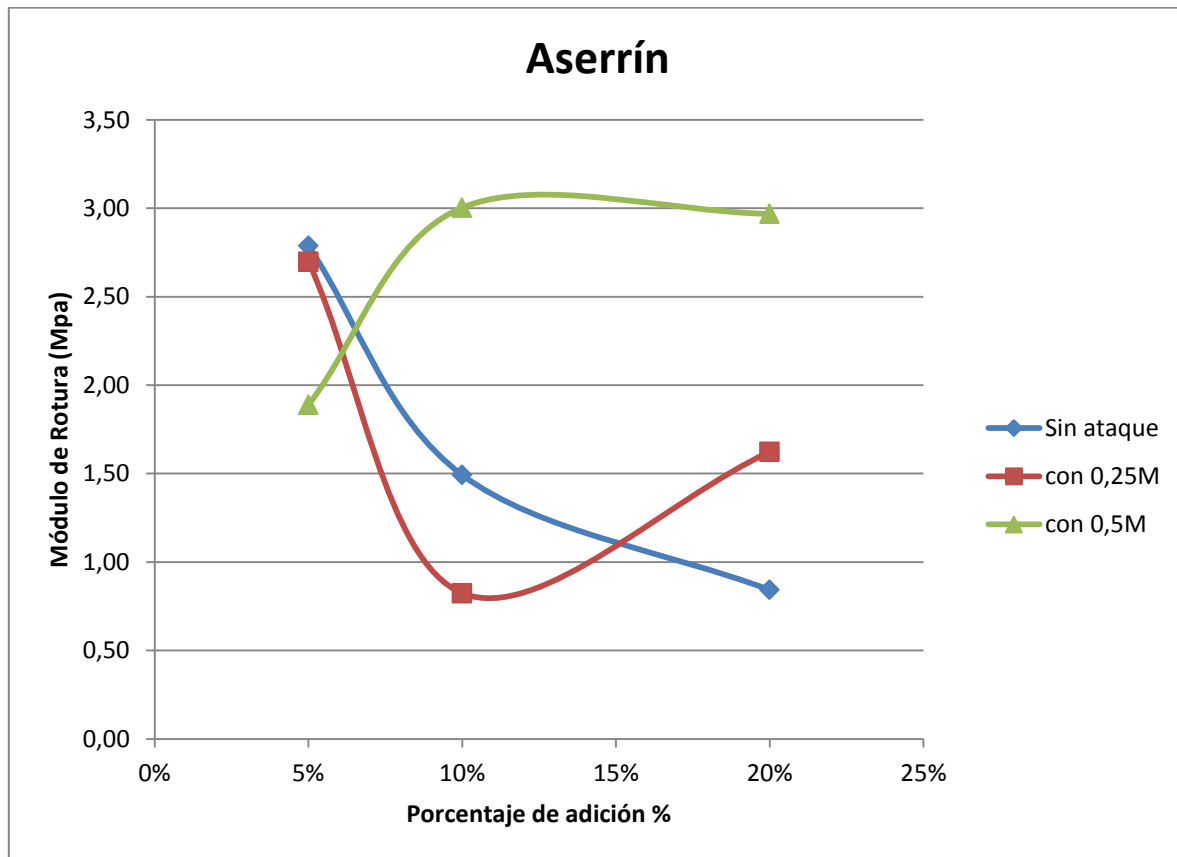
Residuo	Porcentaje	Carga, kN	Módulo de rotura
			Mpa
Aserrín	5%	4,2	2,70
Aserrín	10%	1,4	0,82
Aserrín	20%	2,8	1,62

Tabla 15. Ensayo de flexión para ladrillos con incorporación de aserrín y ataque ácido al 0,25M

Residuo	Porcentaje	Carga, kN	Módulo de rotura
			Mpa
Aserrín	5%	2,9	1,89
Aserrín	10%	4,9	3,00
Aserrín	20%	4,8	2,97

Tabla 16. Ensayo de flexión para ladrillos con incorporación de aserrín y ataque ácido al 0,5M

Para comprar las relaciones de los ladrillos con ataque en base a los que son el ladrillo patrón se exponen a continuación por medio de la siguiente gráfica.



Gráfica 3. Porcentaje de adición de aserrín vs Modulo de rotura

Según la gráfica 3 la línea azul representa el ladrillo patrón. Según las dosificaciones de aserrín incorporadas a la materia prima nos demuestra que la mejor dosis a utilizar para mejorar las propiedades tecnológicas de los especímenes es la del 5%, ya que esta resistió la rotura con una carga de 4.2 kN. Esto solo se cumple cuando no existen factores externos que afecten el ladrillo, por lo que se presentaron dos tipos de ataques ácidos y estos arrojaron que para el caso del ataque ácido de 0,25M, el mejor caso se sustenta para el ladrillo del 5% de aditivo; mientras que en el caso de ataque ácido de 0,5M demuestra que el mejor ladrillo es el del 10% de aditivo, pues este alcanza su rotura cuando presenta una carga de 4,9kN.

En base a los datos recopilados puedo concluir que las variaciones se presentan para los casos de incorporaciones de aserrín de 5 % y 10% de forma favorable y desfavorable con respecto a los ataques ácidos, mientras que la incorporación de aserrín al 20% conserva una carga puntal y un módulo de rotura similar.

8.3.2 Mezcla 2: Ladrillos con incorporación de Cacota de Cacao

A continuación se presentan los resultados obtenidos para los ladrillos con incorporación de aditivo de cacota de cacao en diferentes dosificaciones y con ataques de ácidos de 0,25M y 0,5M. Esta relación de resistencia se evaluara en base a la respuesta que tuvieron los ladrillos que no estuvieron expuestos a ningún tipo de ataque.

Residuo	Porcentaje	Carga, kN	Módulo de rotura
			Mpa
Cacota de Cacao	5%	4,9	2,97
Cacota de Cacao	10%	2,8	2,02

Tabla 17. Ensayo de flexión para ladrillos con incorporación de cacota de cacao.

Unidad patrón

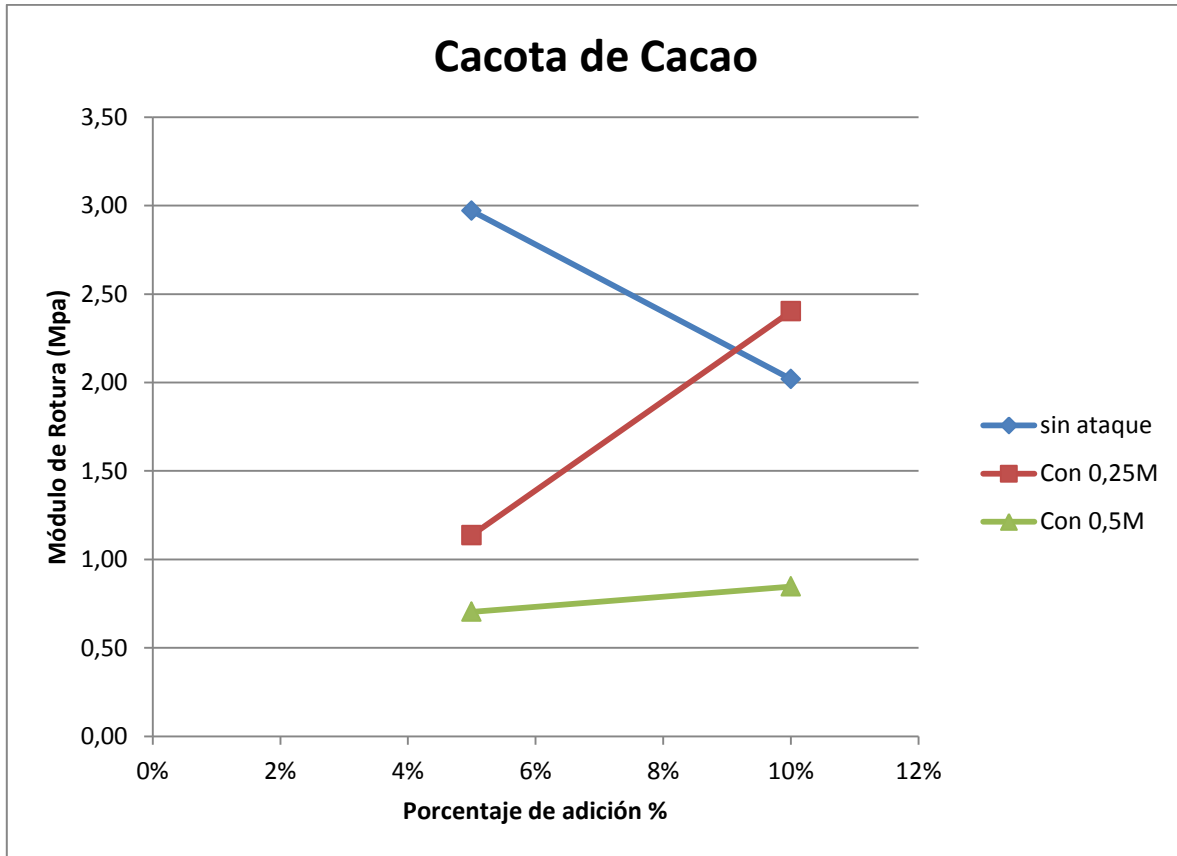
Residuo	Porcentaje	Carga, kN	Módulo de rotura
			Mpa
Cacota de Cacao	5%	1,7	1,14
Cacota de Cacao	10%	3,8	2,40

Tabla 18. Ensayo de flexión para ladrillos con incorporación de cacota de cacao y ataque ácido al 0,25M

Residuo	Porcentaje	Carga, kN	Módulo de rotura
			Mpa
Cacota de Cacao	5%	1,0	0,70
Cacota de Cacao	10%	1,3	0,85

Tabla 19. Ensayo de flexión para ladrillos con incorporación de cacota de cacao y ataque ácido al 0,5M

Para comparar las relaciones de los ladrillos con ataque en base a los que son el ladrillo patrón se exponen a continuación por medio de la siguiente gráfica.



Gráfica 4. Porcentaje de adición de cacota de cacao vs Modulo de rotura

Para el caso de incorporación de cacota de cacao los resultados son muy bajos debido a la baja cantidad de datos para este caso. Por lo que para este aditivo solo se realizaron dos dosificaciones que corresponden a la de cacota de cacao del 5% y 10%. La línea azul representa el ladrillo patrón, lo que muestra la gráfica en las dosificaciones del 5% de cacota de cacao con respecto a la muestra patrón presentan unas tasas bajas, es decir que en comparación con el ladrillo patrón su módulo de rotura es bajo, lo que demuestra que esta dosificación no es favorable para la mezcla. Mientras que observando los datos recopilados para el caso del 10% de aditivo cuando es atacado con una molaridad del 0,25M de ácido sulfúrico

su resistencia a la flexión aumenta pues con respecto a la muestra patrón que tiene una carga puntual de 2,8kN; está alcanza a resistir una fuerza de 3,8kN. Lo que indica que la mezcla cono mejores condiciones de resistencia a la flexión es de Cacota de cacao al 10%.

8.3.3 Mezcla 3: Ladrillos con incorporación de Cascarilla de Arroz

A continuación se presentan los resultados obtenidos para los ladrillos con incorporación de aditivo de cascarilla de arroz en diferentes dosificaciones y con ataques de ácidos de 0,25M y 0,5M. Esta relación de resistencia se evaluara en base a la respuesta que tuvieron los ladrillos que no estuvieron expuestos a ningún tipo de ataque.

ADITIVO	PORCENTAJE	Carga, kN	Módulo de rotura
			Mpa
Cascarilla de Arroz	5	4,8	122,1
Cascarilla de Arroz	10	1,7	45,2
Cascarilla de Arroz	20	1	25,8

Tabla 20. Ensayo de flexión para ladrillos con incorporación de Cascarilla de arroz. Unidad patrón

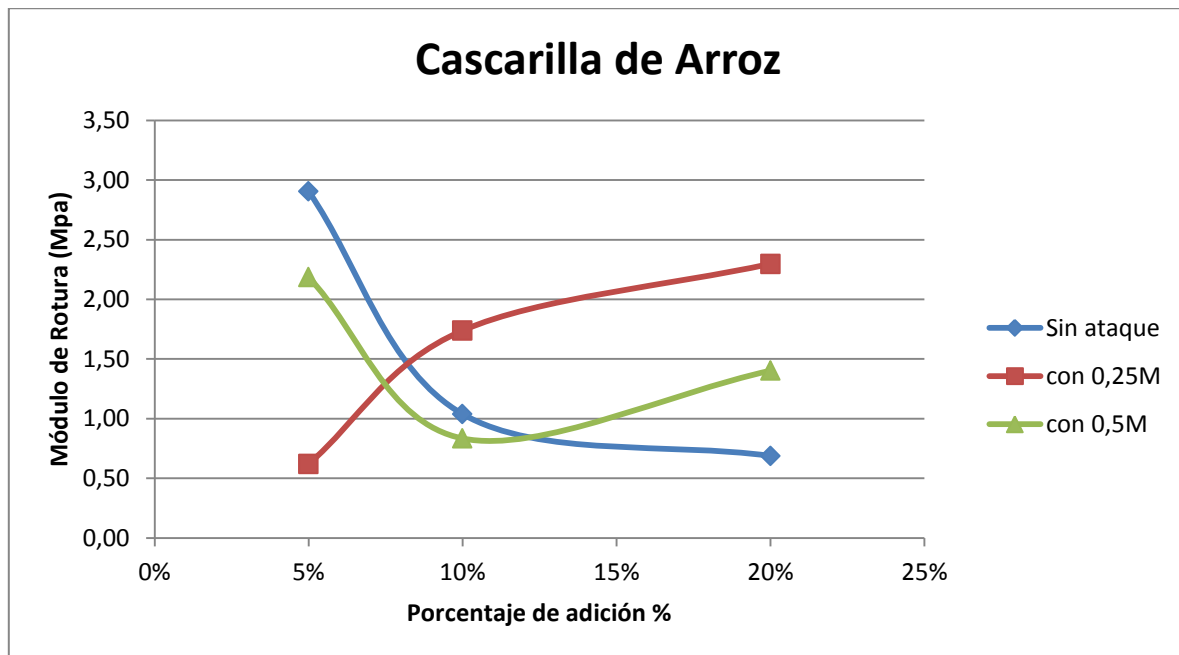
ADITIVO	PORCENTAJE	MOLARIDAD	Carga, kN	Módulo de rotura
				Mpa
Cascarilla de Arroz	5	0,25M	2,2	60
Cascarilla de Arroz	10	0,25M	1,3	33
Cascarilla de Arroz	20	0,25M	0,9	22

Tabla 21. Ensayo de flexión para ladrillos con incorporación de cascarilla de arroz y ataque ácido al 0,25M

ADITIVO	PORCENTAJE	MOLARIDAD	Carga, kN	Módulo de rotura
				Mpa
Cascarilla de Arroz	5	0,5M	3,1	78
Cascarilla de Arroz	10	0,5M	1,2	30
Cascarilla de Arroz	20	0,5M	0,8	21

Tabla 22. Ensayo de flexión para ladrillos con incorporación de cascarilla de arroz y ataque ácido al 0,5M

Para comparar las relaciones de los ladrillos con ataque en base a los que son el ladrillo patrón se exponen a continuación por medio de la siguiente gráfica.



Gráfica 5. Porcentaje de adición de cascarilla de arroz vs Modulo de rotura

Según la gráfica expuesta al realizar los ensayos de flexión para este tipo de aditivo disminuye su resistencia cuando estos ladrillos están expuestos a factores externos, en este caso estos factores son representados por ataques ácidos; esto evaluado respecto al ladrillo patrón que contienen las mismas dosificaciones de adición en la mezcla. No obstante se observa que el ladrillo con contenido de adición del 5% es el que tiene mayor resistencia con respecto a los que contienen 10% y 20% de aditivo. Para tal caso, teniendo en cuenta los datos arrojados con

base a los ladrillos con ataques ácidos; cuando este es expuesto a un ataque ácido del 0,5M sus propiedades mejoran con respecto del que es expuesto al 0,25M, ya que la carga puntual para el ladrillo del 5% de ácido de 0,5M es de 3,1kN con respecto al ladrillo del 5% de ácido de 0,25M que es de 2,2kN. En la dosificación del 20% con ataque ácido de 0,25M presenta los mejores resultados de resistencia a la flexión.

8.3.4 Mezcla 4: Ladrillos con incorporación de Caña de Azúcar

A continuación se presentan los resultados obtenidos para los ladrillos con incorporación de aditivo de caña de azúcar en diferentes dosificaciones y con ataques de ácidos de 0,25M y 0,5M. Esta relación de resistencia se evaluara en base a la respuesta que tuvieron los ladrillos que no estuvieron expuestos a ningún tipo de ataque.

Residuo	Porcentaje	Carga, kN	Módulo de rotura
			Mpa
Caña de Azúcar	5%	3,8	2,83
Caña de Azúcar	10%	1,3	0,82
Caña de Azúcar	20%	1,1	0,77

Tabla 23. Ensayo de flexión para ladrillos con incorporación de Caña de Azúcar.
Unidad patrón

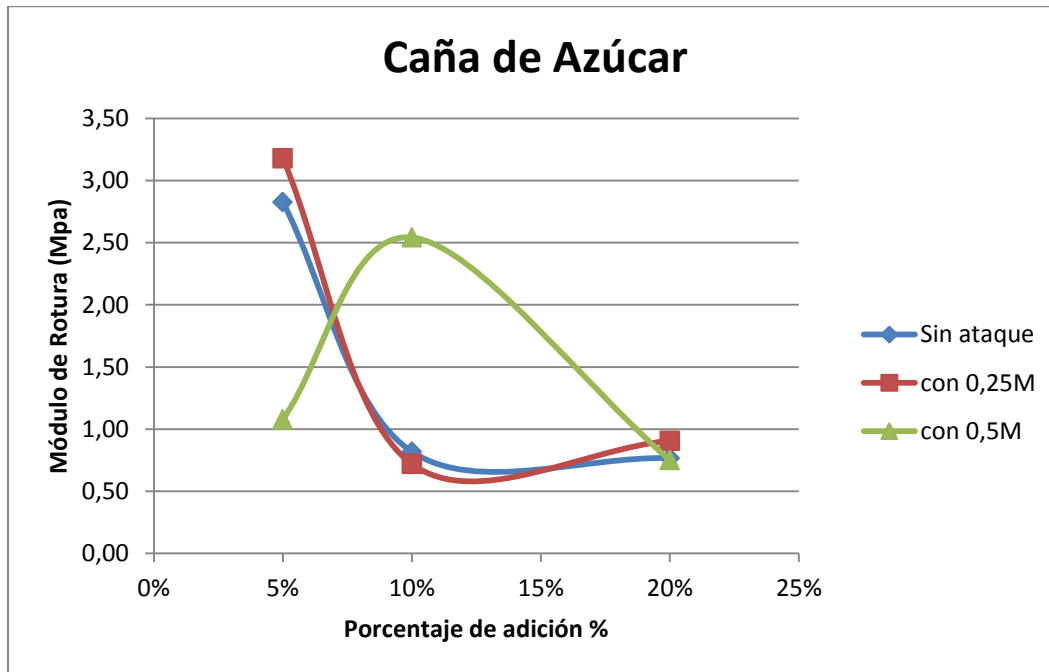
Residuo	Porcentaje	Carga, kN	Módulo de rotura
			Mpa
Caña de Azúcar	5%	4,8	3,18
Caña de Azúcar	10%	1,0	0,72
Caña de Azúcar	20%	1,3	0,91

Tabla 24. Ensayo de flexión para ladrillos con incorporación de caña de azúcar y ataque ácido al 0,25M

Residuo	Porcentaje	Carga, kN	Módulo de rotura
			Mpa
Caña de Azúcar	5%	1,7	1,08
Caña de Azúcar	10%	3,8	2,54
Caña de Azúcar	20%	1,1	0,75

Tabla 25. Ensayo de flexión para ladrillos con incorporación de caña de azúcar y ataque ácido al 0,5M

Para comprar las relaciones de los ladrillos con ataque en base a los que son el ladrillo patrón se exponen a continuación por medio de la siguiente gráfica.



Gráfica 6. Porcentaje de adición de caña de azúcar vs Modulo de rotura

En los ensayos de rotura realizados para los ladrillos con incorporación de caña de azúcar en diferentes dosificaciones, se observa según la gráfica que el comportamiento de su resistencia con respecto a los ataques realizados en estos especímenes en el caso de ataque ácido al 0,25M tiene una tendencia similar con respecto a la del ladrillo patrón. Es decir, su módulo de rotura es similar con respecto a la carga puntal aplicada en dicho especímenes. Para el caso del ladrillo con 5% de aditivo de caña de azúcar y con ataque ácido del 0,25M

presenta una fuerza de 4,8kN; según esta respuesta con respecto al ladrillo patrón que es de 3,8 kN, este ladrillo presenta una resistencia mayor a la flexión. Por consiguiente las propiedades tecnológicas mejoran con respecto a este tipo de ensayo. Si se observa cuando el ataque es de 0,5M presenta un aumento significativo en la resistencia a la flexión cuando la adición del residuo es del 10%.

8.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS ENSAYO DE ROTURA

Con base en los datos adquiridos, la mezcla que favorece notablemente las mejoras en las propiedades tecnológicas de los ladrillos es la incorporación de aserrín. También se puede observar que las dosificaciones con mejores respuestas se encuentran entre el 5% y 10% de aditivo incorporado en la mezcla.

En conclusión se puede decir que las propiedades tecnológicas de los ladrillos con incorporación de cacota de cacao en dosificaciones del 5% y 10% presentan los cambios más positivos para el ensayo de flexión, debido a que la carga puntual varía entre un rango de 2.2 kN – 4.9 kN.

9. ENSAYOS DE DURABILIDAD CON SULFATO DE MAGNESIO Y COMPORTAMIENTO DEL LADRILLO CON EL ENSAYO DE COMPRESIÓN

En el desarrollo del proceso de estos ensayos de sulfatos se determinaron los tiempos de ataque en la solución para concluir cual es el comportamiento de las propiedades tecnológicas de los ladrillos evaluando el ataque en diferentes días. Este ensayo se llevó a cabo con el fin de documentar el comportamiento del ladrillo al ser expuesto a medios con sales. Para este caso se determinaron datos como el tipo de absorción que muestra, basándolo en qué proporción disminuye el volumen de solución en el cual se sumergió durante diferentes etapas (7 días, 15 días y 30 días). Con esto se deduce si el espécimen presenta una alta o baja porosidad y como es el comportamiento cuando es expuesto a esfuerzos de flexión.

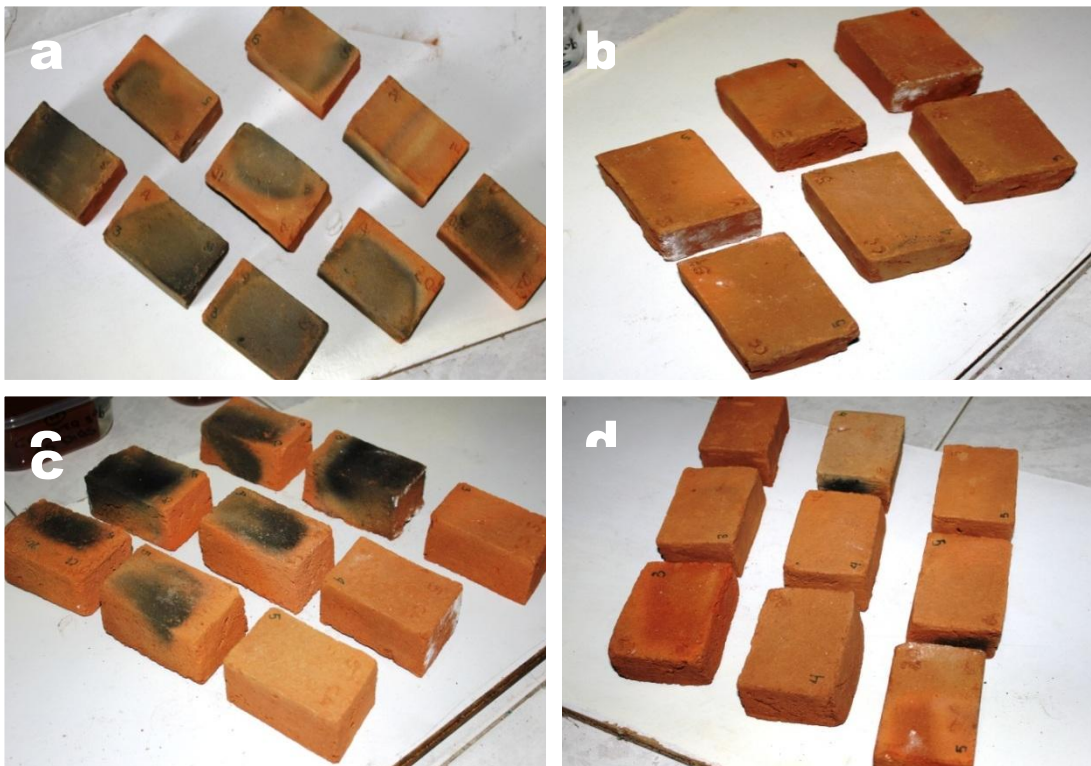


Figura 26. Lote de ladrillos utilizados para los ensayos con sulfatos. A. Lote de ladrillos aditivo de aserrín, B. Lote ladrillos aditivo de cacota de cacao, C. Lote de ladrillo aditivo de caña de azúcar y D. Lote Ladrillo aditivo de cascarilla de arroz. Fuente: Autor

9.1 Resultados



Figura 27. Ladrillos de Aserrín en soluciones de sulfatos. A) Aserrín 10% en 7 días, B) Aserrín 10% en 15 días y C) Aserrín 10% en 30 días. Fuente: Autor

Observando cada uno de las etapas, en términos generales los ladrillos presentaron una expansión en algunas de sus dimensiones lo que con lleva a concluir que la porosidad que presenta los especímenes hace que absorba gran parte de la solución y en las paredes de los ladrillos se observan adherencia de estas sales. En la tabla que se expone a continuación se puede observar como disminuye el volumen inicial de solución que para este caso es de 500ml; con base en esto se puede observar que el ladrillo conserva su estructura inicial pero varían las dimensiones y pesos de los especímenes notoriamente:

Probetas sin ataque de sulfatos

	Cacota 5%	Cacota 10%	Caña 5%	Caña 10%	Caña 20%	Tamo 5%	Tamo 10%	Tamo 20%	Aserrin 5%	Aserrin 10%	Aserrin 20%
Hora	7:20pm	7:45pm	8:10pm	7:30pm	7:55pm	8:00pm	7:50pm	7:40pm	5:50pm	6:10pm	6:20pm
Volumen (ml)	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Largo (cm)	8,6	9,0	8,8	8,8	8,9	9,2	9,1	9,2	9,0	9,2	8,9
Alto (cm)	4,5	4,5	4,4	4,4	4,2	4,8	4,2	4,5	4,8	4,6	4,5
Ancho (cm)	5,9	5,8	5,7	5,7	5,8	5,8	6,2	6,3	6,0	6,0	5,9
Peso (gr)	413	347	325	245	190	384	333	274	395	348	251
Ladrillo No.	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3

Probetas con ataque de sulfatos

	Cacota 5%	Cacota 10%	Caña 5%	Caña 10%	Caña 20%	Tamo 5%	Tamo 10%	Tamo 20%	Aserrin 5%	Aserrin 10%	Aserrin 20%
Hora	11:10 a.m.	11:15 a.m.	11:26 a.m.	11:35 a.m.	11:45 a.m.	12:00 a.m.	12:07 p.m.	12:17 p.m.	12:55 p.m.	01:03 p.m.	01:10 p.m.
Volumen (ml)	375	410	425	348	375	380	373	325	360	375	450
Largo (cm)	9,5	9	9	9,1	8,9	9	9,1	9,4	8,8	9,2	9,2
Alto (cm)	5,5	5,9	4,5	4,7	4,4	6	4,3	4,3	4,6	4,5	4,5
Ancho (cm)	7	4,5	5,5	5,9	5,8	4,8	5,8	6,7	6,1	6	5,8
Peso (gr)	456	386	358	321	274	421	408	366	445	473	319
Ladrillo No.	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3

Tabla 26. Dimensiones, peso y volumen antes y después del ataque con sulfatos a los 7 días. Fuente: Autor

Probetas sin ataque de sulfatos

	Cacota 5%	Cacota 10%	Caña 5%	Caña 10%	Caña 20%	Tamo 5%	Tamo 10%	Tamo 20%	Aserrin 5%	Aserrin 10%	Aserrin 20%
Hora	7:20pm	7:45pm	8:10pm	7:30pm	7:55pm	8:00pm	7:50pm	7:40pm	5:50pm	6:10pm	6:20pm
Volumen (m ³)	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Largo (cm)	8,9	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,1	9,2	9,0	9,2	9,0
Alto (cm)	4,5	4,4	4,5	4,6	4,2	4,7	4,5	4,4	4,6	4,4	4,7
Ancho (cm)	5,7	5,8	5,8	5,6	5,8	6,0	6,0	6,0	5,8	6,0	5,8
Peso (gr)	380	344	333	242	201	398	339	270	376	349	254
Ladrillo No.	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4

Probetas con ataque de sulfatos

	Cacota 5%	Cacota 10%	Caña 5%	Caña 10%	Caña 20%	Tamo 5%	Tamo 10%	Tamo 20%	Aserrin 5%	Aserrin 10%	Aserrin 20%
Hora	7:56pm	8:05pm	7:06pm	7:13pm	7:35pm	6:50pm	7:02pm	7:05pm	7:39pm	7:45pm	7:51pm
Volumen (m ³)	425	395	400	350	350	375	390	300	390	398	350
Largo (cm)	8,9	8,8	8,9	9,1	9,1	9,3	9,0	9,3	8,9	9,2	9,3
Alto (cm)	4,3	4,5	4,9	4,5	4,4	4,7	4,6	4,4	4,3	4,6	4,8
Ancho (cm)	5,7	5,6	5,7	5,1	5,8	5,8	6,2	6,4	5,7	5,5	5,8
Peso (gr)	413	381	364	309	279	424	396	364	415	390	321
Ladrillo No.	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4

Tabla 27. Dimensiones, peso y volumen antes y después del ataque con sulfatos a los 15 días.

Probetas sin ataque de sulfatos

	Cacota 5%	Cacota 10%	Caña 5%	Caña 10%	Caña 20%	Tamo 5%	Tamo 10%	Tamo 20%	Aserrin 5%	Aserrin 10%	Aserrin 20%
Hora	7:20pm	7:45pm	8:10pm	7:30pm	7:55pm	8:00pm	7:50pm	7:40pm	5:50pm	6:10pm	6:20pm
Volumen (ml)	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Largo (cm)	8,9	9,0	9,0	8,8	9,0	9	9,2	9	9,0	9,2	9,0
Alto (cm)	4,4	4,6	4,2	4,3	4,5	4,7	4,2	4,6	4,5	4,4	4,5
Ancho (cm)	5,8	5,7	5,7	5,8	5,9	5,9	6,1	5,8	5,9	6,0	5,9
Peso (gr)	382	352	321	245	192	390	338	246	377	342	242
Ladrillo No.	5	5	5	5	5	5	5	5	6	5	5

Probetas con ataque de sulfatos

	Cacota 5%	Cacota 10%	Caña 5%	Caña 10%	Caña 20%	Tamo 5%	Tamo 10%	Tamo 20%	Aserrin 5%	Aserrin 10%	Aserrin 20%
Hora	10:36am	10:40am	10:42am	10:45am	10:46am	10:48am	10:50am	10:50am	10:51am	10:52am	10:54am
Volumen (ml)	400	400	400	325	350	355	350	330	380	400	320
Largo (cm)	8,9	9,0	8,6	9,1	9,2	9,1	9,0	9,0	8,9	9,1	9,0
Alto (cm)	4,5	4,7	4,3	4,4	4,4	4,8	4,4	4,7	5,8	4,4	4,5
Ancho (cm)	5,9	5,7	5,7	6,0	5,6	5,9	6,1	5,9	4,9	5,9	5,9
Peso (gr)	442	421	488	372	324	480	454	370	488	433	360
Ladrillo No.	5	5	5	5	5	5	5	5	6	5	5

Tabla 28. Dimensiones, peso y volumen antes y después del ataque con sulfatos a los 30 días.

En las tablas 26, 27 y 28 se puede determinar con estos datos que entre más aditivo tenga la mezcla más será la absorción que presente el ladrillo. Esto es evaluado en base a la cantidad de volumen que quedo de soluciones después de transcurrida cada una de las etapas y se presentan que la tasa de absorción mas alta de agua se encuentra en el rango de 20% en peso de aditivo, respectivamente para cada uno de los residuos utilizados para este proyecto.

9.2 Ensayos de compresión

Este ensayo determina las relaciones esfuerzo - deformación de los adobes, conociendo su resistencia hasta el momento en el que se produce la falla, de acuerdo a la norma NTC 4017.

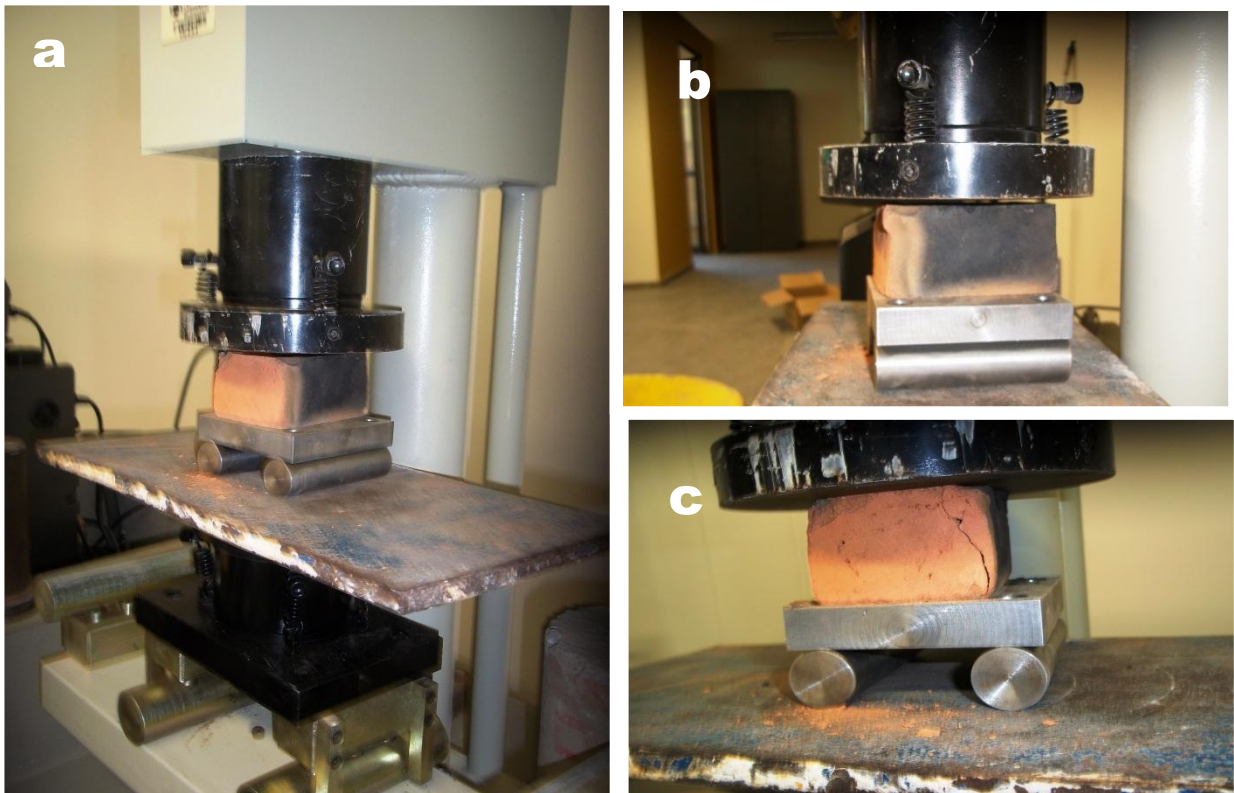


Figura 27. Montaje ensayo de compresión: A) Ubicación ladrillo en la máquina, B) aplicando la carga puntual y C) Fractura generada por la compresión. Fuente: Autor

En la figura 27 se muestra el montaje para realizar los ensayos de compresión de los lotes correspondientes para este ensayo. Para el desarrollo total de esta práctica, recopiló unos datos donde clasifican la carga puntal que se realiza, las dimensiones de ancho y profundidad del ladrillo y la resistencia para así determinar el comportamiento del material en base a como se generó la ruptura. Por lo tanto se evaluó la resistencia del material en base a los ataques de sulfatos, con el fin de definir como es el comportamiento del ladrillo patrón (sin ningún ataque) con respecto a los que fueron expuestos a condiciones de sulfatos (sales).

Por lo tanto en las siguientes tablas se sustenta los valores arrojados en base al ladrillo patrón y al ladrillo expuesto a diferentes soluciones que para este caso es de tipo sulfatos.

En las tablas se exponen los datos de carga puntal y resistencia determinados en los ensayos de laboratorio de compresión realizados en la Universidad Pontificia Bolivariana.

ENSAYOS DE COMPRESIÓN					
N°	ADITIVO	PORCENTAJE	DIAS DE ATAQUE	Carga, kN	RESISTENCIA
					Mpa
1	Aserrín	5%	7	15,0	2,7
2	Aserrín	10%	7	10,3	2
3	Aserrín	20%	7	3,0	0,5
4	Aserrín	5%	15	14,1	2,6
5	Aserrín	10%	15	11,1	1,9
6	Aserrín	20%	15	3,0	0,6
7	Aserrín	5%	30	11,5	2,2
8	Aserrín	10%	30	6,6	1,3
9	Aserrín	20%	30	4,1	0,8
10	Cacota de cacao	5%	7	9,5	1,8
11	Cacota de cacao	10%	7	12,9	2,5
12	Cacota de cacao	5%	15	22,2	4,4
13	Cacota de cacao	10%	15	11,9	2,4
14	Cacota de cacao	5%	30	18,5	3,7
15	Cacota de cacao	10%	30	15,0	3
16	Cascarilla de arroz	5%	7	10,1	2,1
17	Cascarilla de arroz	10%	7	3,2	0,6
18	Cascarilla de arroz	20%	7	1,2	0,2
19	Cascarilla de arroz	5%	15	11,9	2
20	Cascarilla de arroz	10%	15	3,7	0,6
21	Cascarilla de arroz	20%	15	1,5	0,2
22	Cascarilla de arroz	5%	30	12,5	2,5
23	Cascarilla de arroz	10%	30	3,5	0,6
24	Cascarilla de arroz	20%	30	2,2	0,4
25	Caña de azúcar	5%	7	16,6	3,4
26	Caña de azúcar	10%	7	1,1	0,2
27	Caña de azúcar	20%	7	1,4	0,3
28	Caña de azúcar	5%	15	14,3	2,7
29	Caña de azúcar	10%	15	2,0	0,4
30	Caña de azúcar	20%	15	0,9	0,2
31	Caña de azúcar	5%	30	12,8	2,5
32	Caña de azúcar	10%	30	1,6	0,3
33	Caña de azúcar	20%	30	1,3	0,3

Tabla 29. Ensayos de compresión para ladrillos con ataques de sulfatos.

9.2.1 Mezcla 1: Ladrillos con incorporación de Aserrín

A continuación se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de compresión. En las siguientes tablas se muestran el aditivo utilizado con su porcentaje, los días de ataques y la resistencia a la compresión.

ENSAYOS DE COMPRESIÓN				
RESIDUO	PORCENTAJE	DIAS DE ATAQUE	Carga, kN	RESISTENCIA
				Mpa
Aserrín	5%	0	17,8	3,2
Aserrín	5%	7	15,0	2,7
Aserrín	5%	15	14,1	2,6
Aserrín	5%	30	11,5	2,2

Tabla 30. Ensayo de compresión para ladrillos con incorporación de aserrín al 5% con diferentes días.

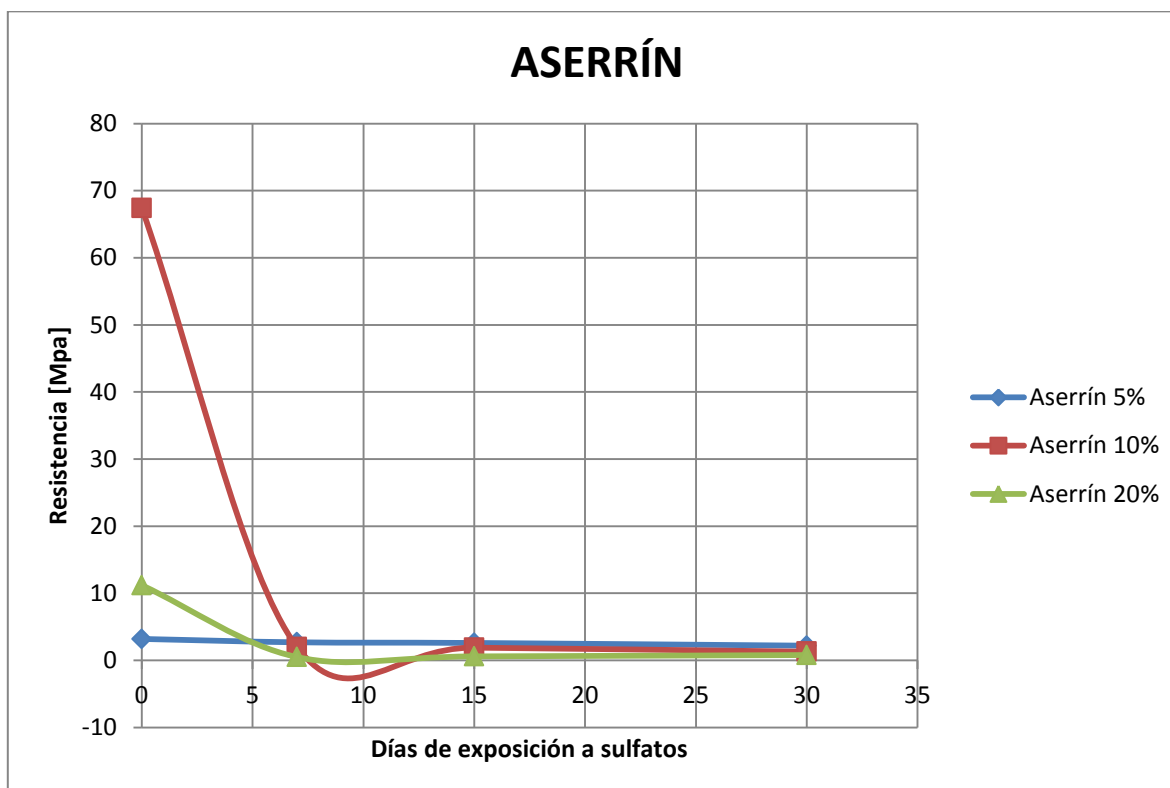
ENSAYOS DE COMPRESIÓN				
RESIDUO	PORCENTAJE	DIAS DE ATAQUE	Carga, kN	RESISTENCIA
				Mpa
Aserrín	10%	0	36,5	67,4
Aserrín	10%	7	10,3	2
Aserrín	10%	15	11,1	1,9
Aserrín	10%	30	6,6	1,3

Tabla 31. Ensayo de compresión para ladrillos con incorporación de aserrín al 10% con diferentes días.

ENSAYOS DE COMPRESIÓN				
RESIDUO	PORCENTAJE	DIAS DE ATAQUE	Carga, kN	RESISTENCIA
				Mpa
Aserrín	20%	0	5,9	11,2
Aserrín	20%	7	3,0	0,5
Aserrín	20%	15	3,0	0,6
Aserrín	20%	30	4,1	0,8

Tabla 32. Ensayo de compresión para ladrillos con incorporación de aserrín al 20% con diferentes días.

Para comprar las relaciones de los ladrillos con ataque en base a los que son el ladrillo patrón se exponen a continuación por medio de la siguiente gráfica.



Gráfica 7. Días de exposición a sulfatos aserrín vs Resistencia

Basado en la gráfica 7; está nos permite deducir que el ladrillo con la más alta resistencia a la compresión es de aserrín del 10% denominado ladrillo patrón (no presenta ataque a sulfatos). El esfuerzo al que fue sometido es de 36,5 kN, con respecto a los demás. Esto me permite deducir que el ladrillo es afectado en condiciones de ambientes con sales, ya que la ruptura se está generando a muy bajos valores de esfuerzo, mientras que si el ladrillo no es expuesto su respuesta a la compresión es positiva.

En base a los resultados de laboratorio y mediante la gráfica planteada se observa que para las dosis de 5% y 20% los esfuerzos aplicados se mantienen de forma constante para los dos casos.

9.3 Mezcla 2: Ladrillos con incorporación de Cacota de Cacao

A continuación se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de compresión. En las siguientes tablas se muestran el aditivo utilizado con su porcentaje, los días de ataques y la resistencia a la compresión.

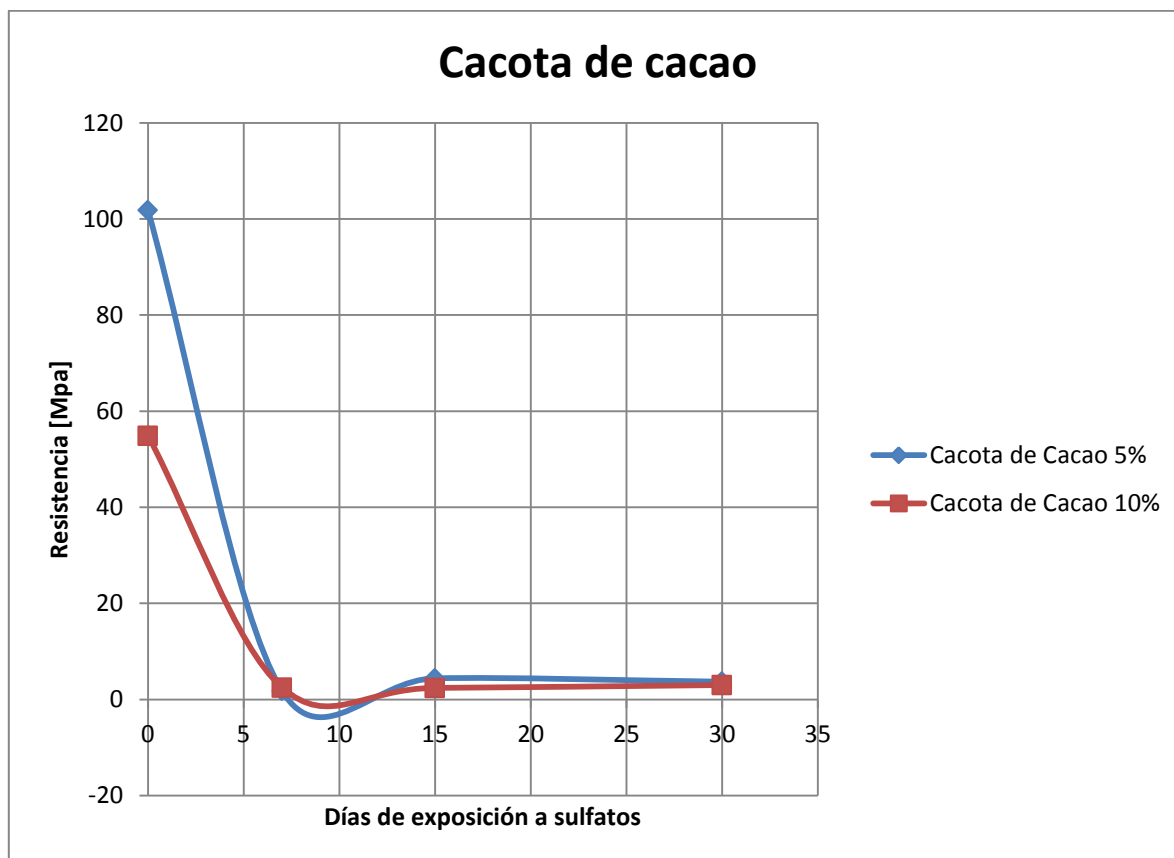
ENSAYOS DE COMPRESIÓN				
RESIDUO	PORCENTAJE	DIAS DE ATAQUE	Carga, kN	RESISTENCIA
				Mpa
Cacota de cacao	5%	0	49,2	101,8
Cacota de cacao	5%	7	9,5	1,8
Cacota de cacao	5%	15	22,2	4,4
Cacota de cacao	5%	30	18,5	3,7

Tabla 33. Ensayo de compresión para ladrillos con incorporación de cacota de cacao al 5% con diferentes días.

ENSAYOS DE COMPRESIÓN				
RESIDUO	PORCENTAJE	DIAS DE ATAQUE	Carga, kN	RESISTENCIA
				Mpa
Cacota de cacao	10%	0	28,7	54,9
Cacota de cacao	10%	7	12,9	2,5
Cacota de cacao	10%	15	11,9	2,4
Cacota de cacao	10%	30	15,0	3

Tabla 34. Ensayo de compresión para ladrillos con incorporación de cacota de cacao al 10% con diferentes días.

Para comprar las relaciones de los ladrillos con ataque en base a los que son el ladrillo patrón se exponen a continuación por medio de la siguiente gráfica.



Gráfica 8. Días de exposición a sulfatos cacota de cacao vs Resistencia

En la gráfica 8 se exponen el comportamiento de los ladrillos con incorporación de cacota de cacao en dosis de 5% y 10% en base a el ataque de sulfatos que se

aplicaron para estos especímenes, determinando de esta forma que el ladrillo con mayor resistencia a la compresión es la mezcla 5%. Como se observa en la gráfica al realizar los ataques de sulfatos para las probetas al tener un factor externo afectando sus propiedades, se aprecia la disminución notable que hay con respecto a los esfuerzos aplicados. El ladrillo del 5% sin ningún ataque representa el mejor ladrillo debido a que alcanza el mayor esfuerzo que en este caso es de 49,2kN para que se genere la ruptura del espécimen.

9.4 Mezcla 3: Ladrillos con incorporación de Cascarilla de Arroz

A continuación se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de compresión. En las siguientes tablas se muestran el aditivo utilizado con su porcentaje, los días de ataques y la resistencia a la compresión.

ENSAYOS DE COMPRESIÓN				
RESIDUO	PORCENTAJE	DIAS DE ATAQUE	Carga, kN	RESISTENCIA
				Mpa
Cascarilla de Arroz	5%	0	11,5	21,5
Cascarilla de arroz	5%	7	10,1	2,1
Cascarilla de arroz	5%	15	11,9	2
Cascarilla de arroz	5%	30	12,5	2,5

Tabla 35. Ensayo de compresión para ladrillos con incorporación de cascarilla de arroz 5% con diferentes días.

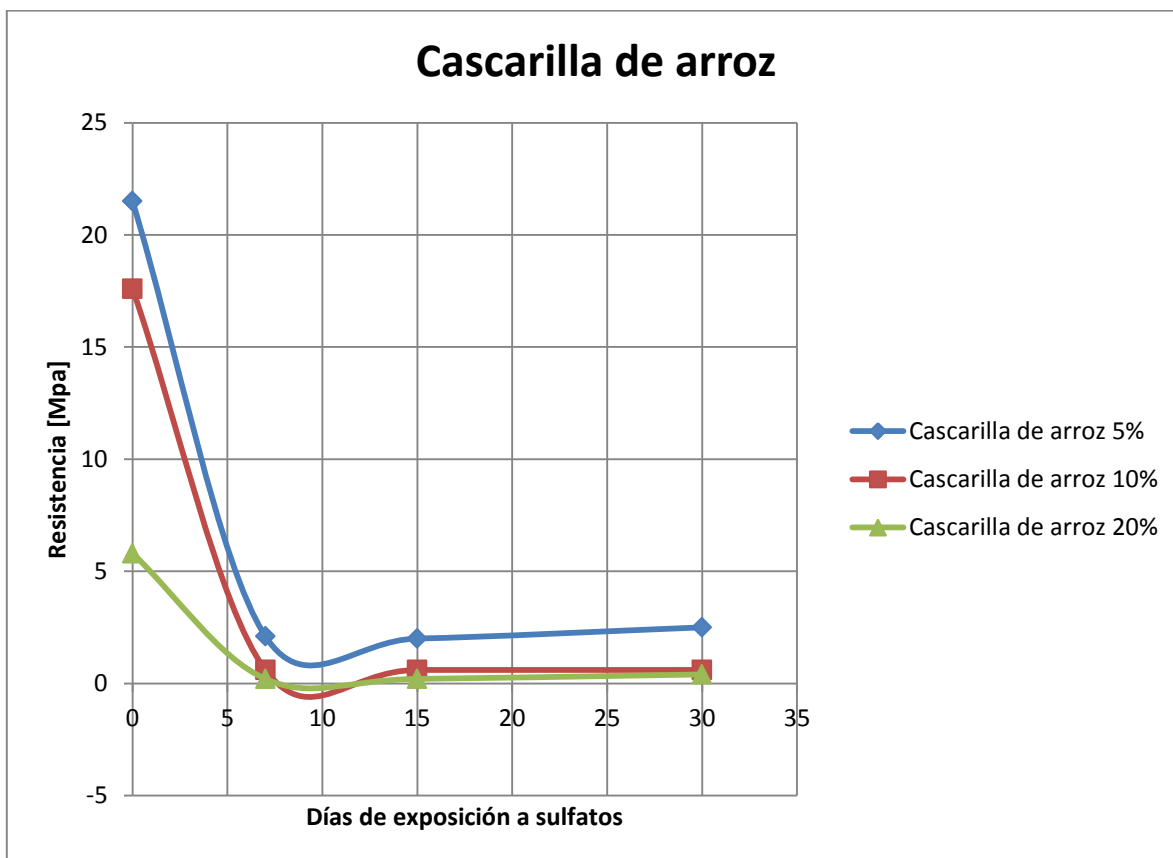
ENSAYOS DE COMPRESIÓN				
RESIDUO	PORCENTAJE	DIAS DE ATAQUE	Carga, kN	RESISTENCIA
				Mpa
Cascarilla de Arroz	10%	0	9,4	17,6
Cascarilla de arroz	10%	7	3,2	0,6
Cascarilla de arroz	10%	15	3,7	0,6
Cascarilla de arroz	10%	30	3,5	0,6

Tabla 36. Ensayo de compresión para ladrillos con incorporación de cascarilla de arroz al 10% con diferentes días.

ENSAYOS DE COMPRESIÓN				
RESIDUO	PORCENTAJE	DIAS DE ATAQUE	Carga, kN	RESISTENCIA
				Mpa
Cascarilla de Arroz	20%	0	3,3	5,8
Cascarilla de arroz	20%	7	1,2	0,2
Cascarilla de arroz	20%	15	1,5	0,2
Cascarilla de arroz	20%	30	2,2	0,4

Tabla 37. Ensayo de compresión para ladrillos con incorporación de cascarilla de arroz al 20% con diferentes días.

Para comprar las relaciones de los ladrillos con ataque en base a los que son el ladrillo patrón se exponen a continuación por medio de la siguiente gráfica.



Gráfica 9. Días de exposición de sulfatos de aditivo de cascarilla de arroz vs resistencia

En la gráfica 9 se observa el comportamiento de los ladrillos con base al ensayo de compresión realizado para estos especímenes que fueron expuestos a sulfatos. Las curvas muestran que actúan de forma similar, pero la mezcla con cambios positivos en las propiedades tecnológicas de los ladrillos es la mezcla con el porcentaje de aditivo del 5%.

9.5 Mezcla 4: Ladrillos con incorporación de Caña de Azúcar

A continuación se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de compresión. En las siguientes tablas se muestran el aditivo utilizado con su porcentaje, los días de ataques y la resistencia a la compresión.

ENSAYOS DE COMPRESIÓN				
RESIDUO	PORCENTAJE	DIAS DE ATAQUE	Carga, kN	RESISTENCIA
				Mpa
Caña de Azúcar	5%	0	22	44,4
Caña de azúcar	5%	7	16,6	3,4
Caña de azúcar	5%	15	14,3	2,7
Caña de azúcar	5%	30	12,8	2,5

Tabla 37. Ensayo de compresión para ladrillos con incorporación de caña de azúcar al 5% con diferentes días.

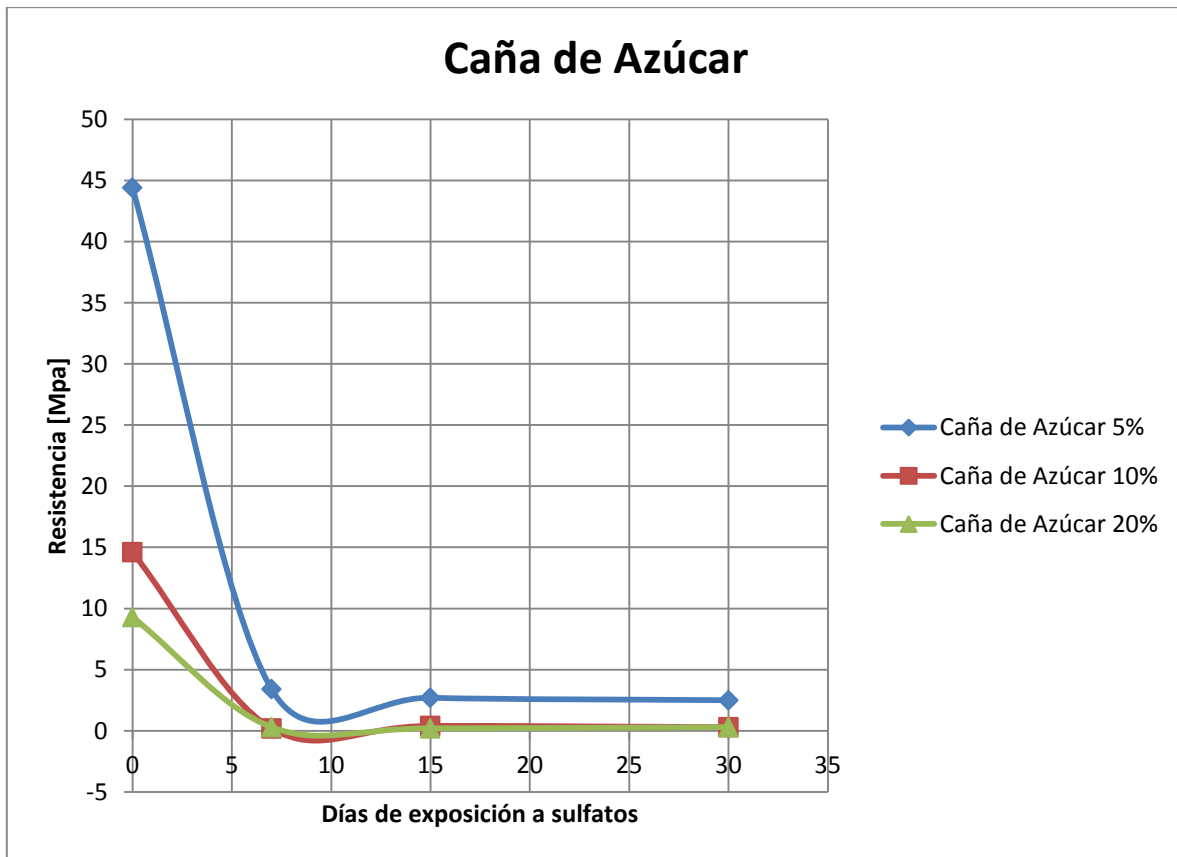
ENSAYOS DE COMPRESIÓN				
RESIDUO	PORCENTAJE	DIAS DE ATAQUE	Carga, kN	RESISTENCIA
				Mpa
Caña de Azúcar	10%	0	7,5	14,6
Caña de azúcar	10%	7	1,1	0,2
Caña de azúcar	10%	15	2,0	0,4
Caña de azúcar	10%	30	1,6	0,3

Tabla 38. Ensayo de compresión para ladrillos con incorporación de caña de azúcar al 10% con diferentes días.

ENSAYOS DE COMPRESIÓN				
RESIDUO	PORCENTAJE	DIAS DE ATAQUE	Carga, kN	RESISTENCIA
				Mpa
Caña de Azúcar	20%	0	4,9	9,3
Caña de azúcar	20%	7	1,4	0,3
Caña de azúcar	20%	15	0,9	0,2
Caña de azúcar	20%	30	1,3	0,3

Tabla 39. Ensayo de compresión para ladrillos con incorporación de caña de azúcar 20% con diferentes días.

Para comprar las relaciones de los ladrillos con ataque en base a los que son el ladrillo patrón se exponen a continuación por medio de la siguiente gráfica.



Gráfica 10. Días de exposición de sulfatos de aditivo de caña de azúcar vs resistencia.

La gráfica 10 expone un comportamiento bajo con respecto a los ataques realizados, es decir que a condiciones extremas el ladrillo podría fracturarse de forma más fácil. Como en los anteriores casos se muestra que los ladrillos con mejores resistencias a la compresión son los que contienen las dosis del 5% sin ningún tipo de ataque.

CONCLUSIONES

- ✓ Se determinó mediante ensayos de durabilidad y resistencia el comportamiento de las propiedades tecnológicas de los ladrillos, presentan una variación según el contenido de aditivo que contenga. Los porcentajes con resultados favorables se encuentran entre el 5% y 10% de aditivo.
- ✓ La mezcla de aserrín con dosificación del 5% presenta una resistencia mayor para el ensayo de flexión, mientras que la relación del 10% para los ensayos de compresión y flexión se sustentan como la mezcla más resistente. Evaluando la dosificación del 20% el esfuerzo aplicado y el módulo de rotura son muy bajos lo que hace de este el ladrillo con un resultado desfavorable.
- ✓ La mezcla de cacota de cacao principalmente se caracterizó por presentar la mejor respuesta a cambios favorables en las propiedades tecnológicas de los ladrillos. Esto se debe a que las cargas puntuales en cada uno de los ensayos fueron los resultados de esfuerzos más altos. Los rangos de flexión se encuentran entre cargas de 3,2kN y 3,8kN; y los rangos de compresión variaron entre 18kN a 49kN.
- ✓ La mezcla de cascarilla de arroz presento valores constantes en los esfuerzos aplicados. Lo que indica que la mezcla con mayor favorecimiento se encuentra con la dosificación del 10%, la cual en los ensayos realizados de compresión y flexión presentaron resultados de 5kN a 10kN respectivamente.
- ✓ La mezcla de caña de azúcar según resultados es la mezcla que más desfavorece el comportamiento físico del ladrillo, puesto que está mezcla al ser expuesta a ataques de ácido y sulfatos por presentar una baja porosidad, el esfuerzo aplicado para los ensayos de compresión y flexión fueron muy bajos. Los rangos de estos fueron aproximadamente entre 0,6

kN a 4,9 kN en la flexión y en la compresión presenta fuerzas de aproximadamente 0,9kN a 16 kN.

- ✓ Realizados los estudios necesarios para determinar que aditivo se debe incorporar a la materia prima extraída de la Ladrillera ERGO, la cual mantiene una estructural favorable para el ladrillo, se concluyó que la mejor mezcla es la de 90% materia prima y 10% de cacota de cacao.
- ✓ Los resultados obtenidos en la realización de este proyecto y comprando con otros estudios previos permiten verificar que los datos son confiables, puesto que para el caso de los estudios realizados en la incorporación de aserrín y cascarilla de arroz demuestran que los mejores resultados arrojados en las investigaciones se encontraban en los rangos 5 – 10% en peso de aditivo.
- ✓ Con base en los antecedentes planteados y a pesar de no existir estudios de la incorporación de cacota de cacao, permite concluir con base a las relaciones existente de los demás aditivos que al realizar la mezcla de cacota de cacao por su comportamiento lineal, da los mejores resultados de resistencia a los esfuerzos aplicados. No obstante al ser expuestos a soluciones con ácidos y sulfatos, estos ladrillos siguen presentando el comportamiento más favorecido, ya que su carga puntual tanto de la flexión como la compresión alcanza los picos más altos, lo que permite sustentar que la tasa de porosidad es más por consiguiente es el aditivo que presenta los mejores cambios en las propiedades tecnológicas de los ladrillos.

BIBLIOGRAFÍA

CDMB. Plan general para el control de la erosión. Subdirección de gestión ambiental urbana sostenible coordinación gestión de riesgo. (2010) 125p

CLAVIJO, J.; ROYERO, J. Mapa Geológico Generalizado de Santander. Memorias Explicativas. (2001). 92p

CITRONI, J.; RODRÍGUEZ, M.; CARRASCO, M.; AVENDAÑO, M.; SOTA, J.; FRANZOY, M.; BALDO, E. Desarrollo de ladrillos cerámicos alivianados a partir de la utilización de residuos. Universidad Tecnológica Nacional. Santafe – Argentina (2006). 9p

CRUZ GUEVARA, L. E.; CABALLERO, V.M. Guías de Laboratorio. Petrología Sedimentaria. 2007.

DE LA CASA, J.; ROMERO, I.; JIMÉNEZ, J.; CASTRO, E. Fired clay masonry units production incorporating two-phase olive mill waste. Volumen 38, Número 6. (2012)

FLIESS, Enrique. Estabilidad I: Capítulo 1 - Introducción a la resistencia de materiales. Tomo I (2008). 17p

FLIESS, Enrique. Estabilidad II: Capítulo 1 - Introducción a la resistencia de materiales. Tomo II (2008). 23p

GARCÍA, María; RODRÍGUEZ, Africa; QUESADA, Dolores; CORPAS, Francisco; LÓPEZ, Alberto. Efecto de la Incorporación de Alpeorujo en la Fabricación de Ladrillos de Arcilla. Revista de la Sociedad española de mineralogía. España (2010). 135-136p.

GATANI, Mariana; Producción de ladrillos de suelocemento, una alternativa eficiente, económica y sustentable?. Primer Seminario Exposición: La tierra cruda en la construcción del hábitat. (2002). 10p

GNECCO, Mauricio; MARQUINA, Jorge. Ladrillos que ahorran energía: Manual para pequeños productores de ladrillos. ITDG, (2000). 19p

LAGUNA, María. Ladrillo Ecológico como material sostenible para la construcción. Proyecto de Grado. Universidad Pública de Navarra. (2011). 121p

MALAVÉ, R. E.; GÓMEZ, M.; SOSA, G.; ANZOLA, E.; GIMÉNEZ, A. Evaluación de la durabilidad de bloques de tierra-cemento-sisal armado, al someterlos a la acción de iones cloruros. Materiales de construcción, Vol. 56. Barquisimeto, Venezuela, 2006. 284 p.

MOMTAZI, A; ZANOOSH, R. The effects of polypropylene fibers and rubber particles on mechanical properties of cement composite containing rice husk ash. Faculty of engineering, university of Guilan, Rasht, Iran. Volumen 32. (2012) 8p.

NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 4017. Método para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla.

NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 4205. Unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos.

QUARANTA, N; CALIGARIS, M; LÓPEZ, H; UNSEN, M; Lalla, N. Inclusión de residuos industriales en la producción de materiales cerámicos. II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Barranquilla, (2009). 12p.

RAHMAN, M. Properties of clay-sand-rice husk ash mixed bricks. Department of Civil Engineering, University of Ife, Ile-Ife, Nigeria. Volumen 23, Número 1. (1987) 10p

REYES, César. Estudio del comportamiento de morteros reforzados con fibras de maíz, para componentes de vivienda de bajo costo. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona (2009). 430p

SANTOS, Jose Darío; MALAGÓN, Pedro Yesid. Estudio de mejoramiento del proceso de fabricación de tejas y ladrillos con las arcillas de la vereda Guayabal del municipio de Barichara (Santander). Proyecto de Grado. Universidad Industrial de Santander. (2009). 113p

SEGURA, Ángela; BARRIOS, Jesús. Libro 2. El proceso constructivo de las obras de fábrica, la construcción de arcos y bóvedas. Obras de Fabrica. Escuela Técnica Superior de Arquitectura Sevilla. (2011). 128p

SERVICIO DE NORMATIVA TÉCNICA, SUPERVISIÓN Y CONTROL, DIRECCION GENERAL DE ARQUITECTURA Y VIVIENDA, CONSEJERIA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO. Normativa de ladrillos y bloques. Madrid, España (2004). 54p

TOONAYOPAS, D.; PERAPONG, T.; SARAWUT, J. Effects of Rice Husk Ash on Characteristics of Lightweight Clay Brick. Technology and Innovation for Sustainable Development Conference (TISD2008) Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Thailand (2008) 3p.

ANEXOS

ANEXO A. PROCEDIMIENTO Y CÁLCULOS PARA LAS SOLUCIONES CON ÁCIDO

El ácido sulfúrico es un compuesto químico extremadamente corrosivo cuya fórmula es H_2SO_4 . Es el compuesto químico que más se produce en el mundo, por eso se utiliza como uno de los tantos medidores de la capacidad industrial de los países. Una gran parte se emplea en la obtención de fertilizantes. También se usa para la síntesis de otros ácidos y sulfatos y en la industria petroquímica.

Al realizar el ataque se utilizó Ácido Sulfúrico (H_2SO_4). Para determinar el volumen de concentración que se deben diluir en la solución se tuvo en cuenta que la concentración patrón que en este caso es de 18M. El proceso para este caso es realizar 2 dosis diferentes de concentración de H_2SO_4 , las dosis a utilizar son de 0.25M y 0.5M. La fórmula para determinar la cantidad de Volumen de ácido es la siguiente:

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

C_1 : Concentración Patrón

C_2 : Concentración ácido

V_1 : Volumen del ácido a utilizar

V_2 : Volumen Total

Cálculos

a) **Concentración de 0,25 M**

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$C_1=18M$

$V_1= \text{¿?}$

$$C_2 = 0.25$$

$$V_2 = 500\text{ml}(0,5\text{L})$$

$$18M * V_1 = 0,25M * 0,5L$$

$$V_1 = \frac{0,25M * 0,5L}{18M}$$

$$V_1 = 6,94 * 10^{-3}L$$

El volumen necesario para la concentración de 0.25M es de 7ml.

b) Concentración de 0,5M

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$$C_1 = 18M$$

$$V_1 = ?$$

$$C_2 = 0,5M$$

$$V_2 = 500\text{ml}(0,5\text{L})$$

$$18M * V_1 = 0,5M * 0,5L$$

$$V_1 = \frac{0,5M * 0,5L}{18M}$$

$$V_1 = 0,014L$$

El volumen necesario para la concentración de 0,5M es de 14ml.

Respectivamente para 4 aditivos se realizaron 2 diferentes dosis (0.25M y 0.5M), y con base en esto se escogieron 22 ladrillos para exponerlos a esta solución repartidos de la siguiente manera:

Cacota de Cacao

(5% y 10%) con (0,25M) = 2 Ladrillos

(5% y 10%) con (0,5M) = 2 Ladrillos

Aserrín

(5%) con (1M y 2M) = 2 Ladrillos

(10% y 20%) con (0,25M) = 2 Ladrillos

(10% y 20%) con (0,5M) = 2 Ladrillos

Cascarilla de Arroz

(5%, 10% y 20%) con (0,25M) = 3 Ladrillos

(5%, 10% y 20%) con (0,5M) = 3 Ladrillos

Caña Azúcar

(5%, 10% y 20%) con (0,25M) = 3 Ladrillos

(5%, 10% y 20%) con (0,5M) = 3 Ladrillos

Este ensayo permite observar el comportamiento del ladrillo sumergido en solución de ácido sulfúrico; por consiguiente se llevó un control del ataque durante un mes para determinar de esta forma los cambios presentes en las propiedades tecnológicas de los ladrillos. Después de terminado el ensayo se tuvo en cuenta la resistencia a la flexión exponiendo a los especímenes a estos esfuerzos.

ANEXO B. PROCEDIMIENTO Y CÁLCULOS PARA LAS SOLUCIONES CON SULFATOS

El sulfato de Magnesio es un compuesto químico que contiene magnesio, y cuya fórmula es $Mg SO_4 \cdot 7H_2O$. El sulfato de magnesio sin hidratar $MgSO_4$ es muy poco frecuente y se emplea en la industria como agente secante. Por esta razón, cuando se dice «sulfato de magnesio» se entiende implícitamente la sal hidratada. El mismo criterio se aplica a la sal de Epsom. Para las preparaciones medicinales en las que se utilizará como solución acuosa se emplea el hidrato, porque los cristales hidratados de esta sal, que no son deliquescentes, pueden pesarse con escaso error y ser sometidos sin mayores inconvenientes a los procesos de control de calidad en la manufactura.

Para realizar el ataque con sulfatos, se realizó con sulfato de magnesio ($Mg SO_4 \cdot 7H_2O$), en este caso la concentración que manejare será de 1M.

Para determinar cuánto de este compuesto debo utilizar, se realizan los siguientes cálculos:

$$M = \frac{m}{L}$$

M: Molaridad del Sulfato

m: Moles del sulfato

L: Volumen en litros de solución

Cálculos

La solución a realizar de Sulfato de Magnesio $Mg SO_4 \cdot 7H_2O$ es a 1 Molar llevándola a un volumen de 500 ml.

$$M = \frac{m}{L}$$

$$1M = \frac{m}{0,5L}$$

$$m = 1M * 0,5L$$

$$m = 0,5moles$$

Al obtener el dato en moles del Sulfato, determino el peso en gramos de este compuesto para realizar la solución.

1 mol de $Mg SO_4 \cdot 7H_2O$ tiene un peso molecular de 246,48 g, Cuántos gramos de Sulfato de Magnesio son necesario para 0,5 moles?

$$0,5moles * \frac{246,48g}{1mol} = 123,24g$$

123,24g es la cantidad necesaria de $Mg SO_4 \cdot 7H_2O$ para 1 ladrillo.

En base a esto, se debe tuvo en cuenta que para cada dosis de ladrillos elaborados, se realizaron 3 dosificaciones para ataques de Sulfatos con el mismo peso pero diferente tiempo de duración definidos en 7 días, 15 días y 30 días. Entonces se marcaran los ladrillos de la misma dosis como: A, B y C, con el fin de que cuando se mantengan es la solución de sulfato que tiene los mismos gramos respectivamente se lleve un proceso de tiempo en el cual se determinara cual ha sido el desgaste para cada ladrillo. Con lo anterior se expresa de la siguiente manera.

- Para el ladrillo A que tiene una dosis del 5% de Cacota de Cacao se tendrá por 7 días

- Para el ladrillo B que tiene una dosis del 5% de Cacota de Cacao se tendrá por 15 días
- Para el ladrillo C que tiene una dosis del 5% de Cacota de Cacao se tendrá por 30 días.

Por lo tanto la distribución de lotes quedo de la siguiente manera:

Cacota de Cacao

(5% y 10%) con (7 días) = 2 Ladrillos

(5% y 10%) con (15 días) = 2 Ladrillos

(5% y 10%) con (30 días) = 2 Ladrillos

Aserrín

(5%, 10% y 20%) con (7 días) = 3 Ladrillos

(5%, 10% y 20%) con (15 días) = 3 Ladrillos

(5%, 10% y 20%) con (30 días) = 3 Ladrillos

Cascarilla de Arroz

(5%, 10% y 20%) con (7 días) = 3 Ladrillos

(5%, 10% y 20%) con (15 días) = 3 Ladrillos

(5%, 10% y 20%) con (30 días) = 3 Ladrillos

Caña Azúcar

(5%, 10% y 20%) con (7 días) = 3 Ladrillos

(5%, 10% y 20%) con (15 días) = 3 Ladrillos


(5%, 10% y 20%) con (30 días) = 3 Ladrillos

Por consiguiente el Total de ladrillos a utilizar para el ataque de ácido es 33 ladrillos.

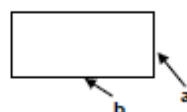
El fin para realizar este ensayo es llevar el control en diferentes etapas (7 días, 15 días y 30 días) que se debe mantener en esta solución el ladrillo para determinar en que se ve afectado las propiedades tecnológicas. Se tendrán en cuenta diferentes etapas con el fin de determinar el desgaste de los ladrillos exponiéndolos a la misma solución en diferentes días.

ANEXO C. RESULTADOS DE LABORATORIO

INFORME DE ENSAYO

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana REGIONAL BARRANQUILLA</p> <p>Km 7 vía Piedecuesta</p> <p align="center">RESISTENCIA A LA COMPRESION LADRILLOS NTC -4017</p>	OBRA:	CONTROL DE CALIDAD	FECHA DE INFORME:	miércoles, 08 de agosto de 2012
	SOLICITADO POR:	LISSET M. LUNA	FECHA DE RECEPCIÓN:	jueves, 02 de agosto de 2012
	SONDEO:	NO APLICA	Nº DE ENSAYOS:	11
	MUESTRAS:	11	PROFUNDIDAD:	NO APLICA
	DESCRIPCIÓN:	UNIDADES DE MAMPOSTERÍA EN ARCILLA SIN ATAQUE	OPERADOR:	Vicente Paez
	INFORME Nº	167	PÁGINAS:	1


TIPO DE LADRILLO



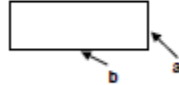
Nº	LADRILLO Nº	ADITIVO Y PORCENTAJE	MEDIDAS, mm		CARGA, kN	RESISTENCIA	
			a	b		MPa	kg/cm ²
1	8	ASERRIN - 5%	60	93	17,8	3,2	32,5
2	7	ASERRIN - 10%	60	92	36,5	6,6	67,4
3	7	ASERRIN - 20%	59	91	5,9	1,1	11,2
4	7	CACOTA DE CACAO - 5%	56	88	49,2	10,0	101,8
5	7	CACOTA DE CACAO - 10%	60	89	28,7	5,4	54,9
6	7	CAÑA DE AZUCAR - 5%	56	90	22,0	4,4	44,4
7	7	CAÑA DE AZUCAR - 10%	58	90	7,5	1,4	14,6
8	7	CAÑA DE AZUCAR - 20%	58	92	4,9	0,9	9,3
9	7	CASCARILLA DE ARROZ - 5%	59	92	11,5	2,1	21,5
10	7	CASCARILLA DE ARROZ - 10%	60	91	9,4	1,7	17,6
11	7	CASCARILLA DE ARROZ - 20%	62	95	3,3	0,6	5,8

OBSERVACIONES:
 LOS RESULTADOS SON VÁLIDOS ÚNICAMENTE PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS
 SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE INFORME
 DEL REPORTE

INFORME DE ENSAYO


 Km 7 vía Piedecuesta	OBRA: CONTROL DE CALIDAD	FECHA DE INFORME: Jueves, 09 de agosto de 2012
	SOLICITADO POR: LISSET M. LUNA	FECHA DE RECEPCIÓN: Jueves, 02 de agosto de 2012
RESISTENCIA A LA COMPRESION LADRILLOS NTC -4017	SONDEO: NO APLICA	N° DE ENSAYOS: 33
	MUESTRAS: 33	PROFUNDIDAD: NO APLICA
	DESCRIPCIÓN: UNIDADES DE MAMPOSTERÍA EN ARCILLA CON ATAQUE DE SULFATOS	CALCULO: Luz Marina Torrado G.
	INFORME N° 167	OPERADOR: Vicente Paez PÁGINAS: 2


TIPO DE LADRILLO



N°	LADRILLO N°	ADITIVO Y PORCENTAJE	TIEMPO DE ATAQUE (días)	MEDIDAS, mm		CARGA, kN	RESISTENCIA	
				a	b		MPa	kg/cm ²
1	4	ASERRIN - 5%	7	61	91	15,0	2,7	27,5
2	3	ASERRIN - 10%	7	58	90	10,3	2,0	20,1
3	3	ASERRIN - 20%	7	58	93	3,0	0,5	5,6
4	5	ASERRIN - 5%	15	58	93	14,1	2,6	26,7
5	4	ASERRIN - 10%	15	62	92	11,1	1,9	19,9
6	4	ASERRIN - 20%	15	57	93	3,0	0,6	5,8
7	6	ASERRIN - 5%	30	57	90	11,5	2,2	22,9
8	5	ASERRIN - 10%	30	57	92	6,6	1,3	12,8
9	5	ASERRIN - 20%	30	57	91	4,1	0,8	8,0
10	3	CACOTA DE CACAO - 5%	7	60	87	9,5	1,8	18,5
11	3	CACOTA DE CACAO - 10%	7	57	90	12,9	2,5	25,7
12	4	CACOTA DE CACAO - 5%	15	57	88	22,2	4,4	45,2
13	4	CACOTA DE CACAO - 10%	15	56	89	11,9	2,4	24,2
14	5	CACOTA DE CACAO - 5%	30	56	89	18,5	3,7	37,9
15	5	CACOTA DE CACAO - 10%	30	57	89	15,0	3,0	30,1
16	3	CASCARILLA DE ARROZ - 5%	7	54	90	10,1	2,1	21,2
17	3	CASCARILLA DE ARROZ - 10%	7	62	92	3,2	0,6	5,7
18	3	CASCARILLA DE ARROZ - 20%	7	66	94	1,2	0,2	2,0
19	4	CASCARILLA DE ARROZ - 5%	15	63	93	11,9	2,0	20,6
20	4	CASCARILLA DE ARROZ - 10%	15	62	94	3,7	0,6	6,5
21	4	CASCARILLA DE ARROZ - 20%	15	72	97	1,5	0,2	2,2
22	5	CASCARILLA DE ARROZ - 5%	30	54	91	12,5	2,5	26,0
23	5	CASCARILLA DE ARROZ - 10%	30	60	96	3,5	0,6	6,2
24	5	CASCARILLA DE ARROZ - 20%	30	59	93	2,2	0,4	4,1
25	3	CAÑA DE AZUCAR - 5%	7	55	90	16,6	3,4	34,2
26	3	CAÑA DE AZUCAR - 10%	7	62	91	1,1	0,2	2,0
27	3	CAÑA DE AZUCAR - 20%	7	58	91	1,4	0,3	2,6
28	4	CAÑA DE AZUCAR - 5%	15	58	90	14,3	2,7	27,9
29	4	CAÑA DE AZUCAR - 10%	15	62	93	2,0	0,4	3,6
30	4	CAÑA DE AZUCAR - 20%	15	61	91	0,9	0,2	1,7
31	5	CAÑA DE AZUCAR - 5%	30	58	90	12,8	2,5	25,0
32	5	CAÑA DE AZUCAR - 10%	30	64	92	1,6	0,3	2,8
33	5	CAÑA DE AZUCAR - 20%	30	58	87	1,3	0,3	2,7

OBSERVACIONES:
 LOS RESULTADOS SON VÁLIDOS ÚNICAMENTE PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS
 SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE INFORME
 DEL REPORTE

INFORME DE ENSAYO									
 Universidad Pontificia Bolivariana <small>REGIONAL BARRANQUILLA</small> Km 7 vía Piedecuesta		OBRA: CONTORL DE CALIDAD				FECHA DE INFORME: miércoles, 08 de agosto de 2012			
		SOLICITADO POR: LISSET M. LUNA				FECHA DE RECEPCIÓN: Jueves, 02 de agosto de 2012			
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE UNIDADES DE MAMPOSTERIA NTC-4017		SONDEO: NO APLICA		N° DE ENSAYOS: 11		FECHA DE PRUEBA: Jueves, 02 de agosto de 2012			
		MUESTRAS: 11		PROFUNDIDAD: NO APLICA		CALCULÓ: Ing. Luz Marina Torrado Gómez			
		DESCRIPCIÓN: UNIDADES DE MAMPOSTERIA DE ARCILLA SIN ATAQUE				OPERADOR: Vicente Paez			
		INFORME N° 167				PÁGINAS: 1			
N°	LADRILLO N°	ADITIVO	PORCENTAJE %	b, cm	d, cm	Luz, cm	CARGA, kN	MODULO DE ROTURA	
								Kg/cm ²	Mpa
1	7	ASERRIN	5	4,3	8,9	6,4	4,2	1.207	118,4
2	6	ASERRIN	10	4,7	8,9	6,4	2,9	771	75,6
3	6	ASERRIN	20	4,5	9,0	6,5	1,4	382	37,4
4	6	CACOTA DE CACAO	5	4,4	8,9	6,4	4,9	1.377	135,0
5	6	CACOTA DE CACAO	10	4,4	8,9	6,4	2,8	787	77,1
6	6	CASCARILLA DE ARROZ	5	4,7	9,1	6,6	4,8	1.245	122,1
7	6	CASCARILLA DE ARROZ	10	4,5	9,1	6,6	1,7	461	45,2
8	6	CASCARILLA DE ARROZ	20	4,3	9,6	7,1	1,0	263	25,8
9	6	CAÑA DE AZUCAR	5	4,4	9,1	6,6	3,8	1.053	103,2
10	6	CAÑA DE AZUCAR	10	4,5	9,3	6,8	1,3	348	34,1
11	6	CAÑA DE AZUCAR	20	4,3	9,0	6,5	1,1	314	30,8
OBSERVACIONE ⁽¹⁾ suministrado por cliente									
N.R.: No reportado. N.P.F.: No presenta falla visible									
LOS RESULTADOS SON VÁLIDOS ÚNICAMENTE PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS									
SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE INFORME									
FIN DEL REPORTE									

INFORME DE ENSAYO										
 Universidad Pontificia Bolivariana Km 7 vía Piedecuesta		OBRA: CONTORL DE CALIDAD		FECHA DE INFORME: Jueves, 09 de agosto de 2012						
		SOLICITADO POR: LISSET M. LUNA		FECHA DE RECEPCIÓN: Jueves, 02 de agosto de 2012						
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE UNIDADES DE MANPOSTERIA NTC-4017		SONDEO: NO APLICA	N° DE 22	FECHA DE PRUEBA: SEGÚN REPORTE						
		MUESTRAS: 22	PROFUNDIDAD: NO APLICA	CALCULÓ: Ing. Luz Marina Torrado Gómez						
		DESCRIPCIÓN: UNIDADES DE MANPOSTERIA DE ARCILLA CON ATAQUE ACIDO		OPERADOR: Vicente Paez						
INFORME N°		167		PÁGINAS: 1						
N°	LADRILLO N°	ADITIVO	PORCENTAJE %	TIEMPO DE ATAQUE (Mec)	b, cm	d, cm	Luz, cm	CARGA, kN	MODULO DE ROTURA	
									Kg/cm ²	Mpa
1	1	ASERRIN	5	1,00	4,6	9,0	6,5	5,7	1.521	149
2	2	ASERRIN	5	2,00	4,7	9,2	6,7	2,5	644	63
3	1	ASERRIN	10	0,25	4,6	9,2	6,7	2,2	579	57
4	2	ASERRIN	10	0,50	4,5	9,1	6,6	5,4	1.463	143
5	1	ASERRIN	20	0,25	4,6	9,2	6,7	1,3	342	34
6	2	ASERRIN	20	0,50	4,6	9,2	6,7	1,3	342	34
7	1	CACOTA DE CACAO	5	1,00	4,4	8,9	6,4	3,2	899	88
8	2	CACOTA DE CACAO	5	2,00	4,5	9,0	6,5	3,7	1.010	99
9	1	CACOTA DE CACAO	10	0,25	4,5	9,0	6,5	3,8	1.037	102
10	2	CACOTA DE CACAO	10	0,50	4,5	8,9	6,4	2,5	687	67
11	1	CASCARILLA DE ARROZ	5	1,00	4,5	8,8	6,3	2,2	609	60
12	2	CASCARILLA DE ARROZ	5	2,00	4,8	9,0	6,5	3,1	793	78
13	1	CASCARILLA DE ARROZ	10	0,25	4,6	9,5	7,0	1,3	335	33
14	2	CASCARILLA DE ARROZ	10	0,50	4,7	9,3	6,8	1,2	307	30
15	1	CASCARILLA DE ARROZ	20	0,25	4,7	9,7	7,2	0,9	224	22
16	2	CASCARILLA DE ARROZ	20	0,50	4,4	9,5	7,0	0,8	216	21
17	1	CAÑA DE AZUCAR	5	1,00	4,6	9,1	6,6	4,2	1.113	109
18	2	CAÑA DE AZUCAR	5	2,00	4,8	8,5	6,0	2,9	768	75
19	1	CAÑA DE AZUCAR	10	0,25	4,4	9,0	6,5	1,2	335	33
20	2	CAÑA DE AZUCAR	10	0,50	4,4	9,3	6,8	0,9	246	24
21	1	CAÑA DE AZUCAR	20	0,25	4,5	9,2	6,7	0,9	242	24
22	2	CAÑA DE AZUCAR	20	0,50	4,4	9,5	7,0	0,6	162	16
OBSERVACION ⁽¹⁾ suministrado por cliente										
N.R.: No reportado. N.P.F.: No presenta falla visible										
LOS RESULTADOS SON VÁLIDOS ÚNICAMENTE PARA LAS MUESTRAS ENSAYADAS										
SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL PRESENTE INFORME										
FIN DEL REPORTE										