

Caracterización Térmica y Mecánica de Materiales de Construcción más Usados en Ecuador.

Materiales para Pared y Techo.

Richard Nixon Salinas Ojeda

Universidad Internacional SEK

Nota de Autor

Richard Nixon Salinas Ojeda, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Internacional SEK; Director Ingeniero Javier Martínez.

Este trabajo fue auspiciado por el Instituto Ecuatoriana de Energías Renovables INER.

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:
rnsalinas@hotmail.com

Quito- Ecuador

2018

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, RICHARD NIXON SALINAS OJEDA, con cédula de identidad 2300069784, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este momento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de la Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

RICHARD SALINAS OJEDA

C.I: 230006978-4

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen por darme la oportunidad de vivir y por haberme bendecido con este momento tan especial en mi vida.

A mis padres Richard Salinas Pacheco y Gloria Ojeda Yaguana, por ser los principales gestores en la culminación de mi carrera estudiantil, por enseñarme a ser una mejor persona, por su apoyo incondicional en mis decisiones y principalmente por haberme dado la vida.

A mis hermanos David, Sebastián y Lesli que me han brindado su apoyo y por compartir buenos y malos momentos.

A mis abuelitos Neptalí y Rosita por todo su amor y consejos me pudieron dar para poder prosperar en toda mi etapa universitaria, y que a pesar que no están este momento sé que siempre me están guiando desde el cielo.

A mi novia Angie por ser la mujer que me ha brindado su apoyo incondicional y por haberme impulsado a culminar el presente proyecto de investigación.

Richard Nixon Salinas Ojeda

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios, por haberme bendecido cada instante de mi vida, a mis padres por su apoyo incondicional, a mis hermanos que me han acompañado en todo momento.

A cada uno de los docentes de la Facultad de Ingeniería Mecánica por compartir sus conocimientos, en especial a la colaboración del Ingeniero Javier Martínez Gómez, en cada etapa de este proyecto.

Richard Nixon Salinas Ojeda

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN JURAMENTADA	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE TABLAS	10
RESUMEN	12
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN	15
MÉTODO.....	22
Preparación de las Muestras para los Ensayos	23
Metodología para los Ensayos Físico-Químicos	24
Ensayo de absorción de humedad NTE INEN 296.....	24
Determinación de la absorción de humedad.....	26
Base de datos para determinar la absorción de humedad de la teja cerámica.....	27
Base de datos para determinar la absorción de humedad Ladrillo cerámico.....	28
Metodología para los Ensayos Mecánicos	30
Resistencia a la compresión.....	30
Resistencia a la flexión.....	31
Ladrillo cerámico artesanal.....	32
Dimensiones de ladrillo cerámico para ensayos a compresión.....	37
Dimensiones de ladrillo cerámico para ensayos a flexión.....	38
Determinación de la resistencia a la compresión ladrillo cerámico.....	39
Determinación de la resistencia a la flexión ladrillo cerámico.....	43
Preparación de las muestras.....	43
Metodología instrumental para ladrillo.....	44
Procedimiento.....	45
Cálculo.....	46
Teja Cerámica Artesanal.....	46
Clasificación de las tejas.....	47
Condiciones generales de las tejas.....	48

Dimensiones y tolerancias.....	48
Requisitos de teja cerámica.....	49
Base de datos para el control de dimensiones por lotes para ensayo a flexión teja.	50
Determinación de la resistencia a la flexión teja cerámico.....	50
Preparación de las Muestras	50
Metodología Instrumental para la teja	52
Metodología para los Ensayos Térmicos	54
Conductividad Térmica.....	55
Metodología Instrumental para conductividad térmica	55
Metodología para determinación de la conductividad térmica del ladrillo cerámico.	57
Preparación de las Muestras	57
RESULTADOS.....	63
Teja Cerámica	63
Resultados del Ensayo de Capacidad de Absorción de Humedad.	63
Resultado de ensayo a flexión.....	66
Resultado de ensayo térmico	70
Ladrillo Cerámico.....	75
Resultados del Ensayo de Capacidad de Absorción de Humedad.	75
Resultado de ensayo a la Compresión.	78
Resultado de ensayo a la Flexión.	86
Resultado de la Ensayo Térmico.....	92
DISCUSIONES	98
CONCLUSIONES	101
RECOMENDACIONES	104
ANEXOS.....	108
ANEXO A	108
ANEXO B	111
ANEXO C	113
ANEXO D	115
ANEXO E	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Balanza electrónica Camry, con capacidad máxima de 6000g,	27
Figura 2. Esquema apropiado para el ensayo de flexión, por el método de carga en el centro de luz	32
Figura 3. Partes de ladrillo cerámico, fuente: EDEFER, 2017.....	33
Figura 4. Máquina electro-hidráulica de ensayos universal para determinar la resistencia a la Compresión.	40
Figura 5. Mitades de ladrillos Lote 1,2,3 respectivamente.....	40
Figura 6. Recubrimiento de la capa de cemento Pórtland sobre las superficies de ladrillo con imperfecciones.	41
Figura 7. Mitad de ladrillo sometido a ensayo de resistencia a la compresión.	42
Figura 8. Ladrillos enteros codificados para ensayo de flexión.	43
Figura 9. Máquina universal usada para determinar la resistencia a la flexión.....	44
Figura 10. Máquina de ensayos universales Panel de Control.	44
Figura 11. Ladrillo con la cara mayor sobre los apoyos fijos.....	45
Figura 12. Fractura del ladrillo debida a la carga aplicada.....	45
Figura 13. Propia. Muestra de 5 tejas secadas a temperatura ambiente Lote 3.	51
Figura 14. Muestras de teja en estufa eléctrica a 110°C.....	51
Figura 15. Teja cerámica con sección rectangular en superficie.....	52
Figura 16. Bancada fija, con acoples cilíndricos en posición paralela.	52
Figura 17. Acople de madera sobre el lomo de la teja cerámica.	53
Figura 18. Muestra de teja cerámica en posición paralela al acople de madera.....	53
Figura 19. Rotura de la muestra de teja cerámica a la aplicación de la carga máxima admisible.....	54
Figura 20. Esquema interno del equipo utilizado.....	57
Figura 21. Laboratorio INER a temperatura y humedad controlada.....	58

Figura 22. Recepción de datos de masa de la teja cerámica.....	58
Figura 23. Colocación de recubrimiento de plástico a muestra de teja, ladrillo cerámica.	59
Figura 24. Colocación de gel ultrasónico en superficie de muestra.	60
Figura 25. Colocación de la muestra en la posición provista.	60
Figura 26. Muestra en posición educada según la norma ISO 8302.	61
Figura 27. Colocación de molde de poliuretano.....	61
Figura 28. Guarded Hot Plate Apparatus λ -Meter EP500e, puesta en marcha.....	62
Figura 29. Pantalla táctil del Monitor λ -Meter EP500e.....	62
Figura 30. Fuerza vs Deformación de la teja cerámica lote1	68
Figura 31. Fuerza vs Deformación de la teja cerámica lote 2	69
Figura 32. Fuerza vs Deformación de la teja cerámica lote 3	70
Figura 33. Conductividad térmica vs tiempo, teja cerámica lote1	72
Figura 34. Conductividad térmica vs tiempo, teja cerámica lote 2	73
Figura 35. Conductividad térmica vs tiempo, teja cerámica lote 3	74
Figura 36. Fuerza vs Deformación de ensayo a compresión de ladrillo cerámico Lote 1.....	82
Figura 37. Fuerza vs Deformación de ensayo a compresión de ladrillo cerámico Lote 2.....	83
Figura 38. Fuerza vs Deformación de ensayo a compresión de ladrillo cerámico Lote 3.....	83
Figura 39. Fuerza vs Deformación de ensayo a compresión de ladrillo cerámico Lote 4.....	84
Figura 40. Fuerza vs Deformación de ensayo a compresión de ladrillo cerámico Lote 5.....	85
Figura 41. Fuerza vs Deformación de ensayo a compresión de ladrillo cerámico Lote 6.....	85
Figura 42. Fuerza vs Deformación de ensayo a flexión de ladrillo cerámico Lote 1.	88
Figura 43. Fuerza vs Deformación de ensayo a flexión de ladrillo cerámico Lote 2.	89
Figura 44. Fuerza vs Deformación de ensayo a flexión de ladrillo cerámico Lote 3.	90
Figura 45. Fuerza vs Deformación de ensayo a flexión de ladrillo cerámico Lote 4.	90

Figura 46. Fuerza vs Deformación de ensayo a flexión de ladrillo cerámico Lote 5.....	91
Figura 47. Fuerza vs Deformación de ensayo a flexión de ladrillo cerámico Lote 6.....	92
Figura 48. Conductividad térmica vs tiempo, ladrillo cerámico lote 1	94
Figura 49. Conductividad térmica vs tiempo, ladrillo cerámico lote 2	95
Figura 50. Conductividad térmica vs tiempo, ladrillo cerámico lote 2	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos de la masa 1 y masa 2 de teja cerámica, en las localidades de Pifo, Amaguaña y Sangolquí.....	27
Tabla 2 Datos de la masa 1 y masa 2 de teja cerámica, en las localidades de Pifo, Amaguaña y Sangolquí.....	29
Tabla 3 Criterios de aceptación o rechazo de los lotes de inspección.....	35
Tabla 4 Dimensiones de ladrillos cerámicos en cm	35
Tabla 5 Requisitos de la resistencia mecánica y absorción de la humedad.	36
Tabla 6 Dimensiones de ladrillo cerámico para el ensayo a compresión.....	37
Tabla 7 Dimensiones de ladrillo cerámico para el ensayo a flexión.	38
Tabla 8 Dimensiones nominales de tejas cerámicas.	48
Tabla 9 Criterio de aceptación y rechazo de los lotes de inspección	49
Tabla 10 Resistencia a la flexión de las tejas	49
Tabla 11 Dimensiones para el ensayo a flexión de la teja sin recubrimiento	50
Tabla 12 Resultados obtenidos de cada muestra del ensayo de adsorción de humedad.	63
Tabla 13 Resultados del Análisis de cada lote % Humedad.	65
Tabla 14 Resultados obtenidos del ensayo de flexión Teja.	66
Tabla 15 Valores promedio por lote de la resistencia a la flexión.	67
Tabla 16 Resultado de ensayo térmico de teja cerámica Lote 1 Pifo.....	71
Tabla 17 Resultado de ensayo térmico de teja cerámica Lote 2 Amaguaña.	72
Tabla 18 Resultado de ensayo térmico de teja cerámica Lote 3 Sangolquí.	74
Tabla 19 Resultados de porcentaje de absorción de humedad de cada muestra de ladrillo cerámico de acuerdo a su ubicación.....	75

Tabla 20 Resultados de Promedio % Humedad de cada lote de ladrillo analizado.	77
Tabla 21 Resultados de ensayo de compresión de todas muestras ensayadas.	79
Tabla 22 Resultados promedio de la resistencia a la compresión de ladrillo cerámico de cada lote.....	81
Tabla 23 Resultados de resistencia a flexión de ladrillo cerámico de todas las muestras ensayadas	86
Tabla 24 Promedios de resultados de resistencia a la flexión de ladrillo cerámico de cada lote ensayada....	88
Tabla 25 Resultado de Ensayo Térmico de Ladrillo Cerámico Lote 1 Pifo	93
Tabla 26 Resultado de Ensayo Térmico de Ladrillo Cerámico Lote 2 Amaguaña.	94
Tabla 27 Resultado de Ensayo Térmico de Ladrillo Cerámico Lote 3 Sangolquí.....	96

RESUMEN

El presente proyecto de titulación tiene como objetivo caracterizar física, mecánica y térmicamente los materiales de construcción para pared y techo en la Provincia de Pichincha, mediante ensayos destructivos y no destructivos y así establecer datos referentes al sector de la construcción del Ecuador, y a su vez sea un aporte para el cambio de la matriz energética.

En la actualidad el Ecuador no consta con una normativa que regule la selección de materiales para la construcción, en términos de eficiencia energética de acuerdo a la zona meteorológica. Para alcanzar el objetivo planteado se han estudiado trabajos de investigación como; artículos de revista, artículos científicos, normas nacionales y normas internacionales que tienen analogía con el cálculo de las propiedades térmicas y mecánicas que se realizan en el estudio. Los mismos permiten conjeturar que los resultados obtenidos se asemejan y cumplen con los requisitos del material establecidos por las normas INEN, ISO 8302 y NTE E0.080.

En principio se realizó la selección del muestreo de ladrillo y teja, fabricados en la Provincia de Pichincha en las localidades de Pifo, Amaguaña y Sangolquí. A su vez empezó por realizar ensayos físicos, mecánicos y térmicos en los correspondientes laboratorios. Como resultado de este trabajo de investigación se obtiene, las propiedades físicas, mecánicas y térmicas de materiales de construcción para pared en ladrillo y para techo en teja. Se analiza los resultados obtenidos mediante métodos estadísticos para determinar el valor medio de cada propiedad.

Finalmente al verificar que las muestras de ladrillo y teja por ser fabricadas de manera artesanal, constan de mala homogeneidad en sus dimensiones, los mismos que no todos las muestras cumplen con los requisitos de la norma INEN lo requiere, se incluye en esta investigación

recomendaciones por problemas colaterales que influyen en los resultados obtenidos y de esta forma contribuir al diseño de viviendas eficientes desde el punto de vista energético.

ABSTRACT

The objective of this titulation project is to physically, mechanically and thermally characterize the building materials in Pichincha province for construction and roofing through destructive and non-destructive tests and thus establish data regarding to Ecuador construction sector, and in turn be a contribution for change of energy matrix.

At present Ecuador does not have a regulation for selection of construction materials, in terms of energy efficiency according to meteorological zone. To reach the objective set, research works have been studied, such as journal articles, scientific articles, national and international standards that have analogy with the calculation of thermal and mechanical properties that are made in the present project; allowing conjecture that results obtained are similar and comply with the material requirements established by the INEN, ISO 8302 and NTE E0.080 standards.

In principle, the sampling brick and tile manufactured in Pichincha province was made in the towns of Pifo, Amaguaña and Sangolquí. Then began to perform physical, mechanical and thermal tests in the corresponding laboratories. As a result of this research work, we obtain the physical, mechanical and thermal properties of construction materials for brick walls and roof tiles. The results obtained are analyzed by statistical methods to determine the average value of each property.

Finally, verifying that the samples of brick and tile made by artisanal way, consist of poor homogeneity in their dimensions, the same ones that not all the samples meet the requirements of the INEN norm. this research includes recommendations for collateral problems that influence the results obtained and thus contribute to efficient housing design from the energy point of view.

INTRODUCCIÓN

Múltiples expertos destacan que en América Latina la eficiencia energética y las energías renovables, presentan un excelente potencial para disminuir los efectos negativos del consumo energético en continuo incremento, inducido por la evolución económica y por la transformación de las sociedades hacia los modelos más eficientes (Alomonte, Coviello, & Lutz, 2003). En las dos últimas décadas se ha debatido sobre las necesidades de enfatizar en la eficiencia energética y las energías renovables, implementándose en América Latina estrategias energéticas que no han obtenido el éxito esperado en la incorporación de estándares de calidad en el desarrollo sustentable.

Se estima que para el año 2050 el principal problema de la colectividad será sobre todo los recursos energéticos, como el déficit de energía. Actualmente el 36% de la población mundial, países miembros de la Unión Europea, tiene acceso al 80% de la energía eléctrica generada y el otro 20% es para ciertos sectores del tercer mundo, dejando así a más de 1.2 billones de personas sin acceso alguno Smalley (2003). En vista de que estas proyecciones se lograrían cambiar en el futuro, si se plantean cambios en el desarrollo de la producción de energía renovable, se conseguiría tener infraestructuras eficientes con emisión cero, ciudades ecológicas de gran eficiencia energética con bajas emisiones de carbono (Lund, 2015).

En la actualidad (Lloret, Eficiencia energética en edificaciones nuevas modelo de contrato por rendimiento energético., 2013) asegura que el 55% del consumo eléctrico nacional del Ecuador proviene de edificaciones, atribuye fundamentalmente que las causas de no obtener un rendimiento energético en edificaciones es porque muestran un desarrollo lento, a la hora de adoptar estrategias para evaluar la contribución del sector inmobiliario residencial y comercial hacia un sector sustentable. También se puede atribuir a factores que desestiman las exigencias

climáticas, culturales y tecnológicas. Además se puede evidenciar que en la actualidad una de las desmotivaciones de Arquitectos e Ingenieros en innovación y eficiencia energética es la baja remuneración del equipo técnico, los bajos costos de construcción inmobiliaria y la falta de apoyo de entidades privadas y públicas.

En Latinoamérica se han realizado varios congresos y seminarios en construcción sostenible: Brasil 2014, Colombia 2008, 2009, 2012 y INER 2016 mencionan que los factores más representativos han sido la implementación de regulaciones y políticas de investigación, educación, diseño de guías, estrategias y penalidades financieras. Así mismo en Barcelona España 2017 se acogió foro de Rehabilitación, Ahorro y Energía promovido y organizado por la Confederación Nacional de la Construcción (CNC) y el Clúster Mejores Edificios que sugieren la regeneración urbana, rehabilitación edificatoria, la calidad de la edificación y la eficiencia energética en la edificación tiene que ser de manera unificada. A su vez Ecuador cuenta con organizaciones que trabajan conjuntamente con el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), en la inclusión de normas y sistemas de evaluación de sustentabilidad en el sector inmobiliario. No obstante todavía no existe el conocimiento sobre el desarrollo sustentable en la construcción Ecuatoriana.

En la actualidad Ecuador no consta con una normativa alguna en la selección de materiales, que regule en términos de eficiencia energética el desempeño térmico en los diseños arquitectónicos de viviendas y edificaciones. El Instituto Nacional de Energías Renovables (INER) el presente año 2017 conjuntamente con el INEN están trabajando en la implementación de una normativa local que cumplan estándares de calidad, basando su estudio en normas internacionales como la ASHRAE 90.1-2007 (Energy Standard for Buildings). Por lo cual el INER proyecta tener una reglamentación térmica de viviendas, que presente una zonificación

especialmente diseñada para regular la aislación térmica de techos, pisos, paredes y variedad de ventanas para viviendas. Por este motivo se presenta la necesidad de realizar estudios donde se analice los materiales de mampostería y techos en la región Sierra (Pichincha), según la tipología de materiales de construcción y zona climatológica.

Por otra parte en el Ecuador se cita la falta de una normativa ecuatoriana, con respecto a la selección de materiales para la construcción de viviendas con respecto a la zona climática, por lo que se recurre a fuentes internacionales como la Norma Técnica Peruana de Edificación (NTE E0.80), que proyecta edificaciones de interés social y bajo costo que resistan las acciones sísmicas, evitando la posibilidad de colapso frágil de las mismas. En cuanto a normas nacionales se toma como referencia la norma técnica INEN 292: 1977 para el muestreo de ladrillos cerámicos, así como la norma INEN 297 que tiene por presenta los requisitos fundamentales de los ladrillos cerámicos, enfatizamos en las normas INEN 294 y 295 que realizan la determinación de la resistencia a la compresión y flexión respectivamente.

En la actualidad, se busca con más frecuencia que la selección de materiales para la construcción en las viviendas del Ecuador exista una normativa consultivas propia y no fundamentar la selección en normas internacionales, para construir la base teórica y metodológica de los ensayos que se realizan en este proyecto, se ha consultado libros, artículos científicos, normas, tanto en el ámbito nacional como internacional. Inicialmente se ha investigado información de referencia para precisar las propiedades mecánicas y térmicas. Consecutivamente se van estudiar textos concernientes con el procedimiento que debe seguir en los ensayos de resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, resistencia a la flexión y conductividad térmica.

En cuanto a la base teórica se va a considerar el libro Principio de transferencia de calor y de masa de Frank P. Incropera (2007) que define propiedades como la conductividad térmica y el calor específico de diversos materiales. Así como el libro “Termodinámica” de Yanus A. Cengel (2014) que también contribuye al actual proyecto con conceptos de propiedades como conductividad térmica y calor específico. Con respecto a la resistencia a la compresión y a la flexión en el libro Resistencia de materiales de Pérez (1992) se muestra el concepto de los contenidos de propiedades y aplicaciones de ensayos de materiales como el de compresión, flexión y tracción.

Con respecto a proyectos de titulación a nivel internacional, es transcendental mencionar la investigación “Propiedades térmicas en los materiales de la arquitectura vernácula”, realizado por (Montero, 2012), donde hace mención a las propiedades térmicas de materiales vernáculos en la Zona de México Central tales como muros, techos y pisos, enfatiza que las propiedades térmicas inciden en los cambios del interior de las viviendas, hacen que mejoren los aspectos de confort. A su vez en la investigación realizada por García y Gómez (2012), “Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería” presentan resultados de evaluar las propiedades mecánicas de los ladrillos macizos cerámicos fabricados a mano, haciendo constancia en la utilización de la norma técnica Colombiana NTC-4017 [16],

Como referencias de proyecto de titulación a nivel nacional, es importante mencionar al trabajo “Análisis de las características de edificaciones empleando materiales vernáculos en la región sierra del Ecuador” elaborado por (Yepez, 2012), en donde se analiza los materiales vernáculos más comúnmente empleados en viviendas de las regiones Sierra y Costa del Ecuador tales como; adobe, tapial, bahareque y guadua. También se puede mencionar al proyecto “Caracterización física, mecánica y térmica de materiales vernáculos de la región sierra del

Ecuador” realizado por (Guerra, 2015), en donde se caracteriza física, mecánica y térmicamente a materiales vernáculos de la región Sierra del Ecuador, determina las magnitudes de densidad, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, conductividad térmica y calor específico de tejas y adobes elaborados artesanalmente en las provincias de Pichincha, Imbabura y Cotopaxi.

Referenciando a artículos científicos en Ecuador se tiene (Lloret, Eficiencia energética en edificaciones nuevas modelo de contrato por rendimiento energético, 2013) argumenta que la demanda de energía en el sector de la construcción destinada al uso residencial y comercial ha aumentado sostenidamente desde 1998 y continuará haciéndolo como consecuencia del crecimiento del sector inmobiliario. Esto ha ocasionado que en la actualidad, el 55% del consumo eléctrico nacional provenga de la construcción de edificaciones nuevas surge entonces la necesidad de desarrollar un modelo de negocio que permita mejorar el rendimiento energético en las edificaciones.

La línea de investigación que se realizará se apoya en las normas establecidas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), conjuntamente con la norma internacional ASHRAE 90.1-2007 (Energy Standard for Buildings). El estudio se realizará a partir de muestras de materiales de construcción de vivienda producidos artesanalmente en Ecuador como el ladrillo y teja. Mediante análisis estadístico se determinará el valor medio, la desviación estándar y el intervalo de confianza involucrada en la metodología utilizada, se presentará valores que faciliten el criterio de selección en materiales brindando mejor confort energético para la sociedad.

El presente proyecto va a proporcionar valores puntuales de las características mecánicas y térmicas de los materiales de construcción, originando diversos criterios en la selección de materiales, evitando utilizar materia prima innecesaria para de esta forma obtener una reducción de costos redundantes, produciendo efectos colaterales como la reducción de gases de efecto

invernadero y proporcionar pautas para utilizar el material adecuado en las viviendas y así limitar el uso excesivo de energía. Dicho lo anterior se podrá aprovechar la eficiencia energética que promueve el medio, además aportar con datos técnicos al INER y así ser promotores en la creación de una norma ecuatoriana en la selección adecuada de materiales de construcción y finalmente obtener mejor confort de habitabilidad.

Adicionalmente los resultados obtenidos se someterán a un análisis estadístico para determinar el valor medio de resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y conductividad térmica de materiales como ladrillo cerámico, teja cerámica. Al mismo tiempo indicar cuál es el material idóneo con mejor capacidad de resistencia física, mecánica y térmica y de esta manera obtener el máximo beneficio energético con el fin de contribuir al desarrollo de la construcción de viviendas a nivel social, lo cual beneficiará directamente al sector de la población más necesitada del Ecuador.

El presente proyecto se ha creado para promover datos que sean de beneficio al Instituto Nacional de Energías Renovables (INER) y la comunidad, de esta manera poder aportar datos relevantes que justifiquen la selección de los materiales de construcción en la región Sierra, por otra parte con los resultados logrados contribuir en la implementación de normar la selección de materiales en la construcción de viviendas en el Ecuador. Además este proyecto se va a comparar los resultados mecánicos y térmicos de los materiales en las distintas zonas de fabricación y así llegar a la conclusión de cuál es la localidad que expende el material idóneo y de mejor calidad de acuerdo al estudio realizado.

Otro principio está basado en la problemática que presenta el medio nacional y en los datos estadísticos que presenta Latinoamérica, en este proyecto se plantea hacer un estudio de las características mecánicas y térmicas de materiales más usados en Ecuador, en la construcción de

paredes y cubiertas de una vivienda de esta forma se utiliza una metodología experimental para la conductividad térmica ladrillo, conductividad térmica de la teja, resistencia a la compresión del ladrillo, resistencia a la flexión del ladrillo, resistencia a la flexión de la teja, capacidad de adsorción de humedad del ladrillo y teja. En una zona climática específica del Ecuador (Pichincha). Mediante ensayos destructivos y la comparación estadística, para proponer mejoras cuantitativas a los productores para que repotencien el desempeño energético de las viviendas. Se consideran la región: Sierra (Pichincha).

El objetivo de este presente trabajo investigativo es caracterizar térmica y mecánicamente los materiales de construcción para pared y techo, mediante ensayos destructivos y no destructivos para establecer datos referentes al sector de la construcción de la región Sierra del Ecuador.

Las propiedades que se van evaluar, son de diferentes materiales, clasificándolos en material para pared como: ladrillo cerámico; y material para techo como: teja cerámica. Con el propósito de mejorar el confort térmico de las personas en torno a los materiales usados en la construcción de edificaciones. Por otra parte aprovechar la eficiencia energética que promueve el medio y así reducir parte de la contaminación que se produce los factores asociados al sector de la construcción y al lugar donde se extraen dichos materiales utilizados en la región Sierra. Estableciendo una metodología que permita la caracterización de dichas propiedades para los materiales ya mencionados.

MÉTODO

Para comenzar en esta investigación, las tácticas metodológicas a seguir tiene el propósito de normalizar y caracterizar los materiales de construcción como; ladrillo cerámico y teja cerámica, elaborados en la Provincia de Pichincha, así como también que cumplan los requisitos de propiedades mecánicas y térmicas establecidos por las normas INEN.

Se clasifica como una investigación aplicada, puesto que incluye conocimientos de la asignatura de mecánica de materiales. Haciendo hincapié en la propiedades de materiales, como son los ensayos mecánicos y térmicos para caracterizar el ladrillo y teja artesanal.

El análisis de la investigación se desarrolla básicamente en un campo de conocimientos científicos, cuyos resultados van a ser adquiridos metódicamente, con pautas precisas y explícitas proporcionadas por las normas INEN.

El tipo de lógica empleado en la investigación a utilizar es práctico, debido a que la investigación trata de la caracterización de ladrillo cerámico y teja cerámica; se va a fundamentar principalmente en teorías y ensayos que se verificaran para determinar la investigación.

El presente proyecto de investigación tiene como medida fundamental puntualizar el universo de estudio que está compuesto por tres ladrilleras y tejerías artesanales que realizan sus productos en la Provincia de Pichincha y sus diferentes comunidades, lo cual otorgará conocer de forma detallada si los mismos cumplen con los requisitos establecidos en la normas INEN.

El procedimiento para seleccionar cada muestra por lote, se lo realiza de manera aleatoria INEN 292; 2015, cuando cada elemento del lote tiene la misma probabilidad de ser representado en la muestra. Cabe mencionar que la extracción de las muestras se establecerá por convenio entre distribuidor y consumidor.

Para abordar en la metodología utilizada en los ensayos físico, mecánicos y térmicos que constituye la base de la investigación, es necesario establecer los estudios necesarios que se van a realizar a los dos materiales, otro factor fundamental es dimensionar las muestras según lo acuerdan las normas seleccionadas, así mismo verificar el número de lotes a ensayar de cada material de acuerdo a lo que establezca la norma requerida, finalmente se indaga en proyectos de titulación, o artículos científicos que sean relevantes relacionados con materiales de construcción de ladrillo y teja, en cuanto a resistencia a la tracción, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, conductividad térmica y resistencia térmica.

La información técnica de los equipos utilizados se encuentra en el Anexo A.

Preparación de las Muestras para los Ensayos

Las acciones iniciales para la preparación de las muestras de ladrillo y teja se muestran a continuación.

Se consideran tres lotes de diferente localización con 5 muestras cada uno de acuerdo a la tabla 1 de la NTE INEN 292, por conveniencia de la investigación se consideró tres lotes con cinco muestras cada uno. Primeramente procedemos a secar las muestras en el horno eléctrico de desecación o estufa eléctrica MEMMERT a una temperatura convenida de 110°C, hasta que el peso sea relativamente constante. Según la norma INEN 296 se especifica que se debe obtener una masa constante. Posteriormente se procede a secar tres lotes diferentes en condiciones naturales al ambiente, con la finalidad de realizar la comparación estadística de los resultados de los ensayos del ladrillo, teja y de esta manera analizar si la variación del porcentaje de absorción humedad influye en los resultados de los ensayos mecánicos.

Se recomienda que las muestras estén libres de partículas sueltas en la superficie y es fundamental preservar la integridad de las aristas y los vértices de las probetas.

Metodología para los Ensayos Físico-Químicos

A continuación se muestra el método empleado para el ensayo de absorción de humedad para al ladrillo y la teja respectivamente.

Ensayo de absorción de humedad NTE INEN 296.

Según la norma se debe realizar la determinación de las masas de la muestra de ladrillo y teja antes y después de ser sumergidas en agua, en este caso se debe existir una diferencia entre las dos masas como base para conocer el valor de la absorción de humedad.

Adicionalmente se debe realizar una muestra de 5 probetas con dimensiones definidas NTE INEN 317, en este caso el número de muestras a ensayar consiste en la condición de la tabla 1 de la NTE INEN 292, para obtención del ensayo las muestras se deben desecar en un estufa a 110°C hasta obtener una masa constante. Posteriormente se enfrían a la temperatura ambiente y se vuelven a pesar. Finalmente si se observa que no existe un aumento de masa mayor del 1% se pondera en repetir la operación.

Para la selección de las probetas (ver figura 1), se verifico que las muestras estén libres de partículas sueltas en la superficie, las aristas y que los vértices estén en sin deterioros visibles, porque influye como y donde se va producir la falla, ya sea longitudinal o transversal.



Figura 1. Muestreo de tejas, ladrillos libres de partículas y deterioros.



Figura 2. Recopilación de datos “masa”.

En la figura 2, se ilustra la recopilación de datos de la masa de ladrillo cerámico, teja cerámica.

En el Anexo E, se muestra el procedimiento de este ensayo, para el acondicionamiento de las muestras según la norma INEN 294 numeral 5.2.

Una vez acondicionadas las muestras y registrada su masa constante, se procede a sumergirlas en un recipiente (figura 3) con agua destilada a una temperatura de 15°C a 30°C durante 24 horas. Al sacar las muestras del agua, secarlas con una toalla húmeda antes de pesarlas. Se debe tomar el peso de cada muestra después de cinco minutos de haber sido sacadas del agua.



Figura 3. Probetas de ladrillo sumergidas en agua.

En la figura 3 se ilustra la inmersión de las probetas para el ensayo de capacidad de absorción de humedad.

Una vez terminado el tiempo normalizado, quedan listas las muestras, se calculó la absorción de cada muestra expresada en porcentaje, se procede a calcular con la ecuación 1.

$$\text{Absorción \%} = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \times 100 \quad (1)$$

Donde

- P_1 Es la masa de la muestra desecada.
- P_2 Es la masa de la muestra después de 24 horas de haber sido sumergida.

Para el muestreo de la teja, se toma como a la norma INEN 989 para la teja, la cual consiste en calcular el porcentaje de humedad a cinco probetas enteras o 3 fragmentadas, que sean representativas de cada una de las 5 muestras. La masa de cada muestra no debe ser menor de 250g. De esta forma se tiene las muestras necesarias para el ensayo.

Determinación de la absorción de humedad.

La absorción de la humedad es la capacidad del material para absorber humedad del entorno (aire, agua). El grado de absorción de humedad depende del tipo de plástico, material y de las condiciones del entorno como son la temperatura, humedad y el tiempo de contacto. (Verduch, 1975).

La masa correspondiente a cada probeta se determina con una balanza electrónica (Ver figura 4). Inicialmente se registra los datos del peso de cada muestra (Masa1), antes de ser ensayados y finalmente se registra el peso (Masa2) obtenida después del ensayo. Conjuntamente se procede a tabular los datos según el Lote que corresponda.



Figura 1. Balanza electrónica Camry, con capacidad máxima de 6000g,

A continuación se muestra los datos obtenidos del peso de cada muestra de ladrillo y teja.

Base de datos para determinar la absorción de humedad de la teja cerámica.

En la Tabla 1, se presentan las muestras en las diferentes localidades estudiadas, con sus respectivos lotes, la masa1 antes de ser sumergida en el agua y finalmente la masa2 cuyos datos son tomados después de 24h.

Tabla 1

Datos de la masa 1 y masa 2 de teja cerámica, en las localidades de Pifo, Amaguaña y Sangolquí.

Localidad	Lote	Muestra	Masa1 (g)	Masa2 (g)
PIFO	Lote 1 21°C	1HTL1	290,0	360,0
		2HTL1	330,0	380,0
		3HTL1	290,0	330,0
		4HTL1	320,0	380,0
		5HTL1	325,0	350,0
	Lote 2 21°C	1HTL2	440,0	520,0
		2HTL2	280,0	320,0
		3HTL2	200,0	240,0
		4HTL2	410,0	490,0
		5HTL2	410,0	470,0
	Lote 3 21°C	1HTL3	470,0	550,0
		2HTL3	360,0	420,0
		3HTL3	490,0	580,0
		4HTL3	360,0	420,0
		5HTL3	330,0	560,0

AMAGUAÑA	Lote 4 18°C	1HTL4	220,0	260,0
		2HTL4	210,0	260,0
		3HTL4	220,0	270,0
		4HTL4	400,0	440,0
		5HTL4	400,0	470,0
	Lote 5 18°C	1HTL5	280,0	400,0
		2HTL5	370,0	460,0
		3HTL5	250,0	300,0
		4HTL5	390,0	440,0
		5HTL5	440,0	390,0
	Lote 6 18°C	1HTL6	290,0	360,0
		2HTL6	380,0	480,0
		3HTL6	260,0	320,0
		4HTL6	360,0	440,0
		5HTL6	380,0	420,0
SANGOLQUÍ	Lote 7 110°C	1HTL7	299,8	360,0
		2HTL7	443,7	520,0
		3HTL7	390,4	460,0
		4HTL7	347,1	450,0
		5HTL7	336,8	380,0
	Lote 8 110°C	1HTL8	399,8	460,0
		2HTL8	423,7	520,0
		3HTL8	385,4	420,0
		4HTL8	357,1	370,0
		5HTL8	346,8	390,0
	Lote 9 110°C	1HTL9	410,8	450,2
		2HTL9	413,7	463,5
		3HTL9	395,4	450,6
		4HTL9	367,1	440,2
		5HTL9	356,8	420,2

Base de datos para determinar la absorción de humedad Ladrillo cerámico.

En la Tabla 2, se presentan las muestras en las diferentes localidades estudiadas, con sus respectivos lotes, la masa1 antes de ser sumergida en el agua y finalmente la masa2 cuyos datos son tomados después de 24h.

Tabla 2

Datos de la masa 1 y masa 2 de teja cerámica, en las localidades de Pifo, Amaguaña y Sangolquí.

Localidad	Lote	Muestra	Masa1 (g)	Masa2 (g)
PIFO	Lote 1 21°C	1HL1	2700,0	3110,0
		2HL1	2850,0	3260,0
		3HL1	2710,0	3140,0
		4HL1	2750,0	3170,0
		5HL1	2765,0	3130,0
	Lote 2 21°C	1HL2	2890,0	3700,0
		2HL2	2670,0	3440,0
		3HL2	2980,0	3870,0
		4HL2	2720,0	3460,0
		5HL2	1990,0	2590,0
	Lote 3 21°C	1HL3	2860,0	3510,0
		2HL3	2730,0	3280,0
		3HL3	2750,0	3320,0
		4HL3	2760,0	3280,0
		5HL3	2725,0	3320,0
AMAGUAÑA	Lote 4 18°C	1HL1	2580,0	3110,0
		3HL1	2700,0	3240,0
		4HL1	2585,0	3070,0
		5HL1	2765,0	3410,0
	Lote 5 18°C	1HL2	2540,0	3700,0
		2HL2	2680,0	3460,0
		3HL2	2880,0	3680,0
		4HL2	2690,0	3440,0
		5HL2	1990,0	2585,0
	Lote 6 18°C	1HL3	2820,0	3510,0
		2HL3	2560,0	3280,0
		3HL3	2680,0	3320,0
		4HL3	2890,0	3520,0
		5HL3	2755,0	3350,0
	SANGOLQUÍ	Lote 7 110°C	1LHL1	2556,6
2LHL1			2555,2	3430,0
3LHL1			2554,2	3320,0
4LHL1			2558,8	3260,0
5LHL1			2455,5	3080,0

SANGOLQUÍ	Lote 8 110°C	1LHL3	2566,6	3320,0
		2LHL2	2655,2	3410,0
		3LHL2	2544,2	3300,0
		4LHL2	2448,8	3160,0
		5LHL2	2444,5	3110,0
	Lote 9 110°C	1LHL3	2456,6	3160,0
		2LHL3	2455,2	3130,0
		3LHL3	2454,2	3120,0
		4LHL3	2458,6	3160,0
		5LHL3	2355,6	3010,0

Metodología para los Ensayos Mecánicos

Los ensayos mecánicos consisten en la aplicación de una carga, proporcionada por la maquina electro-hidráulica universal con una fuerza máxima de 600 KN. La aplicación de la carga está dada en relación al ensayo que va a ser aplicado.

A continuación se muestra la metodología aplicada en cuanto al ensayo de compresión y flexión.

Resistencia a la compresión.

En primera instancia para proceder a realizar el ensayo de compresión es necesario conocer que la resistencia a la compresión de un material viene a ser el máximo esfuerzo, cuando se aplica una fuerza normal a determinada superficie de este, creando una deformación formada por una contracción longitudinal y un ensanchamiento transversal.

Este método constituye uno de los ensayos más comunes para determinar la calidad de elementos de mampostería en la construcción. Según (Crouch, Brogdon, Henderson, & Lanham), ratifican que como principio fundamental para la caracterización de materiales de construcción es iniciar con las de propiedades mecánicas, como base de su investigación hacen constancia en la investigación de propiedades mecánicas del ladrillo artesanal.

Con relación a Ecuador no existe constancia de una norma específica de mampostería artesanal, de esta manera no se cuenta con una norma estándar, sin embargo en los registros ecuatorianos de normalización INEN existen documentos que hacen referencia o están relacionados con el tema de investigación. De esta manera se toma como referencia a la normativa de ladrillos cerámicos. Adicionalmente Siavichay y Narváez realizaron una investigación acerca del adobe en la ciudad de Cuenca que toman como referencia la normativa de ladrillos cerámicos para caracterizar mecánicamente el adobe, así también como existen la normativa Peruana NTE E.080 que caracteriza mecánicamente al ladrillo artesanal la cual asemeja su procedimiento a la norma INEN 294.

Resistencia a la flexión.

Para caracterizar mecánicamente a los materiales de construcción es necesario tener presente que la resistencia a la flexión se basa en la aplicación de una carga vertical progresiva establecida sobre una muestra ubicada horizontalmente sobre dos apoyos separados en cada extremo, y así de esta forma llegar hasta la rotura de la muestra. Normalmente se usa para materiales frágiles según Ruiz Miguel y Díaz Elena (2003).

No obstante la norma ASTM C293, estipula que la carga que se aplica en el centro de luz o punto medio, tendrá un módulo de rotura mayor que en caso de la carga en los puntos tercios. A la vez la tensión máxima sólo se dará en el centro de la viga o muestra ensayada.

Diagrama esquemático apropiado para el ensayo de flexión por el método de carga en el centro de luz.

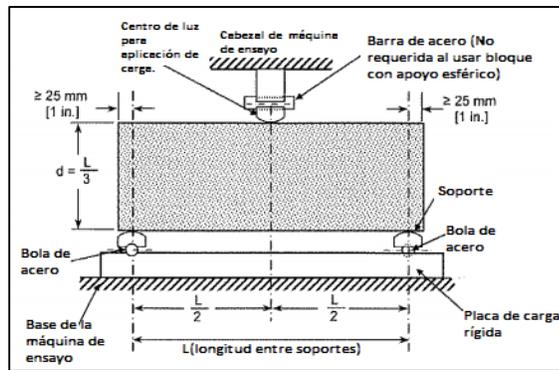


Figura 2. Esquema apropiado para el ensayo de flexión, por el método de carga en el centro de luz

Fuente: Norma Técnica Guatemalteca NTG 41017

La resistencia a la flexión viene a ser el esfuerzo necesario para romper una muestra en un ensayo de flexión que comúnmente se lo conoce como módulo de rotura.

Los materiales a ensayar en esta investigación se muestran a continuación.

Ladrillo cerámico artesanal.

Es un material utilizado en la edificación, fabricado de arcilla o tierra arcillosa, a veces con adición de otros materiales, de suficiente plasticidad o consistencia para que puedan tomar forma permanente y secarse sin presentar grietas, nódulos o imperfecciones. Se elaboran por el procedimiento de cocción al rojo, a una temperatura mínima de 800°C. Una vez cocidos, deben tener una masa homogénea de resistencia uniforme. Usualmente tienen un color rojizo y, cuando se somete a prueba de impacto con un material duro, este debe emitir un sonido metálico. Se muestra las diferentes partes que compone el ladrillo cerámico.

Aristas

- Soga: arista mayor
- Tizón: arista media
- Grueso: arista menor

Caras

- Tabla: cara mayor
- Canto: cara media
- Testa: cara menor

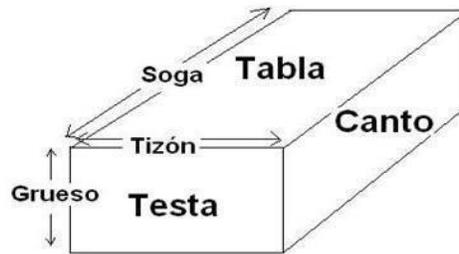


Figura 3. Partes de ladrillo cerámico, fuente: EDEFER, 2017.

En la figura 3, se muestra las diferentes partes del ladrillo cerámico artesanal: el canto (la parte larga), la testa (la parte corta) y la tabla (la base superior).

El ladrillo artesanal elaborado en las Parroquias de Pifo, Amaguaña y Cantón de Sangolquí, cumplen con los requisitos característicos de la investigación que deben poseer los ladrillos cerámicos (artesanal), son fabricados de arcilla moldeada y cocida de formado paralelepípedo o prisma regular, que se emplea en la construcción.

La Parroquia de Pifo se ubica en el extremo nororiental del Distrito Metropolitano de Quito, latitud: 0° 13'60 S, longitud: 78° 19'60 W, altitud: 2770 m. La parroquia de Amaguaña se encuentra al sur oriente del Distrito Metropolitano de Quito, al sur del Valle de los Chillos, junto a la carretera panamericana sur del Ecuador, latitud: -0,35, longitud: -78,48, altitud: 2683 m sobre el nivel del mar. Sangolquí es una ciudad que pertenece a la Provincia de Pichincha ubicada dentro del valle de los Chillos con latitud: -0,33, longitud: -78,45, altitud: 2500 msnm.

El procedimiento para seleccionar cada muestra por lote, se lo realiza de manera aleatoria INEN 292; 2015, cuando cada elemento del lote tiene la misma probabilidad de ser representado en la muestra. Cabe mencionar que la extracción de las muestras se establecerá por convenio entre distribuidor y consumidor. Una vez identificado el muestreo debe codificar apropiadamente para su identificación, preservar la superficie de la muestra verificando que la marca no ocupe más del 5% del área total de la superficie (Anexo 3).

Los criterios de aceptación o rechazo de los lotes de inspección, vienen a establecer el número de unidades de muestreo por lote, que debe ser conforme a la tabla 3, que muestra los criterios de aceptación o rechazo de los lotes de inspección.

En esta investigación se utiliza criterios de aceptación y rechazo para la selección de lotes de ladrillo. Previamente cuando el número de unidades defectuosas de la muestra sea igual al número de aceptación de la tabla 3, el lote en cuestión será aceptado. Así como también el número de unidades defectuosas de la muestra sea mayor o igual que el número de rechazo R_{e1} de la tabla 19, el lote será rechazado. También se recomienda analizar cuando el número de unidades defectuosas de la muestra se encuentre entre el número de aceptación A_{C1} y el número de rechazo R_{e2} , se tomará una segunda muestra del mismo tamaño que la inicial y se realizarán aquellas pruebas en las que, al ensayarse la primera muestra se hayan presentado ladrillos imperfectos. También una opción es verificar las unidades defectuosas encontradas en la muestra inicial u en la segunda de reensayo deberán sumarse. En último lugar, si el número total de unidades defectuosas es igual o menor que el número de aceptación A_{C2} , el lote en cuestión será aceptado.

Tabla 3

Criterios de aceptación o rechazo de los lotes de inspección.

Tamaño del lote	Unidades de muestreo	Ac1	Re1	Ac2	Re2
Hasta 35000	5	0	2	1	2
Mayor que 35000	8	0	3	3	4

Fuente: (INEN 292, 1977)

En la tabla 3 se muestran los criterios de aceptación o rechazo de los lotes de inspección según (INEN 292, 1977).

Según INEN 297 los ladrillos cerámicos se clasifican en macizos y huecos. De este modo los ladrillos macizos existen tres tipos diferentes: tipo A, Tipo B y Tipo C. Siendo de tipo A un ladrillo reprensado, de color rojizo uniforme, con ángulos rectos y aristas rectas. Así como también el de Tipo B es un ladrillo de máquina, de color rojizo con ángulos rectos y aristas rectas. Y finalmente el tipo C, viene a ser el que cumple con las dimensiones y tolerancia estipulada en la norma INEN 293 (Ver tabla 4), este ladrillo es semejante al de tipo B, diferenciándose que puede ser fabricado a mano y tener imperfecciones en sus cara exteriores así como también pueden existir variaciones de rectitud en sus aristas hasta de 8mm.

Tabla 4

Dimensiones de ladrillos cerámicos en cm

(1) Tipo de la ladrillo	(2) Largo L	(3) Ancho a	(4) Alto h
Común De máquina	39	19	9
	29	14	9
Represado	29	19	9
	29	14	9
	29	19	19
Hueco	29	19	14
	29	19	14
	29	19	9

Fuente: (INEN 293, 2014)

Cabe mencionar que por acuerdo entre proveedor y consumidor, se podrán fabricar y utilizarse ladrillos de un alto h igual a 7 cm. Sin embargo los ladrillos de un mismo tipo tienen margen de variación hasta un 4% de su dimensión total. INEN 293, numeral 4.3.4.

Para efecto de comparación es primordial tener de referencia datos de resistencia a la compresión y % absorción de humedad para un análisis comparativo entre los resultados obtenidos y los resultados expresados por la norma INEN 297.

Acorde a la clasificación dada, los ladrillos cerámicos deberán cumplir con los requisitos que se indican en la Tabla 5.

Tabla 5

Requisitos de la resistencia mecánica y absorción de la humedad.

TIPO DE LADRILLO	Resistencia mínima a la compresión Mpa		Resistencia mínima a la flexión Mpa	Absorción máxima de humedad %
	Promedio de 5 unidades	Individual	Promedio de 5 Unidades	Promedio de 5 Unidades
Macizo tipo A	25	20	4	16
Macizo tipo B	16	14	3	18
Macizo tipo C	8	6	2	25
Hueco tipo D	6	5	4	16
Hueco tipo E	4	4	3	18
Hueco tipo F	3	3	2	25

Fuente: (INEN 297, 1977)

Dimensiones de ladrillo cerámico para ensayos a compresión.

Tabla 6

Dimensiones de ladrillo cerámico para el ensayo a compresión.

Ubicación	N° de Lote	N° de Probeta Ladrillo	Codificación de la muestra	Tipo	Dimensiones (mm)		
					Ancho B (mm)	Largo L (mm)	Alto h (mm)
Pifo	Lote 1 23°C	1	1CL1	C	150,8	166,0	92,0
		2	2CL1	C	151,2	165,9	92,4
		3	3CL1	C	153,0	164,5	93,6
		4	4CL1	C	150,2	164,6	91,6
		5	5CL1	C	149,8	164,9	91,8
Amaguaña	Lote 2 23°C	1	1CL2	C	151,0	164,4	92,0
		2	2CL2	C	152,0	164,7	92,4
		3	3CL2	C	153,2	165,5	93,6
		4	4CL2	C	157,2	165,3	91,6
		5	5CL2	C	156,2	164,9	91,8
Sangolquí	Lote 3 23°C	1	1CL3	C	156,4	159,4	92,5
		2	2CL3	C	157,4	164,2	91,5
		3	3CL3	C	153,4	165,7	92,8
		4	4CL3	C	152,2	164,6	92,2
		5	5CL3	C	151,4	164,9	93,2
Pifo	Lote 4 110°C	1	1CL1	C	149,8	165,8	91,2
		2	2CL1	C	150,2	165,2	92,4
		3	3CL1	C	152,0	164,2	92,6
		4	4CL1	C	150,4	165,2	91,8
		5	5CL1	C	149,8	164,8	90,8
Amaguaña	Lote 5 110°C	1	1CL2	C	151,2	164,2	91,8
		2	2CL2	C	152,2	164,8	92,2
		3	3CL2	C	153,4	165,8	93,2
		4	4CL2	C	156,2	165,4	91,8
		5	5CL2	C	156,4	163,8	92,8
Sangolquí	Lote 6 110°C	1	1CL3	C	155,4	159,8	92,4
		2	2CL3	C	156,4	164,6	91,4
		3	3CL3	C	152,4	165,8	92,6
		4	4CL3	C	153,2	164,8	92,8
		5	5CL3	C	152,4	165,9	93,4

En la tabla 6, se muestran las respectivas dimensiones de cada muestra de ladrillo cerámico y la temperatura a la cual es sometido la muestra con su respectiva ubicación.

Dimensiones de ladrillo cerámico para ensayos a flexión.

Tabla 7

Dimensiones de ladrillo cerámico para el ensayo a flexión.

Ubicación	N° de Lote	N° de Probeta Ladrillo	Codificación de la muestra	Tipo	Dimensiones (mm)		
					Ancho B (mm)	Largo L (mm)	Alto h (mm)
Pifo	Lote 1 23°C	1	1LFL1	C	151,0	332,0	91,2
		2	2LFL1	C	152,8	331,8	89,8
		3	3LFL1	C	149,4	329,0	93,6
		4	4LFL1	C	151,0	329,2	90,4
		5	5LFL1	C	152,8	329,8	90,0
Amaguaña	Lote2 23°C	1	1LFL2	C	152,0	328,8	92,2
		2	2LFL2	C	149,8	329,4	90,0
		3	3LFL2	C	153,0	331,0	89,6
		4	4LFL2	C	154,0	330,5	92,2
		5	5LFL2	C	150,8	329,8	86,8
,Sangolquí	Lote 3 23°C	1	1LFL3	C	144,0	340,0	92,7
		2	2LFL3	C	137,0	332,0	89,0
		3	3LFL3	C	158,0	338,0	77,0
		4	4LFL3	C	160,0	345,0	78,0
		5	5LFL3	C	163,3	344,0	79,0
Pifo	Lote 4 110°C	1	1LFL1	C	151,2	331,2	90,4
		2	2LFL1	C	152,6	330,8	89,6
		3	3LFL1	C	151,4	329,8	91,6
		4	4LFL1	C	151,6	328,2	90,8
		5	5LFL1	C	151,8	328,8	89,8
Amaguaña	Lote 5 110°C	1	1LFL2	C	152,2	326,8	91,2
		2	2LFL2	C	149,4	328,4	90,0
		3	3LFL2	C	152,8	331,2	90,6
		4	4LFL2	C	15245	330,4	91,2
		5	5LFL2	C	151,8	326,8	88,8
Sangolquí	Lote 6 110°C	1	1LFL3	C	144,6	338,2	92,7
		2	2LFL3	C	138,2	332,4	89,0
		3	3LFL3	C	158,2	338,2	77,0
		4	4LFL3	C	159,8	346,2	78,0
		5	5LFL3	C	163,2	344,2	79,0

En la tabla 7, se muestran las respectivas dimensiones de cada una de las muestras de ladrillo cerámico y la temperatura a la cual es sometido la muestra con su respectiva ubicación.

Todos los datos obtenidos en la aplicación de carga a cada una de las muestras se van registrando de manera ordenada, conforme haya avanzado cada ensayo.

Con relación al número de lotes se eligió tres por acuerdo entre autor y tutor de la investigación, con 5 muestras en cada lote, tres medios de secado (ambiente 23°C, Laboratorio a 18°C y estufa a 110°C), de esta manera tendrá 5 muestras para cada ensayo mecánico. A conocimiento de los lectores ver Anexo 4, como se indica en la norma INEN 292.

Determinación de la resistencia a la compresión ladrillo cerámico.

A continuación se muestra la serie de pasos que se requiere para llegar a determinar el valor de resistencia a la compresión.

Tomando en consideración la norma INEN 294.

En este punto se aplica una carga progresiva de compresión a la muestra de ladrillo, hasta determinar su resistencia máxima admisible.

Como disposición específica la carga tiene que ser aplicada en la misma dirección en que las cargas o los pesos propios vayan a operar sobre él en las edificaciones, sin duda la dirección que se debe aplicar corresponderá a la menor dimensión del ladrillo.

Una vez familiarizado con la máquina provista de ensayos universales (figura 4), se verifica que el plato posea una rótula de segmento esférico, adicionalmente las superficies de contacto con los apoyos deben ser iguales o mayores que las muestras de prueba a ensayar.

**Características Técnicas**

Fuerza máxima: 600 KN
Espacio de columnas: 520mm
Máx. Espacio de prueba de tracción: 1000mm
Máx. Espacio de prueba de compresión: 1000mm

Figura 4. Máquina electro-hidráulica de ensayos universal para determinar la resistencia a la Compresión.

La preparación de las muestras consiste, en tener mitades de ladrillos con caras planas y paralelas, obtenidos de cinco ladrillos secos, enteros y sin defectos apreciables en las aristas de las probetas, cortadas mediante herramientas adecuadas (serrucho, sierra) para evitar que existan deterioros en vértices (figura 5).



Figura 5. Mitades de ladrillos Lote 1,2,3 respectivamente.

Si existe el caso, que las muestras presentan irregularidades de forma o sus caras tiene estrias o ranuras, se someteran al siguiente tratamiento:

- i. Colocar una capa compuesta por una mezcla que contenga azufre con arcilla, ceniza volcanica u otro material inerte (Cemento Pórtland), la proporción de la mezcla es 40 a 60% (en masa) respectivamente.
- ii. Identificar que el espesor de las dos capas deberá ser aproximadamente el mismo.
- iii. Visualizar que la muestra no tenga oquedades en la superficie.
- iv. Una vez aplicadas las capas en las dos superficies con la mezcla de cemento Pórtland (figura 6), se debe dejar fraguar durante 24 horas.



Figura 6. Recubrimiento de la capa de cemento Pórtland sobre las superficies de ladrillo con imperfecciones.

Posteriormente una vez las muestras se ensayan centrándolas con respecto a la rótula y de manera que la carga se aplique en la dirección de su menor dimensión (figura 7).

Aproximadamente hasta la mitad de la carga máxima probable, se aplica está a cualquier velocidad. La carga restante se aplica gradualmente, en un tiempo no inferior a un minuto ni superior a dos.

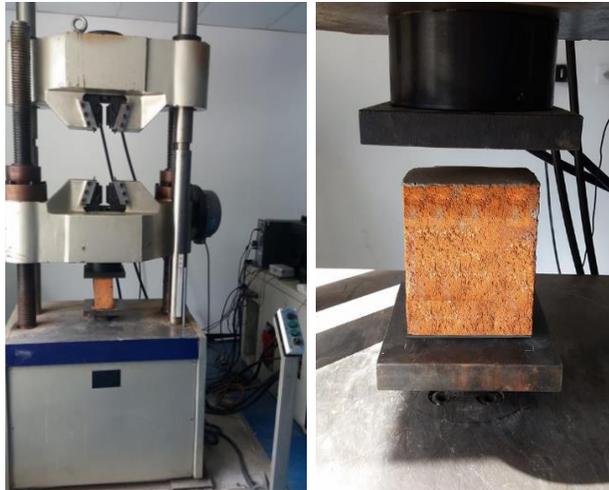


Figura 7. Mitad de ladrillo sometido a ensayo de resistencia a la compresión.

Tomando como punto de partida la ecuación teórica, se procede a analizar la resistencia a la compresión con la siguiente expresión.

$$C = \frac{P}{A} \quad (2)$$

Donde se considera que:

C = La resistencia a la compresión, en Megapascuales

P = La carga de rotura, en NÉwtones.

A = Área de sección en milímetros cuadrados.

Tomando como A , área de sección se considera a la ecuación:

$$A = a \times l \quad (3)$$

En donde:

a = Ancho de la muestra en milímetros

l = Longitud de la muestra (largo), en milímetro.

Finalmente la norma INEN (294, 1977), establece que los valores obtenidos de cinco muestras, el promedio representa la resistencia compresión del lote del ladrillo.

Determinación de la resistencia a la flexión ladrillo cerámico.

Preparación de las muestras.

Como disposición específica la preparación de las muestras está proporcionada por la norma NTE INEN (293, 1977), que consiste en tener ladrillos enteros con caras planas y paralelas, obtenidos de cinco ladrillos secos, enteros y sin defectos apreciables en las aristas de las probetas, adicionalmente si no se cumple las muestras tiene que ser ajustadas mediante herramientas adecuadas (lima, lija), simultáneamente evitando que se deterioren vértices (figura 8).



Figura 8. Ladrillos enteros codificados para ensayo de flexión.

En resumen, para caracterizar mecánicamente al ladrillo respecto a la flexión se considera la norma (NTE INEN 295, 1978), se basa en la aplicación de una carga progresiva de flexión a una muestra específica de ladrillos, hasta determinar su resistencia máxima admisible.

Metodología instrumental para ladrillo.

En este punto se puede emplear cualquier máquina empleada para el ensayo de flexión, considerándola siempre y cuando, los apoyos tengan una longitud por los menos igual al ancho de la muestra de prueba y asegure su contacto total y permanente con la misma.



Figura 9. Máquina universal usada para determinar la resistencia a la flexión.

En la figura 9, se muestra la posición correcta de la bancada, para posteriormente ser montada la muestra de ladrillo cerámico.

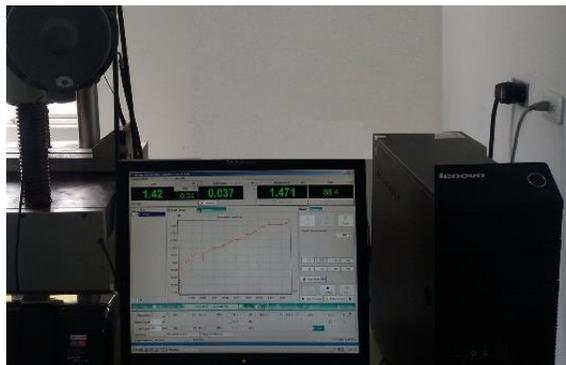


Figura 10. Máquina de ensayos universales Panel de Control.

En la figura 10, se muestra en pantalla como el software realiza la gráfica del compartimiento de la muestra al ser aplicada una fuerza hasta llegar a punto de rotura.

Procedimiento.

El primer paso es colocar el ladrillo de muestra con su cara mayor sobre los apoyos (figura 11), asegurando una separación de 15cm entre éstos. Adicionalmente se verifica que las tres líneas de contacto se mantendrán paralelas y posteriormente hace descender la pieza superior hasta obtener un contacto directo con la superficie en el centro de la luz.



Figura 11. Ladrillo con la cara mayor sobre los apoyos fijos.

Finalmente se aplica la carga hasta la rotura de la muestra. La velocidad de aplicación de la carga será tal que el cabezal de la máquina no avance más de 1,5 mm por minuto (figura 12).



Figura 12. Fractura del ladrillo debida a la carga aplicada

Cálculo.

Tomando como punto de partida el módulo de rotura se determina con la siguiente ecuación:

$$R = \frac{300 G l}{2 b d^2} \quad (4)$$

Donde se considera que:

R = Módulo de rotura, en Megapascuales

E = Carga de rotura, en Newtones.

I = Distancia entre apoyos en milímetros.

b = Ancho de cara a cara de la muestra, en milímetros.

d = Promedio del espesor de cara a cara de la muestra en milímetros.

Para la expresión de resultados, se toma a consideración la norma NTE INEN (295, 1977), establece que los valores obtenidos de cinco muestras, el promedio representa la resistencia compresión del lote del ladrillo.

Teja Cerámica Artesanal

La teja artesanal fabricada en Ecuador es una pieza acanalada o plana, de poco espesor, hecha de arcilla o tierra arcillosa, apropiadamente quemada a una temperatura no controlada. Específicamente se ha seleccionado tres parroquias diferentes situadas en la provincia de pichincha Pifo, Amaguaña y Sangolquí. Cabe mencionar que Gavilanes Cristian y Santellán Grace (2016) exponen que los ladrillos cerámicos son las piezas elaboradas básicamente para

cubrir los exteriores de techos, unidas de tal manera que reciban y dejen fluir el agua lluvia sin que penetre en su interior.

Clasificación de las tejas.

Según la norma (INEN 986, 1982), las tejas cerámicas se clasifican en dos grupos, las tejas curvadas y las tejas planas. Inicialmente se mencionó el estudio se lo realizara para tejas curvadas.

Se puede definir que una teja curvada tiene la forma acanalada en el sentido longitudinal, con una ligera reducción de su ancho a su extremo. En el Anexo 7 se ilustra la teja curvada.

Adicionalmente la teja plana tiene la forma de un paralelepípedo regular de espesor muy reducido en relación a sus demás dimensiones.

Se indica en la norma INEN (990,19822), que las tejas se clasifican en tipos de acuerdo a su forma y acabado. El tipo de teja que se ha seleccionado para la investigación es de tipo A. De este modo se presenta los tipos de teja que existen en el medio.

- Tipo A: Teja común curva
- Tipo B: Teja común plana
- Tipo C: Teja vidriada plana
- Tipo D: Teja vidriada plana

El procedimiento para seleccionar cada muestra por lote, se lo realiza de manera aleatoria INEN (987; 1982), cuando cada elemento del lote tiene la misma posibilidad de ser representado en la muestra.

Condiciones generales de las tejas.

Generalmente las tejas son elaboradas de arcilla o tierra arcillosa, inclusivamente tienen que tener la suficiente plasticidad y consistencia pura que puedan tomar forma permanente y secarse sin presentar grietas, nódulos o deformaciones en las superficies.

Prácticamente el procedimiento de fabricación de las tejas es el de cocción al rojo, a una temperatura mínima de 800°C. Una vez listas deben tener una masa homogénea de resistencia uniforme. En este punto se debe tener un color rojizo y, cuando se golpean con un material duro, deben emitir un sonido metálico.

Dimensiones y tolerancias.

La tabla 8, indica las medidas nominales apropiadas de las tejas curvada y plana con sus respectivas dimensiones y tolerancias convenidas por la norma indicada.

Tabla 8

Dimensiones nominales de tejas cerámicas.

Tipo/ Dimensiones	Teja curvada (cm)	Teja plana (cm)
Largo	44	44
Ancho	22	30
Espesor	1	1
Flecha de la curvatura	6	-

Fuente: (NTE INEN 986, 1982)

Cabe mencionar que las tejas deben ser uniformes, incluso las medidas proporcionadas tienen la potestad de no exceder sus dimensiones en un 4%. Inclusivamente por convenio entre el fabricante y el comprador podrán fabricarse tejas hasta una longitud de 60 cm, variando en

proporción en todas sus dimensiones. Adicionalmente las tejas suelen tener una capa de material impermeable que reduce la absorción de humedad.

Los criterios de aceptación o rechazo de los lotes de inspección, vienen a establecer el número de unidades de muestreo por lote, que debe ser conforme a la tabla 9.

Tabla 9

Criterio de aceptación y rechazo de los lotes de inspección

Tamaño del lote	Unidades de muestreo	Ac1	Rc2	Ac2	Rc2
De 10001	20	2	5	6	7
Hasta 35000	32	3	7	8	9
Más de 35000	50	5	9	12	13

Fuente: (NTE INEN 987, 1982)

Requisitos de teja cerámica.

Acorde a la clasificación dada, los ladrillos cerámicos deberán cumplir con los requisitos que se indican en la Tabla 10.

Tabla 10

Resistencia a la flexión de las tejas

Tipo de teja	Resistencia a la flexión, en kg/cm ²	
	Promedio de cinco tejas	Mínimo para una teja cualquiera
A	100	80
B	70	55
C	100	80
D	70	55

Fuente: (NTE INEN 990, 1982)

Base de datos para el control de dimensiones por lotes para ensayo a flexión teja.

Tabla 11

Dimensiones para el ensayo a flexión de la teja sin recubrimiento

Ubicación	Lote	N° De Probeta Ladrillo	Codificación de la muestra	Tipo	Dimensiones (mm)			
					Ancho B (mm)	Largo L (mm)	Flecha h (mm)	Espesor (mm)
Pifo	Lote 1 23°C	1	1TFL1	A	151,0	332,0	150,0	91,2
		2	2TFL1	A	152,8	331,8	150,0	89,8
		3	3TFL1	A	149,4	329,0	150,0	93,6
		4	4TFL1	A	151,0	329,2	150,0	90,4
		5	5TFL1	A	152,8	329,8	150,0	90,0
Amaguaña	Lote 2 110°C	1	1FTL2	A	152,0	328,8	150,0	92,2
		2	2FTL2	A	149,8	329,4	150,0	90,0
		3	3FTL2	A	153,0	331,0	150,0	89,6
		4	4FTL2	A	154,0	330,5	150,0	92,2
		5	5FTL2	A	150,8	329,8	150,0	86,8
Sangolquí	Lote 3 18°C	1	1TFL3	A	167,0	289,0	150,0	100,0
		2	2TFL3	A	168,0	393,0	150,0	109,0
		3	3TFL3	A	166,0	396,0	150,0	108,0
		4	4TFL3	A	171,0	390,0	150,0	100,0
		5	5TFL3	A	164,0	394,0	150,0	104,0

En la tabla 11, se muestran las respectivas dimensiones de cada una de las muestras de teja cerámica y la temperatura a la cual es sometido la muestra con su respectiva ubicación.

Todos los datos obtenidos en la aplicación de carga a cada una de las muestras se van registrando de manera ordenada, conforme haya avanzado cada ensayo.

Determinación de la resistencia a la flexión teja cerámico.***Preparación de las Muestras***

Inicialmente se especifica que se realizara el ensayo a tres lotes con cinco muestras cada lote. Primeramente se realizara el estudio a las muestras secadas al ambiente, seguido de un número de muestras secadas al sol y finalmente secadas en una estufa eléctrica.

Una vez preparada las muestras, procede a realizar la respectiva codificación y se tiene en consideración que las tejas originalmente serán secadas al ambiente (figura 13).

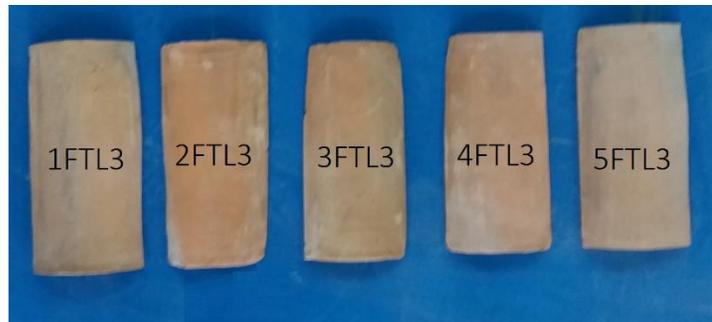


Figura 13. Propia. Muestra de 5 tejas secadas a temperatura ambiente Lote 3.

Posteriormente el ensayo consiste en cinco tejas enteras que se desecaran en estufa a 110°C durante 1 hora, luego se enfriarán, a continuación pesamos y volvemos a colocar en la estufa, repetimos este procedimiento hasta obtener masa constante. Finalmente se enfrían a temperatura ambiente y se volverán a pesar. Si no existe un aumento de masa mayor del 1%, la operación finaliza.

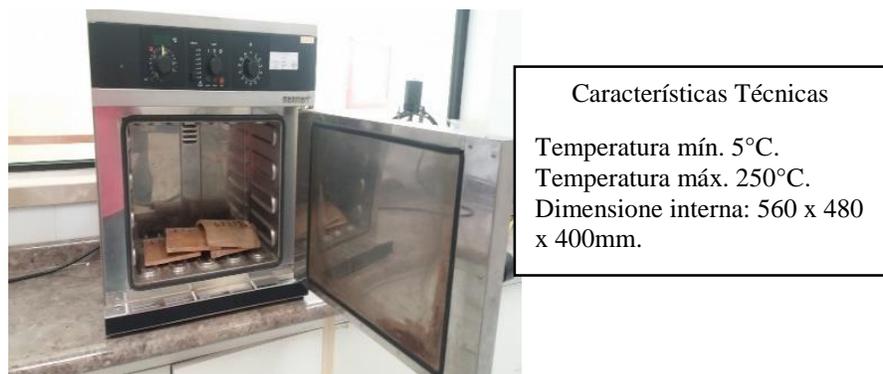


Figura 14. Muestras de teja en estufa eléctrica a 110°C.

En la figura 14, se muestra la estufa eléctrica con sus respectivas carteristas técnicas.

Una vez que tenga masa constante, preparar la muestra determinando el centro de la teja. Así mismo marcar un área de 60x60mm (figura 15), en la parte central de la superficie que se tomara como referencia en la colocación de un mortero que soporta la aplicación de la carga.



Figura 15. Teja cerámica con sección rectangular en superficie.

En resumen, para caracterizar mecánicamente la teja respecto a la flexión se considera la norma (NTE INEN 988, 1982), se basa en la aplicación de una carga vertical sobre una teja colocando horizontalmente sobre dos soportes separados hasta llegar a la rotura de la teja.

Considerando que las tejas no tienen dimensiones y formas constantes se implementa un soporte de madera.

Metodología Instrumental para la teja

Se operará una máquina de ensayos universales, apropiada para el ensayo de flexión con el respectivo acople de carga y dos apoyos fijos. Cabe mencionar que la bancada fija, tiene dos acoples forma cilíndrica y además las líneas de contacto deberán mantenerse perfectamente paralelas (Ver figura 16).



Figura 16. Bancada fija, con acoples cilíndricos en posición paralela.

Ubicamos la muestra de ensayo, con el lomo hacia arriba, centrada sobre cuatro puntos de apoyo, dos en cada extremo o boca. Verificar que los apoyos tengan una longitud por lo menos igual al ancho de la muestra de prueba y aseguren su contacto total y permanente con la misma (ver figura17).



Figura 17. Acople de madera sobre el lomo de la teja cerámica.

Colocar los dos soportes de cada extremo exactamente a 15 cm de la línea transversal del centro de la teja, dejando, por lo tanto, un espacio libre de 30 cm entre los apoyos (ver figura18).



Figura 18. Muestra de teja cerámica en posición paralela al acople de madera.

Aplicar la carga sobre la superficie preparada a la velocidad de 40 a 50 kg/min. (Máquina de ensayos universales con capacidad 600KN: apreciación 1mm).

La resistencia a la flexión de cada muestra está dada por la carga de rotura que indique la máquina.



Figura 19. Rotura de la muestra de teja cerámica a la aplicación de la carga máxima admisible.

En la figura 19, se muestra como la teja falla en su totalidad, después de haber sido aplicada la carga máxima admisible por la teja.

Se tomará como resultado la media aritmética de los valores obtenidos en las cinco muestras ensayadas, consignándose también los dos valores extremos.

Metodología para los Ensayos Térmicos

La metodología implementada para caracterizar térmicamente los materiales de construcción ladrillo cerámico y teja cerámica, se muestra a continuación los ensayos de conductividad térmica.

Como disposición de tutor de la investigación se llegó al acuerdo que el muestreo necesario para realizar un análisis comparativo de los materiales es recomendable, así mismo teniendo en cuenta que el costo de cada ensayo tiene un valor elevado. Especificando que por cada lote se realiza tres muestras de cada material, donde se debe considerar que los ensayos

tendrán un tiempo considerable de 8 horas cada uno. Adicionalmente nos familiarizamos no la máquina Thermal Conductivity Test Tool.

Inicialmente hay que tener presente que el equipo a utilizar se rige a la norma ISO 8302, Guarded Hot Plate (GHP) placa caliente resguardada. Igualmente toma como referencia diversos métodos que se basa en la norma ASTM C177, ASTM C518.

Conductividad Térmica

Frank P. Incropera, expone de forma implícita que la conductividad térmica describe el transporte de energía en forma de calor a través de un cuerpo con masa, dando como resultado de un gradiente de temperatura. Teniendo presente la segunda ley de la termodinámica, que el calor siempre fluye en la dirección de la temperatura más baja.

Así mismo la relación entre el calor que se transporta por unidad de tiempo y el gradiente de temperatura, a través de un área que por el cual fluye el calor perpendicularmente a un ritmo estacionario.

Metodología Instrumental para conductividad térmica

Interiormente la maquina opera a temperatura diferentes en la superficie de las placas de contacto con la probeta en el proceso.

El método de ensayo mide la conductividad térmica de un material k , a través de flujo de calor, que viene hacer la ley de conductividad que tiene tres mecanismos conducción, convección y radiación.

Así que este método busca que el calor fluya por la muestra a través únicamente de conducción unidireccional, entonces un método que mide calor o que proporciona calor,

adicionalmente se asegura que el flujo de calor de la muestra pase en una sola dirección, lo que viene a ser un modelo de una dimensión de calor por conducción.

$$k = \frac{\dot{Q} * d}{\Delta T * A} \quad (5)$$

$$Q = \frac{-K A * \Delta T}{d} \quad (6)$$

k: Coeficiente de conductividad térmica

A: Área de la muestra en contacto

d: Espesor de la pared

ΔT : Diferencial de temperatura.

Q: Flujo de calor.

Condición de conductividad térmica $k = 0.01$ a $1,00 \frac{W}{m K}$

El método lo que busca es que cumpla las condiciones de conductividad unidireccional del flujo de calor, en este caso originalmente se necesita generar calor en dos direcciones en igual magnitud, posteriormente tener una diferencia de temperaturas en las superficies,

La zona de guarda o zona de resguardo, viene a estar para los dos lados llenas el espacio entre los calentadores para que la temperatura sea igual que la temperatura de los alrededores, es decir una temperatura aproximada a las diferencia de temperaturas de la superficie de la muestra. A lo que se quiere llegar es que la temperatura de guarda no deje fluir temperatura en otras direcciones que no sea la dirección de la placa de muestra.

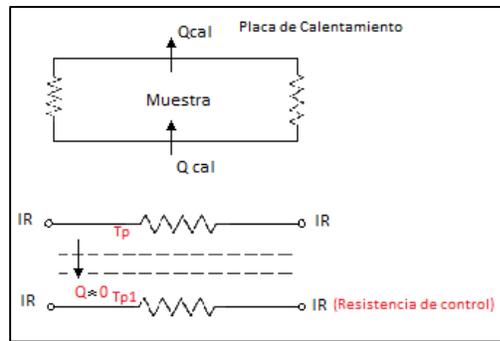


Figura 20. Esquema interno del equipo utilizado.

En la figura 20, se muestra el funcionamiento interno de la máquina Thermal Conductivity Test Tool, adicionalmente se visualiza cómo se comporta el flujo de calor a través de la muestra ensayada.

$T_p = T_{p1}$; Las temperaturas son estables.

T_{p1} , es ligeramente mayor que T_p

El equipo utilizado mide la conductividad térmica k , a través de la probeta fluye calor unidireccional, en una sola dirección y de forma uniforme. Adicionalmente se debe mencionar que el proceso es en estado estable para que el equipo pueda comenzar a medir calor y temperatura.

Metodología para determinación de la conductividad térmica del ladrillo cerámico.

Preparación de las Muestras

Como disposición específica la preparación de las muestras está proporcionada por la norma ISO 8302, Guarded Hot Plate (GHP), que detalla que las muestras tienen que tener caras planas, paralelas sin defectos apreciables en toda la superficie.

Inicialmente preparamos la muestra tomando las dimensiones establecidas por acuerdo que el laboratorio INER maneja. Cabe mencionar que las dimensiones establecidas son de 150

mm por 150 mm, con una variación no mayor de 5 mm así mismo el espesor tiene como medida no menor 10 mm, como medida óptima se recomienda 20mm.

Previamente se realiza un pre-acondicionamiento de la muestra, se mantiene en un área de temperatura y humedad controlada para que estén en estado estable, normalmente con un tiempo de 48 horas.



Figura 21. Laboratorio INER a temperatura y humedad controlada.

En la figura 21, se muestra el laboratorio INER de ensayos térmicos a temperatura y humedad controlado, ubicado en las instalaciones de la Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL.

Una vez acondicionado el material se procede a tomar medidas con ayuda de instrumento de exactitud (pie de rey 0.05mm de apreciación), así mismo se toma el peso de la muestra (ver figura 22)



Figura 22. Recepción de datos de masa de la teja cerámica.

Codificar cada muestra, para así tener constancia del número de probetas que se van a ensayar en el laboratorio. Este paso es impuesto por normas del laboratorio para tener registro del material ensayado en el laboratorio.

Se verifica que la muestra cumpla con dimensiones establecidas “tomar como mínimo 5 medidas para poder obtener una media aritmética”

Posteriormente se recubre la muestra de teja y ladrillo cerámico con plástico de polipropileno (ver figura 23).



Figura 23. Colocación de recubrimiento de plástico a muestra de teja, ladrillo cerámica.

Consecutivamente se recubre la superficie de la muestra con gel ultrasónico, para evitar que exista fugas o espacios de vacío que permitan perder calor en la superficie de las muestras (ver figura 24)



Figura 24. Colocación de gel ultrasónico en superficie de muestra.

En la figura 25, se muestra como colocar de manera correcta la probeta y así evitar que el equipo sufra deterioros en la superficie.



Figura 25. Colocación de la muestra en la posición provista.

En la figura 26, se visualiza que la muestra esta educadamente ubicada en el lugar específico de la máquina, de esta forma ayuda a mejorar la pauta que exige la norma a seguir.



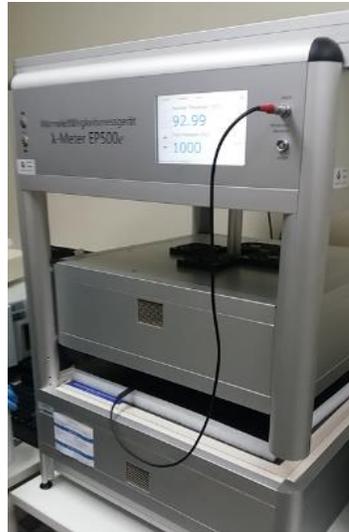
Figura 26. Muestra en posición educada según la norma ISO 8302.

Adicionalmente se coloca un molde sobre la muestra, establecido por la norma ISO 8302, que establece que la muestra debe estar recubierta por un material aislante que evite tener pérdidas de calor, de esta forma ayuda a que el calor fluya en una sola dirección (ver figura 27).



Figura 27. Colocación de molde de poliuretano.

Finalmente se programa el equipo, ingresando los datos como; dimensiones, porcentaje de humedad a la que está expuesta la muestra, temperatura del medio, el área de la muestra.



Características Técnicas

Rango de temperatura: 10°C a 40°C.

Zona de medición: 150x150mm.

Dimensiones del equipo:
63x63x83cm³

Figura 28. Guarded Hot Plate Apparatus λ -Meter EP500e, puesta en marcha

El equipo una vez se estabilice la temperatura media, la máquina se detendrá y un control inteligente del microprocesador proporcionará la medida del coeficiente de conductividad térmica y resistencia térmica.



Figura 29. Pantalla táctil del Monitor λ -Meter EP500e

En la figura 29, se muestra la pantalla táctil del monitor del equipo, con parámetros de temperatura, conductividad térmica y resistencia térmica en tiempo real.

RESULTADOS

En cuanto al análisis de resultados se va fundamentar en verificar cada valor obtenido en cada ensayo ejecutado, además se realiza un análisis individual con la norma NTE INEN que le corresponda y se descartan valores fuera del intervalo de confianza convenido. Una vez analizado individualmente cada valor se procede a obtener la media aritmética de cada propiedad con los valores restantes, lo cual representa el valor óptimo de la propiedad mecánica y térmica de cada material.

Teja Cerámica

Resultados del Ensayo de Capacidad de Absorción de Humedad.

En este punto se muestra los resultados obtenidos del ensayo de absorción de humedad, adicionalmente se calcula la media aritmética de cada lote. Los valores que se encuentran resaltados con amarillo son los que sobrepasan el valor máximo de absorción de humedad propuesto por la norma INEN297. Estos quedan descartados para el análisis posterior.

Tabla 12

Resultados obtenidos de cada muestra del ensayo de adsorción de humedad.

Muestra TEJA	Masa1 (Ambiente)	Masa Sumergida (24h)	%humedad	Humedad	Promedio por Lote %H
LOTE 1					
1HTL1	290,00	360,00	0,24	24,00	16,00
2HTL1	330,00	380,00	0,15	15,00	
3HTL1	290,00	330,00	0,14	14,00	
4HTL1	320,00	380,00	0,19	19,00	
5HTL1	325,00	350,00	0,08	8,00	

LOTE 2					
1HTL2	440,00	520,00	0,18	18,00	
2HTL2	280,00	320,00	0,14	14,00	17,40
3HTL2	200,00	240,00	0,20	20,00	
4HTL2	410,00	490,00	0,20	20,00	
5HTL2	410	470	0,15	15	
LOTE 3					
1HTL3	470,00	550,00	0,17	17,00	
2HTL3	360,00	420,00	0,17	17,00	27,80
3HTL3	490,00	580,00	0,18	18,00	
4HTL3	360,00	420,00	0,17	17,00	
5HTL3	330,00	560,00	0,70	70,00	
LOTE 4					
1HTL4	220,00	260,00	0,18	18,00	
2HTL4	210,00	260,00	0,24	24,00	18,60
3HTL4	220,00	270,00	0,23	23,00	
4HTL4	400,00	440,00	0,10	10,00	
5HTL4	400,00	470,00	0,18	18,00	
LOTE 5					
1HTL5	280,00	400,00	0,43	43,00	
2HTL5	370,00	460,00	0,24	24,00	17,80
3HTL5	250,00	300,00	0,20	20,00	
4HTL5	390,00	440,00	0,13	13,00	
5HTL5	440,00	390,00	-0,11	-11,00	
LOTE 6					
1HTL6	290,00	360,00	0,24	24,00	
2HTL6	380,00	480,00	0,26	26,00	21,20
3HTL6	260,00	320,00	0,23	23,00	
4HTL6	360,00	440,00	0,22	22,00	
5HTL6	380,00	420,00	0,11	11,00	
LOTE 7					
1HTL7	299,80	360,00	0,20	20,00	
2HTL7	443,70	520,00	0,17	17,00	19,60
3HTL7	390,40	460,00	0,18	18,00	
4HTL7	347,10	450,00	0,30	30,00	
5HTL7	336,80	380,00	0,13	13,00	
LOTE 8					
1HTL8	399,80	460,00	0,15	15,00	
2HTL8	423,70	520,00	0,23	23,00	12,60
3HTL8	385,40	420,00	0,09	9,00	
4HTL8	357,10	370,00	0,04	4,00	
5HTL8	346,80	390,00	0,12	12,00	

LOTE 9				
1HTL9	410,80	450,20	0,10	10,00
2HTL9	413,70	463,50	0,12	12,00
3HTL9	395,40	450,60	0,14	14,00
4HTL9	367,10	440,20	0,20	20,00
5HTL9	356,80	420,20	0,18	18,00

Como se muestra en la Tabla 12, el total de las probetas ensayadas de cada una de las localidades investigadas Pifo, Amaguaña y Sangolquí, en la localidad de Pifo, el Lote 3 no cumplen con la capacidad de absorción de humedad permitido, en definitiva sobrepaso máximo establecido en la (NTE INEN 297, 1978) de 25%*H*. Como resultado se tiene que la localidad de Pifo, la muestra 5HTL3 a 23°C sobrepasa la capacidad de absorción de humedad permitida, en consecuencia no se considera la totalidad del lote 3 para el posterior análisis. Por consiguiente una de las causas, bien puede ser porque las probetas del Lote 3 no presentan una homogeneidad en todas sus dimensiones, o a su vez puede ser por la composición del material.

En la tabla 13, se presenta los resultados del promedio de las 5 muestras ensayadas de cada lote. Se realiza la comparación de cada lote con lo estipulado por la norma (NTE INEN 297,1987). No debe exceder el valor máximo de capacidad de absorción de 25%.

Tabla 13

Resultados del Análisis de cada lote % Humedad.

Lotes	Resultados % Humedad por Lote	INEN 297 % Humedad	Cumple/ No Cumple	Resultados % Humedad por Ubicación
1	16,00	25,00	SI	
2	17,40	25,00	SI	24,70
3	27,80	25,00	NO	
4	18,60	25,00	SI	
5	17,80	25,00	SI	19,20
6	21,20	25,00	SI	
7	19,60	25,00	SI	
8	12,60	25,00	SI	15,67
9	14,80	25,00	SI	

En cuanto a la localidad de Pifo la teja cerámica a 23°C, cuenta con una capacidad de adsorción de humedad de 24,7%H, en cuanto a la localidad de Amaguaña la teja cuenta con 19,20%H a 18°C y con respecto a la localidad de Sangolquí cuenta con 15,67 %H a 110°C. Teniendo en cuenta que los resultados presentan una variación drástica dependiendo de la localidad, viene a ser una causa la humedad con que se presenta la muestra antes de ser ensayada.

Resultado de ensayo a flexión.

Para el ensayo de resistencia a la flexión se lo realiza en base a la norma Ecuatoriana (NTE INEN 988,1982-12). La carga de rotura que indique la máquina será la resistencia de cada muestra ensayada.

Igualmente que en el ensayo anterior se realiza el análisis para cada lote con un nivel de confianza al 98%, lo cual permite descartar los valores que estén fuera del rango permitido. Con respecto a la tabla 14, presenta resultados de resistencia a la Flexión en Mpa y la fuerza máxima de rotura en kgf.

Tabla 14

Resultados obtenidos del ensayo de flexión Teja.

Ubicación	Muestras Teja	Resistencia a la Flexión [Mpa]	Fuerza Máxima [kgf]
		LOTE 1	
PIFO 23°C	1TFL1	2	21,41
	2TFL1	3	22,43
	3TFL1	3	56,08
	4TFL1	2	24,47
	5TFL1	4	64,24

		LOTE 2	
AMAGUAÑA 110°C	1TFL2	3	45,88
	2TFL2	2	36,71
	3TFL2	2	35,69
	4TFL2	3	41,81
	5TFL2	4	112,17
		LOTE 3	
SANGOLQUÍ 18°C	1TFL3	3	64,24
	2TFL3	2	45,89
	3TFL3	2	64,24
	4TFL3	3	83,62
	5TFL3	4	112,17

De acuerdo a los requisitos que plantea la norma (NTE INEN 990,1982) que la capacidad máxima de resistencia a la flexión para un mínimo de una teja es de **80 kg/cm²** que es equivalente a 7.84 Mpa. En consecuencia en la tabla 14, se puede apreciar que de cada una de las muestras ensayadas de las localidades de Pifo, Amaguaña y Sangolquí no sobrepasan el valor máximo que puede resistir una teja cerámica. En definitiva se tiene que la muestras 5TFL1, 5TFL2 y 5TFL3 obtuvieron el valor máximo de resistencia a la flexión de 4Mpa.

Tabla 15

Valores promedio por lote de la resistencia a la flexión.

Muestras Teja	Fuerza Máxima [kgf]	Promedio por Lote
LOTE 1		
1TFL1	21,41	37,73
2TFL1	22,43	
3TFL1	56,08	
4TFL1	24,47	
5TFL1	64,24	
LOTE 2		
1TFL2	45,89	54,45
2TFL2	36,71	
3TFL2	35,69	

LOTE 2		
4TFL2	41,81	54,45
5TFL2	112,17	
LOTE 3		
1TFL3	64,24	74,03
2TFL3	45,89	
3TFL3	64,24	
4TFL3	83,62	
5TFL3	112,17	
Promedio		55,40

En la Tabla 15, se representa a la derecha la media aritmética de la fuerza máxima de rotura de cada lote analizado, el valor que se encuentra resaltado corresponde a la Parroquia de Pifo, este lote es el que menor capacidad de fuerza de rotura tiene, esto depende de una variedad de factores ya sea desde el proceso de composición de la muestra, proceso de fabricación hasta la velocidad con la que se aplica la fuerza. Así como también se obtiene buenos resultados en las Parroquias de Amaguaña y Sangolquí con 54.45 kgf y 74.03 kgf respectivamente. Por lo que se refiere a la fuerza máxima admisible de la teja cerámica en la Provincia de Pichincha es de 55,40 kg/cm².

En este punto se presentan las gráficas de la fuerza máxima admisible de las muestras vs la deformación.

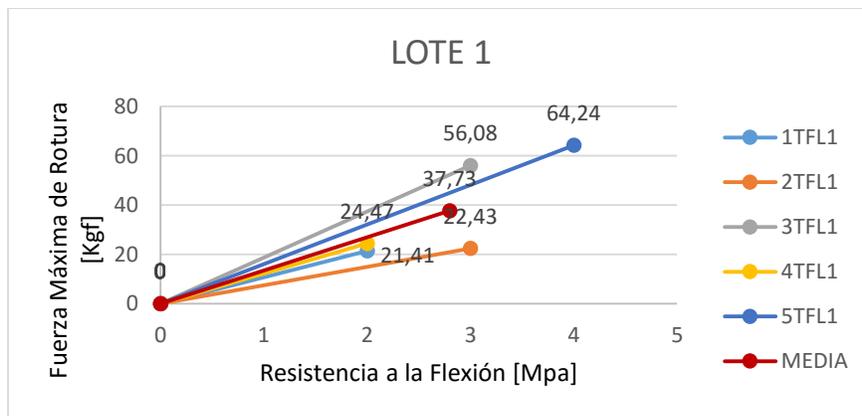


Figura 30. Fuerza vs Deformación de la teja cerámica lote1

En la figura 30, representa la máxima resistencia a la flexión de la teja cerámica. Mientras es aplicada una fuerza en la superficie curva de la teja, provoca un desplazamiento en un intervalo de tiempo, hasta producir la rotura de la muestra. De las 5 muestras ensayadas de teja cerámica, la gráfica más representativa es la muestra 5TFL1 con una resistencia a la flexión de 4Mpa, seguido de 2TFL1, 3TFL1 con 3Mpa y finalmente 1TFL1, 4TFL1 con 2Mpa.

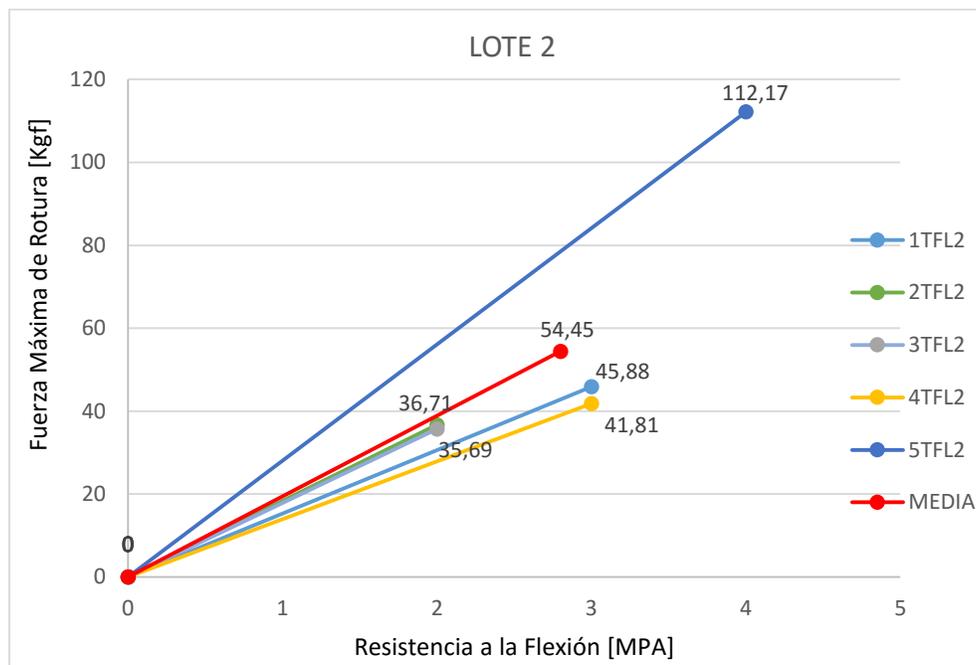


Figura 31. Fuerza vs Deformación de la teja cerámica lote 2

En la figura 31, se muestra de la máxima resistencia a la flexión de la teja cerámica, mientras es aplicada una fuerza en la superficie curva de la teja, provoca un desplazamiento en un intervalo de tiempo, hasta producir la rotura de la muestra. De las 5 muestras ensayadas de teja cerámica, la gráfica más representativa es la muestra 5TFL2 con una resistencia a la flexión de 4Mpa, seguido de 1TFL2, 4TFL2 con 3Mpa y finalmente 2TFL2, 3TFL2 con 2Mpa. Con una fuerza máxima aplicada de 64.24 kgf.

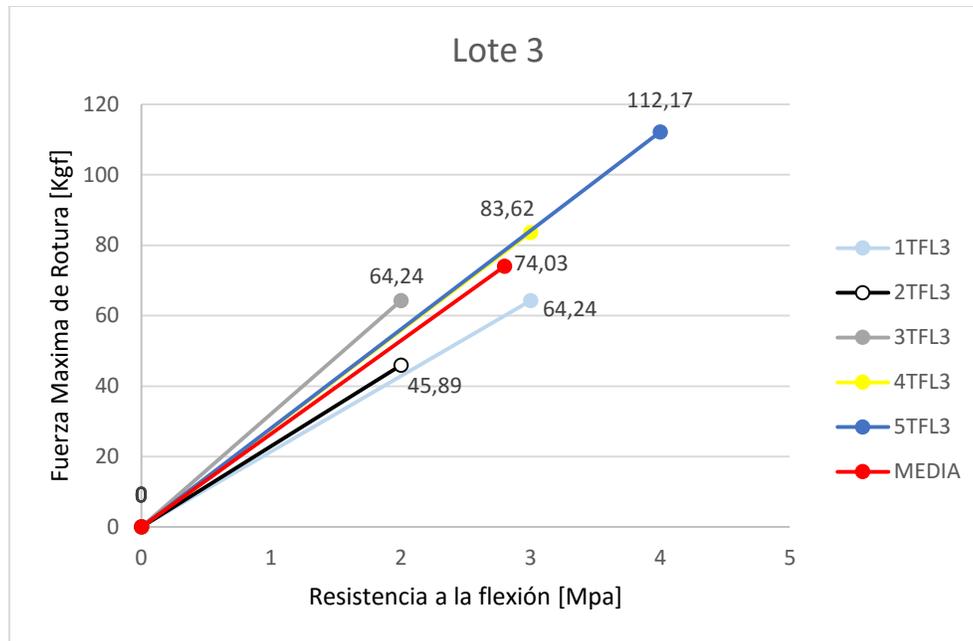


Figura 32. Fuerza vs Deformación de la teja cerámica lote 3

En la figura 32, representa la máxima resistencia a la flexión de la teja cerámica. Mientras es aplicada una fuerza en la superficie curva de la teja, provoca un desplazamiento en un intervalo de tiempo, hasta producir la rotura de la muestra. De las 5 muestras ensayadas de teja cerámica, la gráfica más representativa es la muestra 5TFL3 con una resistencia a la flexión de 4Mpa, seguido de 1TFL3, 4TFL3 con 3Mpa y finalmente 2TFL3, 3TFL3 con 2Mpa. Con una fuerza máxima aplicada de 112.17 kgf. El valor que representa a la resistencia a la flexión de la Teja es 55.4 (kgf).

Resultado de ensayo térmico

El siguiente punto trata de la tabulación de los resultados obtenidos del ensayo de conductividad térmica y resistencia térmica, resultados que son fundamentados por la norma ISO 8302, primeramente se va a proceder al análisis individual de 4 muestra de cada localidad Pifo, Amaguaña y Sangolquí. A continuación se procede a calcular la media aritmética de la resistencia

térmica de cada Lote ensayado y simultáneamente se verificara que los resultados estén dentro del rango establecido 0,002 a 2,5 W/m[°]K.

En la tabla 16, se muestran los resultados de la teja cerámica de densidad, conductividad térmica y resistencia térmica de la Localidad de Pifo.

Tabla 16

Resultado de ensayo térmico de teja cerámica Lote 1 Pifo.

Código	Largó (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Densidad kg/m³	Conductividad Térmica W/m[°]K	Resistencia Térmica m²W/°K
1707005	155,00	155,00	29,10	1036,80	1483,00	0,21	0,14
1707006	150,00	150,00	26,60	964,40	1611,40	0,24	0,11
1707007	150,00	150,00	27,60	946,80	1524,60	0,28	0,09
1707008	150,00	150,00	27,60	915,70	1474,60	0,28	0,09
Promedio					1523,40	0,26	0,11

En la tabla 16, se tiene que la conductividad térmica en la Localidad de Pifo la teja cerámica tiene un valor promedio de 0.255 W/m[°]K y la resistencia térmica tiene el valor de 0,111 m²W/°K. Se puede evidenciar que de las cuatro muestras de teja cerámica ensayadas de la localidad de Pifo, todas cumplen la exigencia de estar dentro del rango de 0,002 a 2,5 W/m[°]K. Así mismo se evidencia que el Lote 1, la conductividad térmica está dentro del rango 0,209 a 0,298 W/m[°]K y la resistencia térmica entre 0,093 a 0,139 m²W/°K.

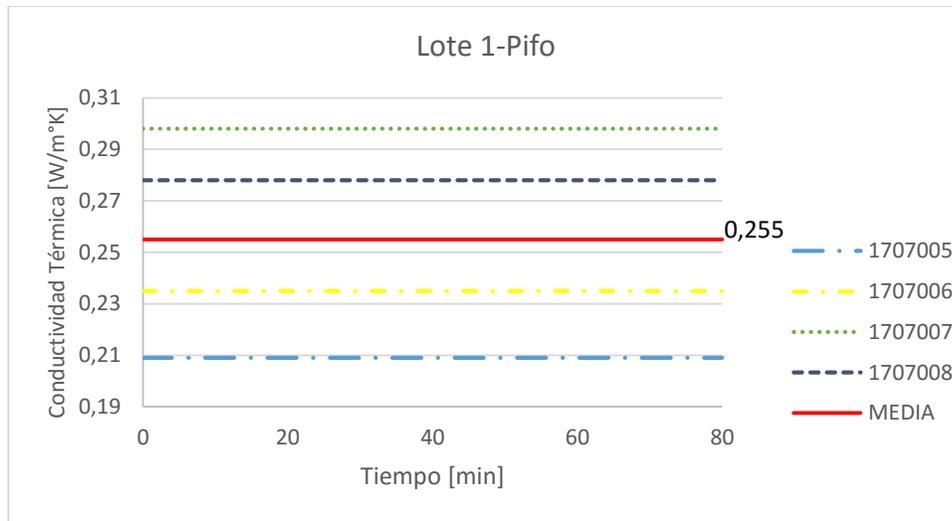


Figura 33. Conductividad térmica vs tiempo, teja cerámica lote1

En la Figura 33, se puede evidenciar el rango de conductividad térmica esta entre 0,209 a 0,298 W/m²K , por otra parte cabe mencionar que el tiempo de ensayo para cada muestras no está regulada, así que el tiempo se define hasta encontrar un estado estable de temperatura con temperatura media de 23°C y una diferencial de temperaturas entre placas de 15°C.

En la Tabla 17, se muestran los resultados de la teja cerámica de densidad, conductividad térmica y resistencia térmica de la Localidad de Amaguaña.

Tabla 17

Resultado de ensayo térmico de teja cerámica Lote 2 Amaguaña.

Código	Largó (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Densidad kg/m ³	Conductividad Térmica W/m ² K	Resistencia Térmica m ² W/°K
1707013	150,00	150,00	29,80	1046,20	1560,30	0,28	0,11
1707014	150,00	149,00	29,10	996,10	1531,60	0,27	0,11
1707015	150,00	150,00	26,00	909,80	1555,20	0,27	0,09
1707016	150,00	150,00	30,20	1056,90	1555,40	0,29	0,10
Promedio					1550,62	0,28	0,10

En la Tabla 17, se tiene que la conductividad térmica en la Localidad de Amaguaña la teja cerámica tiene un valor promedio de $0.277 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ y la resistencia térmica tiene el valor de $0,104 \text{ m}^2\text{W}/^\circ\text{K}$. Por otra parte, de las cuatro muestras de teja cerámica ensayadas de la localidad de Amaguaña, se puede evidenciar que todas cumplen la exigencia de estar dentro del rango de $0,002$ a $2,5 \text{ W/m}^\circ\text{K}$. Así mismo se evidencia que el Lote 2, la conductividad térmica está entre el rango $0,266$ a $0,293 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ y la resistencia térmica entre $0,095$ a $0,109 \text{ m}^2\text{W}/^\circ\text{K}$.

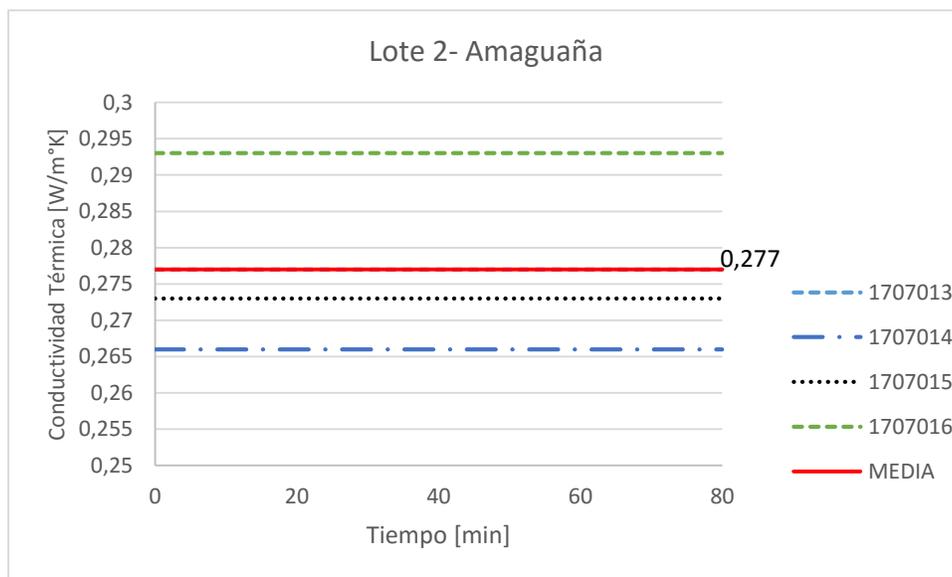


Figura 34. Conductividad térmica vs tiempo, teja cerámica lote 2

Fuente: Laboratorio de ensayos térmicos INER.

En la figura 34, se puede evidenciar el rango de conductividad térmica esta entre $0,266$ a $0,293 \text{ W/m}^\circ\text{K}$, por otra parte cabe mencionar que el tiempo de ensayo para cada muestras no está regulada, así que el tiempo se define hasta encontrar un estado estable de temperatura, una con temperatura media de 23°C y una diferencial de temperaturas entre placas de 15°C .

En la tabla 18, se muestran los resultados de la teja cerámica de densidad, conductividad térmica y resistencia térmica de la Localidad de Sangolquí.

Tabla 18

Resultado de ensayo térmico de teja cerámica Lote 3 Sangolquí.

Código	Largó (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Densidad kg/m ³	Conductividad Térmica W/m ^{°K}	Resistencia Térmica m ² W/°K
1707029	150,00	150,00	17,60	592,50	1496,20	0,20	0,09
1707030	150,00	150,00	19,70	702,50	1584,90	0,24	0,08
1707031	150,00	152,00	16,90	566,70	1470,70	0,25	0,07
1707032	150,00	150,00	17,50	603,10	1531,70	0,25	0,07
Promedio					1520,88	0,23	0,08

En la Tabla 18, se tiene que la conductividad térmica en la Localidad de Amaguaña la teja cerámica tiene un valor promedio de 0.234 W/m^{°K} y la resistencia térmica tiene el valor de 0,077 m²W/°K. Por otra parte, de las cuatro muestras de teja cerámica ensayadas de la localidad de Amaguaña, se puede evidenciar que todas cumplen la exigencia de estar dentro del rango de 0,002 a 2,5 W/m^{°K}. Así mismo se evidencia que el Lote 2, la conductividad térmica está dentro del rango 0,204 a 0,250 W/m^{°K} y la resistencia térmica entre 0,0968 a 0,086 m²W/°K.

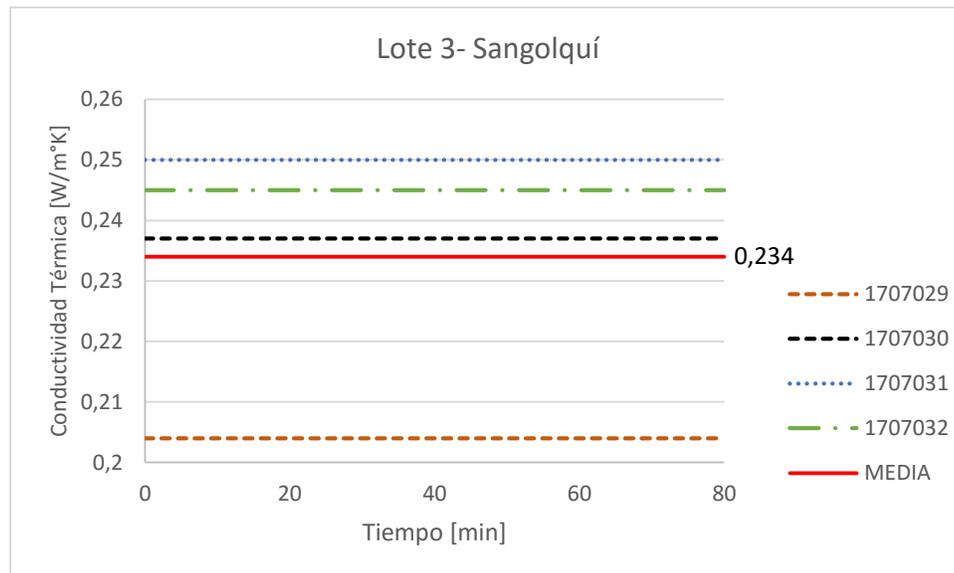


Figura 35. Conductividad térmica vs tiempo, teja cerámica lote 3

En la figura 35, se puede evidenciar el rango de conductividad térmica esta entre 0,266 a 0,293 W/m^{°K}, por otra parte cabe mencionar que el tiempo de ensayo para cada muestras no está regulada, así que el tiempo se define hasta encontrar un estado estable de temperatura con temperatura media de 23°C y una diferencial de temperaturas entre placas de 15°C.

Ladrillo Cerámico

Resultados del Ensayo de Capacidad de Absorción de Humedad.

En la tabla 19, se presenta la ubicación de cada lote ensayado, los resultados obtenidos en porcentaje de absorción de humedad de ladrillo cerámico, adicionalmente se despliega los resultados de la media aritmética de cada lote estudiado. Los valores que se encuentran resaltados con rojo son los que sobrepasan el valor máximo de absorción de humedad propuesto por la norma (NTE INEN 297,1987). Estos valores quedan descartados para el análisis posterior.

Tabla 19

Resultados de porcentaje de absorción de humedad de cada muestra de ladrillo cerámico de acuerdo a su ubicación.

Ubicación	Muestra Ladrillo	Masa1 (Ambiente)	Masa Sumergida (24h)	Adsorción de Humedad %
LOTE 1				
Pifo 23°C	1HL1	2700	3110	15
	2HL1	2850	3260	14
	3HL1	2710	3140	16
	4HL1	2750	3170	15
	5HL1	2765	3130	13
LOTE 2				
Pifo 23°C	1HL2	2890	3700	28
	2HL2	2670	3440	29
	3HL2	2980	3870	30
	4HL2	2720	3460	27
	5HL2	1990	2590	30

		LOTE 3		
Pifo 23°C	1HL3	2860	3510	23
	2HL3	2730	3280	20
	3HL3	2750	3320	21
	4HL3	2760	3280	19
	5HL3	2725	3320	22
		LOTE 4		
Amaguaña 18°C	1HL1	2580	3110	21
	2HL1	2600	3250	25
	3HL1	2700	3240	20
	4HL1	2585	3070	19
	5HL1	2765	3410	23
		LOTE 5		
Amaguaña 18°C	1HL2	2540	3700	46
	2HL2	2680	3460	29
	3HL2	2880	3680	28
	4HL2	2690	3440	28
	5HL2	1990	2585	30
		LOTE 6		
Amaguaña 18°C	1HL3	2820	3510	24
	2HL3	2560	3280	28
	3HL3	2680	3320	24
	4HL3	2890	3520	22
	5HL3	2755	3350	22
		LOTE 7		
Sangolquí 110°C	1HL1	2556,6	3460	35
	2HL1	2555,2	3430	34
	3HL1	2554,2	3320	30
	4HL1	2558,8	3260	27
	5HL1	2455,5	3080	25
		LOTE 8		
Sangolquí 110°C	1HL2	2566,6	3320	29
	2HL2	2655,2	3410	28
	3HL2	2544,2	3300	30
	4HL2	2448,8	3160	29
	5HL2	2444,5	3110	27
		LOTE 9		
Sangolquí 110°C	1HL3	2456,6	3160	29
	2HL3	2455,2	3130	27
	3HL3	2454,2	3120	27
	4HL3	2458,6	3160	29
	5HL3	2355,6	3010	28

En la Tabla 19, se tiene que la parroquia de Pifo el primer Lote 1 a 23°C varia el porcentaje de humedad dentro del rango de 13%H a 16%H, cumplen con lo especificado en la norma INEN 297 de no sobrepasar los 25%H admisible, de esta forma el Lote 2 no cumple con el %H admisible teniendo un rango de 27%H a 30%H, sin embargo el Lote 3 alcanza un rango de 19%H a 23%H siendo admisible en el %H. Adicionalmente en la localidad de Amaguaña el Lote 4 está en el rango de 19%H a 25%H cumpliendo con lo máximo admisible, en el Lote 5 descarta todos los valores porque sobrepasan lo admisible de 25%H teniendo el rango de 28%H a 46%H. En el Lote 6, se descartan los valores no admisibles que sobrepasan 25%H tiene un rango de 22%H a 28%H. Finalmente en la localidad de Sangolquí los Lotes 7, 8, 9 sometidos a un proceso de secado en estufa a 110°C sobrepasan el porcentaje de humedad admisible de 25%H teniendo rangos de 25 a 35, 27 a 30 y 27 a 29 respectivamente.

En la tabla 20, se presenta los resultados promedio de cada lote. Se realiza la comparación de la media aritmética del porcentaje de humedad de cada lote ensayado, obtenido del promedio de 5 muestras, con el porcentaje de humedad estipulado por la norma INEN 297, que debe exceder el valor máximo de capacidad de absorción de 25% para ladrillo cerámico. Finalmente se llega a presentar si cumple con la humedad admisible estipulada (NTE INEN 297, 1987).

Tabla 20

Resultados de Promedio % Humedad de cada lote de ladrillo analizado.

# LOTE	Resultados % Humedad por Lote	INEN 297 %Humedad	Cumple Requisitos Norma INEN 295	Resultados % Humedad por Ubicación
1	14,60	25,00	SI	
2	28,80	25,00	NO	17,80
3	21,00	25,00	SI	

4	21,60	25,00	SI	
5	32,20	25,00	NO	22,80
6	24,00	25,00	SI	
7	30,20	25,00	NO	
8	28,60	25,00	NO	29,93
9	28,00	25,00	NO	
Promedio de %H				23,51

En la tabla 20, el valor que representa a la capacidad de absorción de humedad del ladrillo cerámico de la Provincia de Pichincha es de 20,30%, teniendo relación con los resultados obtenidos por Gavilanes Cristian y Santellán Grace de 18.76% de adsorción. Se puede observar del total de probetas ensayadas en todas las ubicaciones investigadas, no todas cumplen con la absorción de humedad inferior al máximo establecido en la (NTE INEN 296, 1978). De la cual se obtiene que en la parroquia de Pifo, la muestra de ladrillo cerámico tratada a temperatura ambiente 23°C, tiene un porcentaje de humedad de 17.80 %H. Así mismo acondicionando la muestra en el laboratorio a 18°C de la zona de Amaguaña se consiguió de un promedio de 5 muestras ensayadas de 22.80 %H. Finalmente en la localidad de Sangolquí acondicionando la muestra a un proceso de desecación en una estufa a 110°C no cumplió con el porcentaje de humedad admisible de 25%, llegando a tener un 29.93%H.

Resultado de ensayo a la Compresión.

Una vez ejecutado el ensayo de resistencia a la compresión en las 3 localidades Pifo, Amaguaña y Sangolquí se obtuvo los siguientes resultados que se especifican a continuación:

La tabla 21, se muestra los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión de ladrillo cerámico, En la tabla se compara individualmente los resultados obtenidos de resistencia a la compresión de cada ladrillo ensayado, con la norma INEN 294 que expresa que la resistencia mínima a la compresión es 6 Mpa, Adicionalmente se analiza si cumple el requisito

estipulado o se procede a descartar valores. Los valores que están resaltados de amarillo quedan descartados para el análisis posterior.

Tabla 21

Resultados de ensayo de compresión de todas muestras ensayadas.

Ubicación	Codificación de la muestra	Resistencia Mínima Individual INEN 294 Mpa	Carga Máxima de Rotura KN	Resistencia a la Compresión Mpa	Cumple Requisitos Norma INEN 294
LOTE 1					
PIFO 21°C	1CL1		66,40	16,00	SI
	2CL1		43,85	12,00	SI
	3CL1	6	13,83	6,00	SI
	4CL1		18,48	6,00	SI
	5CL1		11,08	5,00	NO
LOTE 2					
AMAGUAÑA 21°C	1CL2		17,53	7,00	SI
	2CL2		13,33	5,00	NO
	3CL2	6	15,31	6,00	SI
	4CL2		19,26	8,00	SI
	5CL2		16,41	6,00	SI
LOTE 3					
SANGOLQUÍ 21°C	1CL3		10,89	5,00	NO
	2CL3		20,71	8,00	SI
	3CL3	6	28,85	10,00	SI
	4CL3		22,41	9,00	SI
	5CL3		12,79	7,00	SI
LOTE 4					
PIFO 110°C	1CL1		55,40	15,00	SI
	2CL1		45,55	13,00	SI
	3CL1	6	16,83	8,00	SI
	4CL1		19,48	7,00	SI
	5CL1		12,80	5,00	NO

LOTE 5					
AMAGUAÑA 110°C	1CL2		24,56	9,00	SI
	2CL2		19,46	8,00	SI
	3CL2	6	22,62	8,00	SI
	4CL2		18,62	7,00	SI
	5CL2		18,41	7,00	SI
LOTE 6					
SANGOLQUÍ 110°C	1CL3		12,89	5,00	SI
	2CL3		21,77	8,00	SI
	3CL3	6	23,41	9,00	SI
	4CL3		24,55	7,00	SI
	5CL3		11,09	5,00	NO

Se puede observar en la tabla 21, de todas de las muestras ensayadas no todas cumplen con el requisito individual para la resistencia mínima a la compresión (6Mpa) establecida en la (NTE INEN 294,1978). De las cuales para la zona de Pifo, Amaguaña y Sangolquí a 21°C (temperatura ambiente) se descartan los tres resultados a (5Mpa). Así mismo se observa que al haber realizado un proceso de desecado en la estufa a 110°C, la muestra del Lote 4 con código 5CL1 a (5Mpa) no cumple con la resistencia mínima admisible de (6Mpa). Adicionalmente se observa que en la localidad de Amaguaña a 110°C del Lote 6, todas las muestras sobrepasan la resistencia mínima admisible (6Mpa). Finalmente en la localidad de Sangolquí únicamente la muestra con código 5CL3 a (5Mpa) no cumple con la resistencia admisible de (6Mpa).

En la tabla 22, presenta la media aritmética de los resultados obtenidos de cada lote ensayado. Cabe indicar que solo se toma los resultados que cumple la norma (NTE INEN 294). Posteriormente se realiza la comparación independiente de resultados a cada lote ensayado, con el dato convenido (8Mpa) por la norma INEN 294. Finalmente se verifica cuáles de los resultados obtenidos cumplen el requisito estipulado y se procede a descartar valores. Los valores que están resaltados de amarillo quedan descartados.

Tabla 22

Resultados promedio de la resistencia a la compresión de ladrillo cerámico de cada lote.

N° Lote ensayado	Resistencia a la Compresión Mpa	Resistencia mínima a la Compresión INEN 294 Mpa	Cumple Requisitos Norma INEN 294
1	10	8	SI
2	7	8	NO
3	9	8	SI
4	11	8	SI
5	8	8	SI
6	7	8	NO

En la Tabla 22, se puede observar los resultados obtenidos de la media aritmética de cada lote estudiado, no todos cumplen con la resistencia mínima a la compresión (8 Mpa) establecida en la (NTE INEN 294, 1978). Habiendo estudiado la parroquia de Pifo a temperatura ambiente a 21°C con (10 Mpa) y habiendo realizado el proceso de desecado en la estufa a 110°C con (11 Mpa). Así mismo una vez analizada las muestras de la localidad de Amaguaña a temperatura ambiente 21°C con (7 Mpa) no cumple con la resistencia mínima admisible (8Mpa) establecida por la (NTE INEN 294, 1978), además analizado el Lote 4 a 110°C cumple con lo estipulado INEN 294. Finalmente en la localidad de Sangolquí a 21°C con (9 Mpa) cumple con los requisitos y a 110°C con (7Mpa) no cumple lo permitido por la INEN 294. Según estudios anteriores realizados en el 2016, por Gavilanes Cristian y Santellán Grace la resistencia a la compresión de tres proveedores diferentes no cumplieron los requisitos admisibles por la (NTE INEN 294, 1978).

Una vez en marcha el proceso de ensayo a compresión la máquina trabaja conjuntamente con el software que proyecta la gráfica fuerza vs deformación en el instante que la probeta inicia

su deformación. De tal manera se obtiene una gráfica para cada lote analizado. Las siguientes gráficas se detallan a continuación:

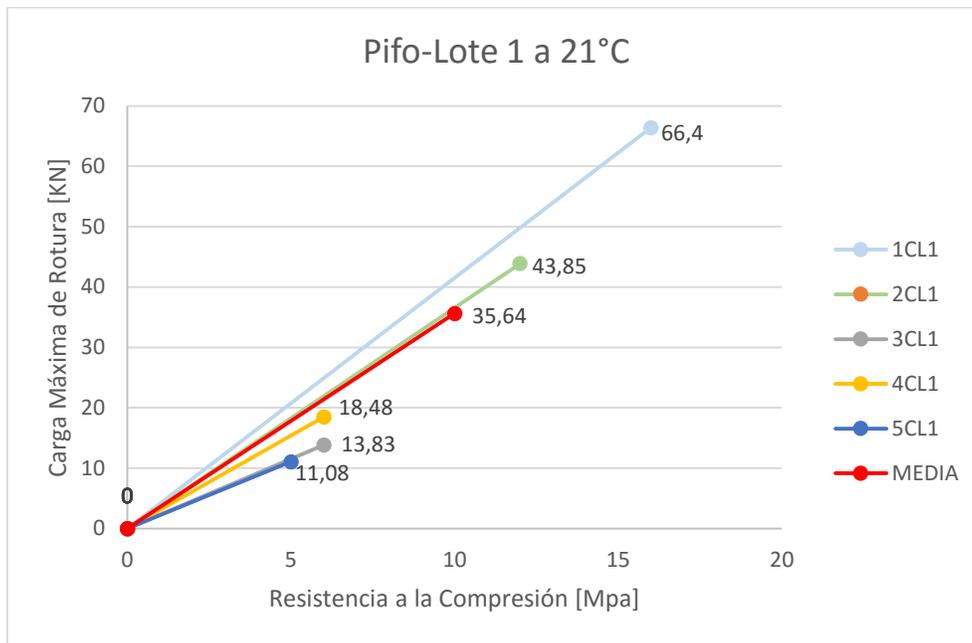


Figura 36. Fuerza vs Deformación de ensayo a compresión de ladrillo cerámico Lote 1

En la figura 36, se muestra las gráficas del Lote 1 de la localidad de Pifo, se puede visualizar que las curvas tienen a fallar en un rango de 5 Mpa a 6Mpa, con un rango de carga máxima admisible de 11.08 KN a 18,48 KN. Así como también se tiene dos curvas que salen de la tendencia proyectada, teniendo 1CL1 (66,40 KN) y 2CL1 (43.85 KN) con (16 Mpa) y (12 Mpa) respectivamente. De esta forma se tiene una tendencia en la localidad de Pifo a 21°C es de 10 Mpa con resistencia máxima admisible.

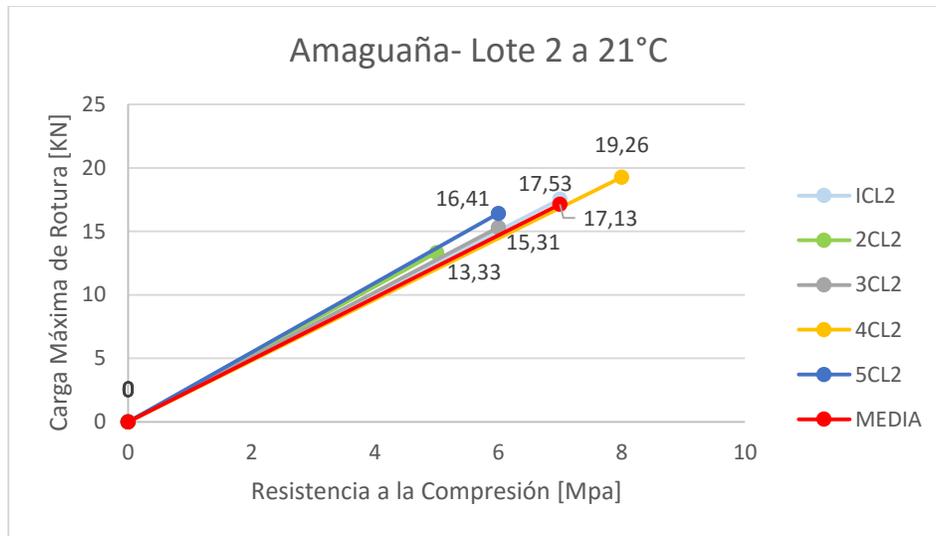


Figura 37. Fuerza vs Deformación de ensayo a compresión de ladrillo cerámico Lote 2.

Una vez obtenido la figura 8, el Lote 2 de la localidad de Amaguaña, se puede visualizar que las curvas tienen tendencia a fallar en un rango de (5 Mpa) a (8Mpa) con un rango de carga máxima admisible de 15,31 KN a 17,53 KN. Así como también se tiene dos curvas que salen de la tendencia proyectada, teniendo 4CL2 (19,26kN) y 2CL2 (13.33kN) con (8 Mpa) y (5 Mpa) respectivamente. De esta forma se tiene una tendencia en la localidad de Amaguaña a 21°C de (7 Mpa) con resistencia promedio máxima admisible.

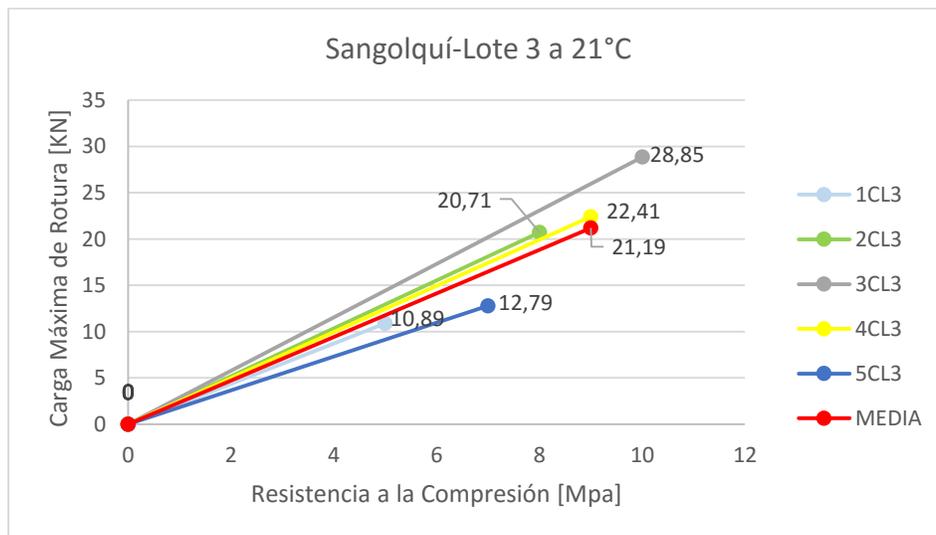


Figura 38. Fuerza vs Deformación de ensayo a compresión de ladrillo cerámico Lote 3

Una vez obtenido la figura 38, se obtiene que el Lote 3 de la localidad de Sangolquí la curvas tienen tendencia a fallar en un rango de (8 Mpa) a (10 Mpa) con un rango de carga máxima admisible de 20,71 KN a 28,85 KN. Así como también se tiene dos curvas que salen de la tendencia proyectada, teniendo 1CL3 (10,89kN) y 5CL3 (12,79kN) con (5 Mpa) y (7 Mpa) respectivamente. De esta forma en Sangolquí a 21°C se tiene una tendencia de (9 Mpa) como resistencia promedio máxima admisible para esta localidad.

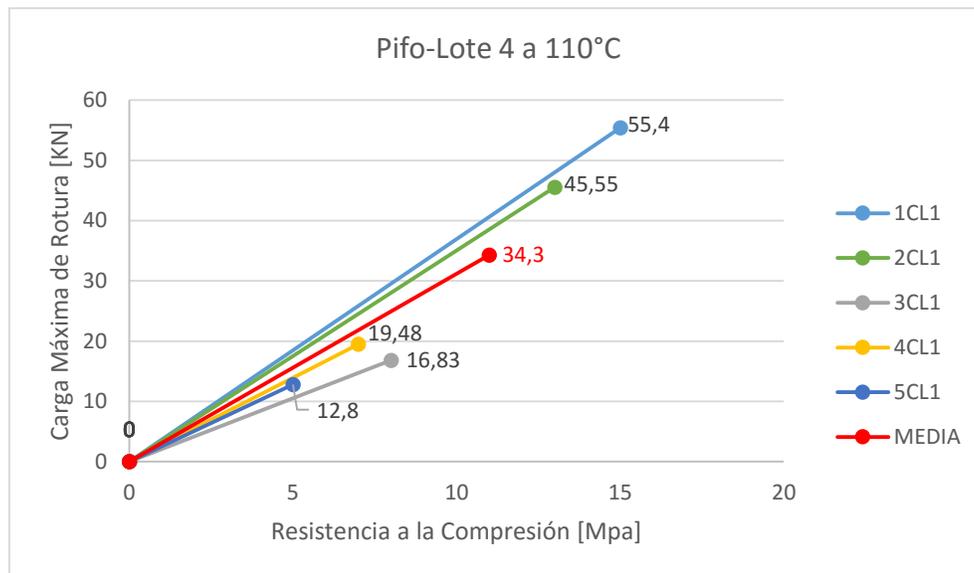


Figura 39. Fuerza vs Deformación de ensayo a compresión de ladrillo cerámico Lote 4

Una vez obtenido la gráfica 10, el Lote 4 de la localidad de Pifo con las muestras desecadas a 110°C, se puede visualizar que las curvas tienen tendencia a fallar en un rango de (7 Mpa) a (13 Mpa) con un rango de carga máxima admisible de 19,48 KN a 45,55 KN. Así como también se tiene dos curvas que salen de la tendencia proyectada, teniendo 1CL4 (10,89kN) y 5CL4 (12,79kN) con (15 Mpa) y (5 Mpa) respectivamente. De esta forma en Pifo a 21°C se tiene una tendencia de (11 Mpa) como resistencia promedio máxima admisible para ladrillo cerámico de esta localidad.

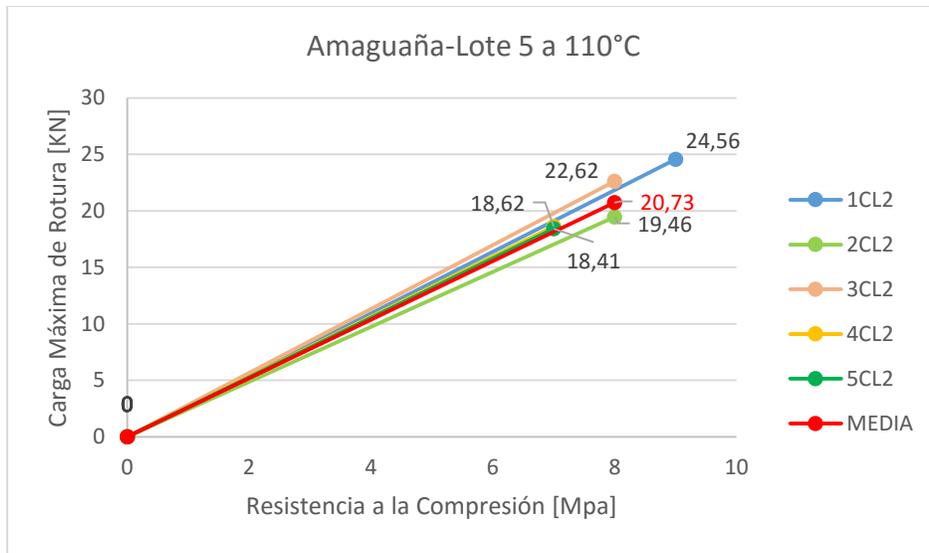


Figura 40. Fuerza vs Deformación de ensayo a compresión de ladrillo cerámico Lote 5.

En la figura 40, se muestra la gráfica del Lote 5 estudiado, de la localidad de Amaguaña con las muestras desecadas a 110°C, se puede visualizar que las curvas tienen tendencia a fallar en un rango de (7 Mpa) a (8 Mpa) con un rango de carga máxima admisible de 18,41 KN a 22,62 KN. Así como también se tiene una curva que salen de la tendencia proyectada, siendo 1CL5 (24,56kN) con (9 Mpa). De esta forma en Amaguaña tiene una tendencia de (8 Mpa) como resistencia promedio máxima admisible para ladrillo cerámico de esta localidad.

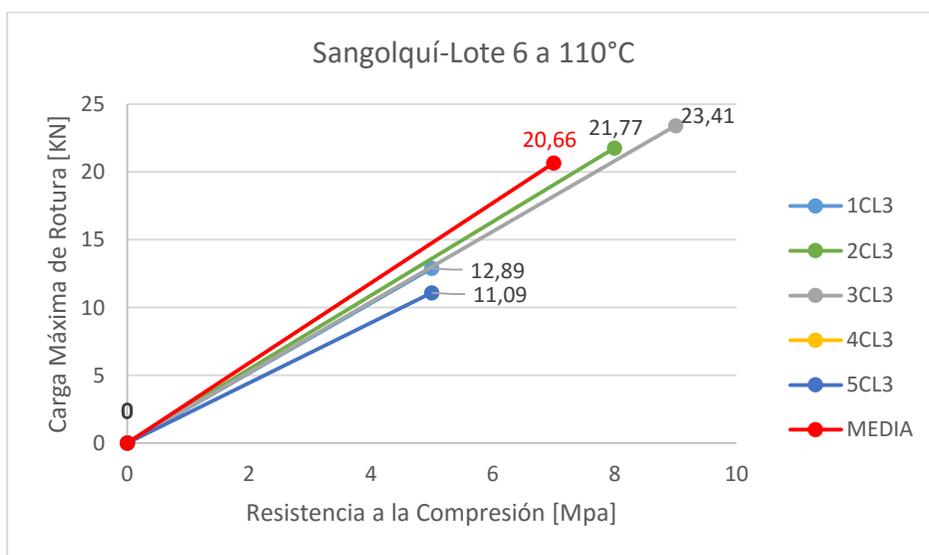


Figura 41. Fuerza vs Deformación de ensayo a compresión de ladrillo cerámico Lote 6

En la figura 41, se muestra la gráfica del Lote 6 estudiado de la localidad de Sangolquí con las muestras desecadas a 110°C, se puede visualizar que las curvas tienen tendencia a fallar en un rango de (7 Mpa) a (9 Mpa) con un rango de carga máxima admisible de 24,55 KN a 23,41 KN. Así como también se tiene dos curvas que salen de la tendencia proyectada, teniendo 1CL6 (12,89kN) y 5CL5 (11,09kN) con (5 Mpa) y (5 Mpa) respectivamente. De esta forma en Sangolquí tiene una tendencia de (7 Mpa) como resistencia promedio máxima admisible para ladrillo cerámico de esta localidad.

Resultado de ensayo a la Flexión.

Una vez ejecutado el ensayo de resistencia a la flexión en las 3 localidades Pifo, Amaguaña y Sangolquí se obtuvo los siguientes resultados que se especifican a continuación.

En la Tabla 23, se muestra los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la flexión de las muestras del ladrillo cerámico, En la tabla se compara individualmente los resultados obtenidos de resistencia a la flexión de cada ladrillo ensayado, con la norma INEN 295, que enuncia que la resistencia mínima a la compresión es 2 Mpa para un promedio de 5 muestras, Adicionalmente se analiza si cumple el requisito estipulado por la (NTE INEN 295,1977).

Tabla 23

Resultados de resistencia a flexión de ladrillo cerámico de todas las muestras ensayadas.

Ubicación	Número de Probeta	Codificación de la muestra	Resistencia Mínima Individual INEN 294	Carga Máxima de Rotura	Resistencia a la Compresión Mpa	Cumple Requisitos Norma INEN 294
LOTE 1						
PIFO 21°C	1	1LFL1	2	4,08	0,14	NO
	2	2LFL1		2,98	0,08	NO
	3	3LFL1		5,10	0,17	NO
	4	4LFL1		5,10	0,17	NO
	5	5LFL1		3,21	0,11	NO

LOTE 2						
AMAGUAÑA 21°C	6	1LFL2		3,12	0,10	NO
	7	2LFL2		5,09	0,17	NO
	8	3LFL2	2	3,99	0,13	NO
	9	4LFL2		4,45	0,15	NO
	10	5LFL2		4,09	0,14	NO
LOTE 3						
SANGOLQUÍ 21°C	11	1LFL3		9,56	0,30	NO
	12	2LFL3		9,83	0,32	NO
	13	3LFL3	2	11,97	0,35	NO
	14	4LFL3		12,95	0,31	NO
	15	5LFL3		16,95	0,47	NO
LOTE 4						
PIFO 110°C	16	1LFL1		16,14	0,50	NO
	17	2LFL1		7,83	0,26	NO
	18	3LFL1	2	3,99	0,25	NO
	19	4LFL1		8,34	0,26	NO
	20	5LFL1		12,73	0,38	NO
LOTE 5						
AMAGUAÑA 110°C	21	1LFL2		6,14	0,18	NO
	22	2LFL2		6,18	0,18	NO
	23	3LFL2	2	6,25	0,17	NO
	24	4LFL2		10,34	0,3	NO
	25	5LFL2		8,45	0,25	NO
LOTE 6						
SANGOLQUÍ 110°C	26	1LFL3		10,97	0,33	NO
	27	2LFL3		12,25	0,35	NO
	28	3LFL3	2	9,86	0,31	NO
	29	4LFL3		16,34	0,47	NO
	30	5LFL3		6,95	0,49	NO

Una vez obtenido los resultados de cada muestra ensayada se procede a tabular el promedio de las 5 muestras ensayadas de cada Lote estudiado. De esta forma se obtuvo los siguientes resultados que se detallaran a continuación:

Tabla 24

Promedios de resultados de resistencia a la flexión de ladrillo cerámico de cada lote ensayado

Ubicación	Número de Lote	Requisito INEN 295 Mpa	Cumple Requisitos Norma INEN 294	Resistencia a la Flexión Mpa
Pifo	1	2	NO	0,13
Amaguaña	2	2	NO	0,14
Sangolquí	3	2	NO	0,35
Pifo	4	2	NO	0,33
Amaguaña	5	2	NO	0,22
Sangolquí	6	2	NO	0,39
			Promedio	0,26

En la Tabla 24, se pueden observar el total de las probetas ensayadas de cada una de las localidades investigadas no cumplen con la resistencia mínima a flexión (2Mpa.) establecida en la (NTE INEN 295, 1978). Habiendo obtenido en la zona periférica resultados en el rango de (0.13 Mpa a 0.39 Mpa). Los resultados obtenidos no concuerdan con los resultados obtenidos por

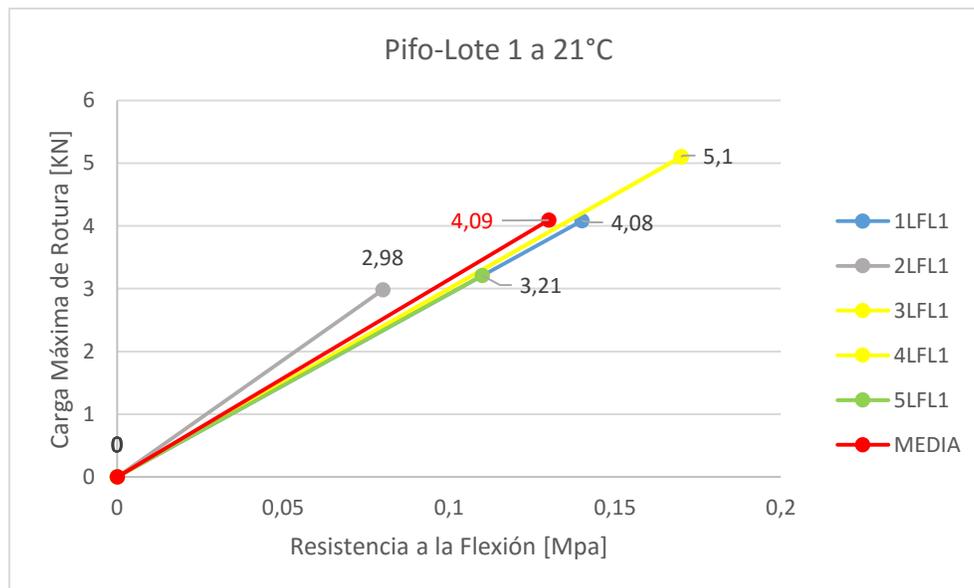


Figura 42. Fuerza vs Deformación de ensayo a flexión de ladrillo cerámico Lote 1.

En la figura 42, representa los resultados del Lote 1 de ladrillo cerámico de la localidad de Pifo, las seis rectas representan la máxima fuerza o carga que soporta cada la muestra hasta producirse la rotura, el eje horizontal representa la resistencia a la flexión en Mpa. El Rango de carga máxima que soporta la muestra de ladrillo es de 2.98 KN a 5.10 KN, así como también se logra obtener una media aritmética de 4,09KN con 0,13Mpa como resistencia máxima a la flexión del Lote 1.

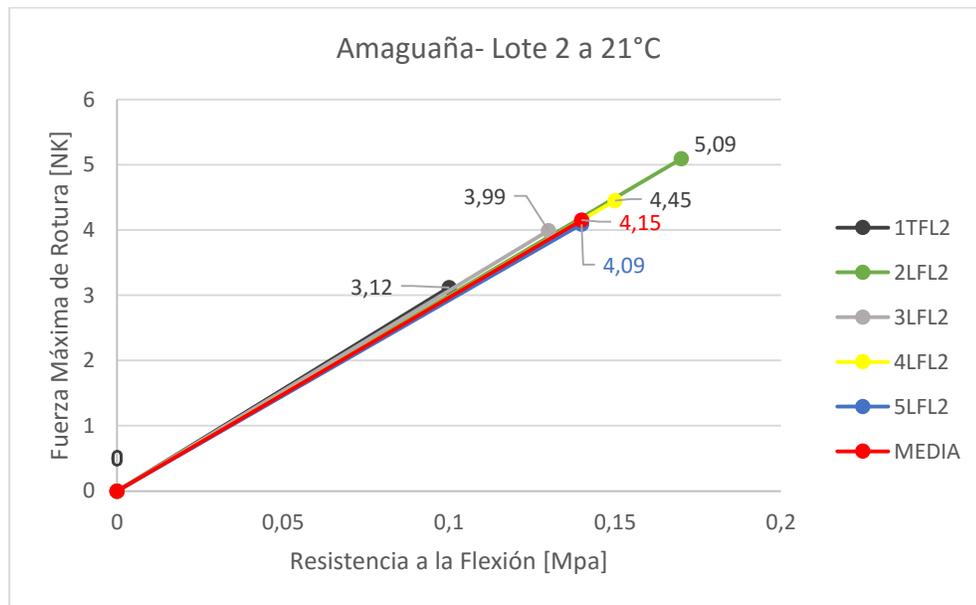


Figura 43. Fuerza vs Deformación de ensayo a flexión de ladrillo cerámico Lote 2.

En la figura 43, representa los resultados del Lote 2 de ladrillo cerámico de la localidad de Amaguaña, las seis rectas representan la máxima fuerza o carga que soporta cada la muestra, hasta producirse la rotura, el eje horizontal representa la resistencia a la flexión en Mpa. El Rango de carga máxima que soporta la muestra de ladrillo es de 3.12KN a 5.09 KN, así como también se logra obtener una media aritmética de 4,15KN con 0,14Mpa como resistencia máxima a la flexión del Lote 2.

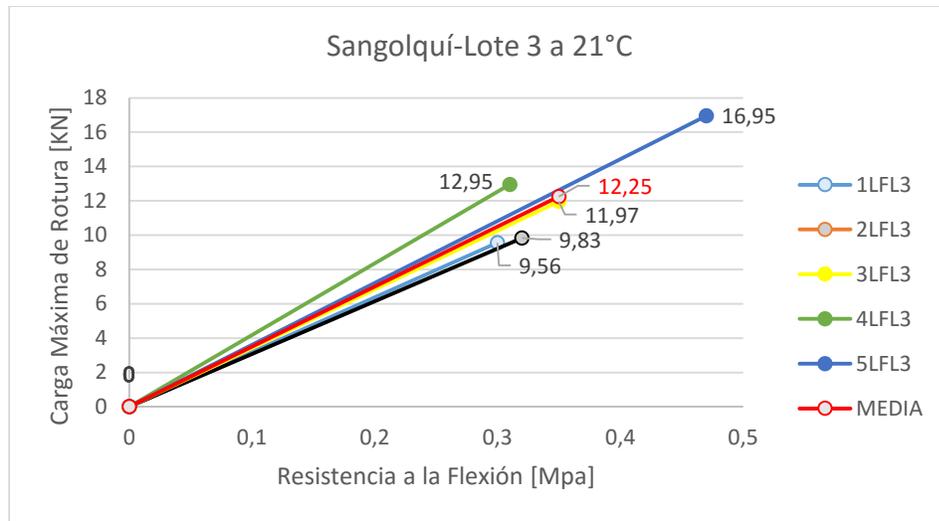


Figura 44. Fuerza vs Deformación de ensayo a flexión de ladrillo cerámico Lote 3.

En la figura 44, representa los resultados del Lote 3 de ladrillo cerámico a 21°C de la localidad de Sangolquí, las seis rectas representan la máxima fuerza o carga que soporta el ladrillo hasta producirse la rotura, el eje horizontal representa la resistencia a la flexión en Mpa. El Rango de carga máxima que soporta la muestra de ladrillo es de 9,56N a 16,95 KN, así como también se logra obtener una media aritmética de 12,25KN con 0,35Mpa como resistencia máxima a la flexión del Lote 3.

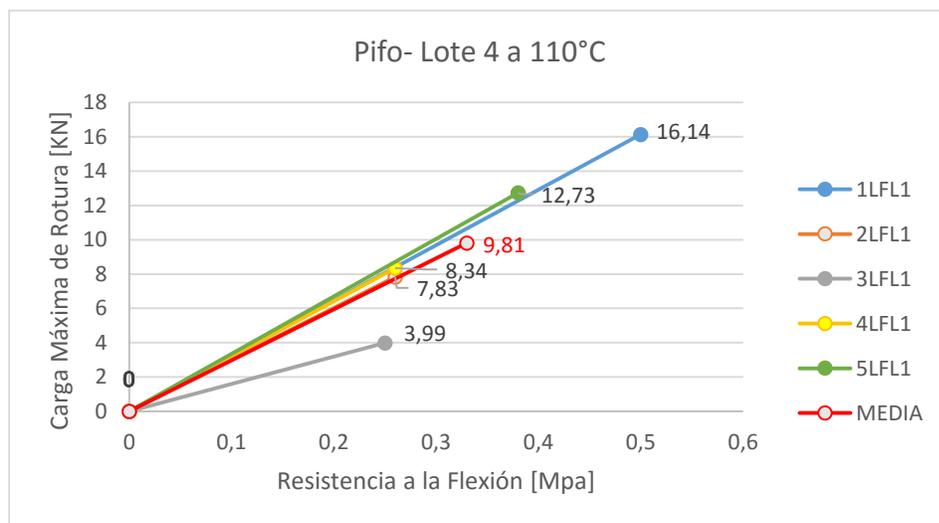


Figura 45. Fuerza vs Deformación de ensayo a flexión de ladrillo cerámico Lote 4.

En la figura 45, representa los resultados del Lote 4 de ladrillo cerámico a 110°C de la localidad de Pifo, las seis rectas representan la máxima fuerza o carga que soporta el ladrillo hasta producirse la rotura, el eje horizontal representa la resistencia a la flexión en Mpa. El Rango de carga máxima que soporta la muestra de ladrillo es de 3,99 KN a 16,14 KN, así como también se logra obtener una media aritmética de 9,81KN con 0,33Mpa como resistencia máxima a la flexión del Lote 4.

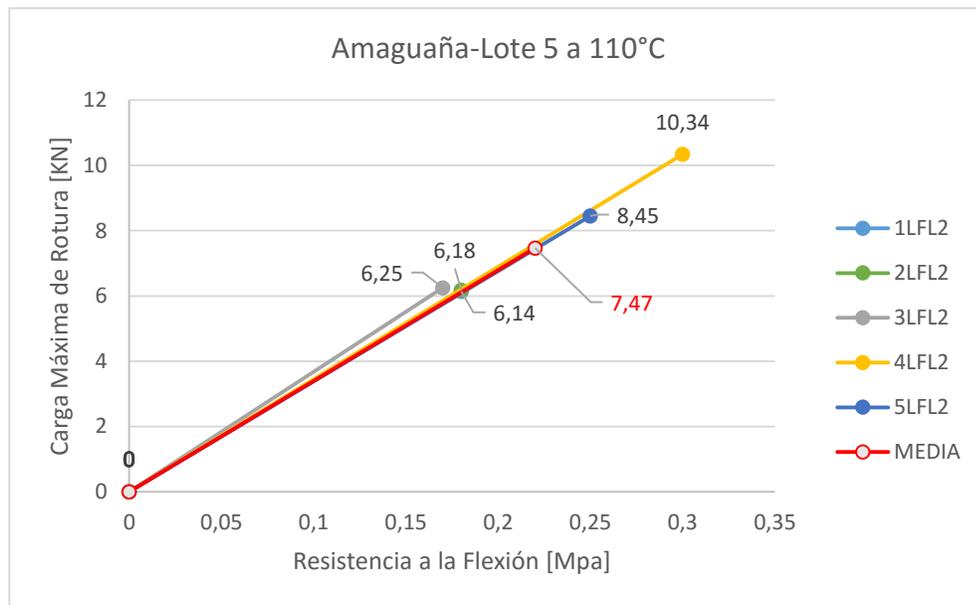


Figura 46. Fuerza vs Deformación de ensayo a flexión de ladrillo cerámico Lote 5.

En la figura 46, representa los resultados del Lote 5 de ladrillo cerámico a 110°C de la localidad de Pifo, las seis rectas representan la máxima fuerza o carga que soporta el ladrillo hasta producirse la rotura, el eje horizontal representa la resistencia a la flexión en Mpa. El Rango de carga máxima que soporta la muestra de ladrillo es de 6,14 KN a 10,34 KN, así como también se logra obtener una media aritmética de 7,47KN con 0,22Mpa como resistencia máxima a la flexión del Lote 5.

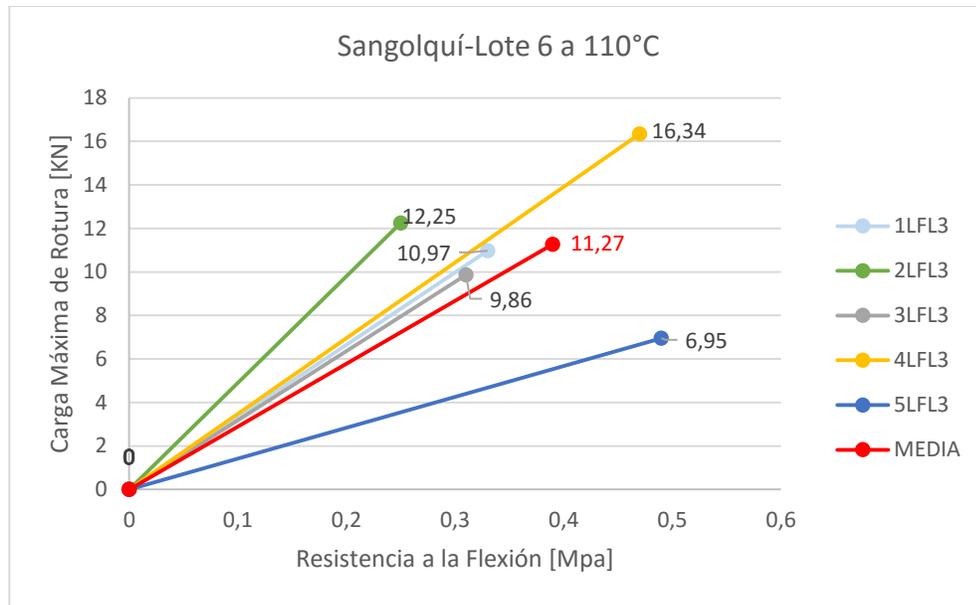


Figura 47. Fuerza vs Deformación de ensayo a flexión de ladrillo cerámico Lote 6.

En la figura 47, representa los resultados del Lote 6 de ladrillo cerámico a 110°C de la localidad de Pifo, las seis rectas representan la máxima fuerza o carga que soporta el ladrillo hasta producirse la rotura, el eje horizontal representa la resistencia a la flexión en Mpa. El Rango de carga máxima que soporta la muestra de ladrillo es de 6,95 KN a 16,34 KN, así como también se logra obtener una media aritmética de 11,27KN con 0,39Mpa como resistencia máxima a la flexión del Lote 5.

Resultado de la Ensayo Térmico.

En primer lugar se tiene presente que la resistencia térmica es la capacidad de conducir calor y la resistencia térmica es la capacidad de oponerse al paso de calor. El siguiente punto trata de la tabulación de los resultados obtenidos del ensayo de conductividad térmica y resistencia térmica, resultados que son fundamentados por la norma ISO 8302, primeramente se va a proceder al análisis individual de 4 muestra de cada localidad Pifo, Amaguaña y Sangolquí. A continuación se procede a calcular la media aritmética de la resistencia térmica de cada Lote

ensayado y simultáneamente se verificara que los resultados estén dentro del rango establecido 0,002 a 2,5 W/m°K.

En la Tabla 25, se muestran los resultados de la teja cerámica de densidad, conductividad térmica y resistencia térmica de la Localidad de Pifo.

Tabla 25

Resultado de Ensayo Térmico de Ladrillo Cerámico Lote 1 Pifo

Código	Largó (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Densidad kg/m ³	Conductividad Térmica W/m°K	Resistencia Térmica m ² W/°K
1707021	150,00	150,00	91,30	2575,30	1253,60	0,24	0,38
1707022	150,00	150,00	93,10	2670,00	1274,60	0,28	0,34
1707023	150,00	152,00	89,90	2515,90	1227,40	0,26	0,34
1707024	150,00	150,00	91,00	2599,50	1269,60	0,29	0,32
		Promedio			1256,30	0,27	0,34

En cuanto a la Tabla 25, el valor medio obtenido de 5 muestras de ladrillo cerámico, se tiene que la densidad es de 1256,3 kg/m³, la conductividad térmica es de 0.266 W/m°K y la resistencia térmica se obtuvo el valor de 0,344 m²W/°K. Por otra parte se puede evidenciar que todas cumplen la exigencia de estar dentro del rango de 0,002 a 2,5 W/m°K. De esta forma se evidencia que el Lote 1, la conductividad térmica está dentro del rango 0,238 a 0,289 W/m°K y la resistencia térmica entre 0,317 a 0,38 m²W/°K.

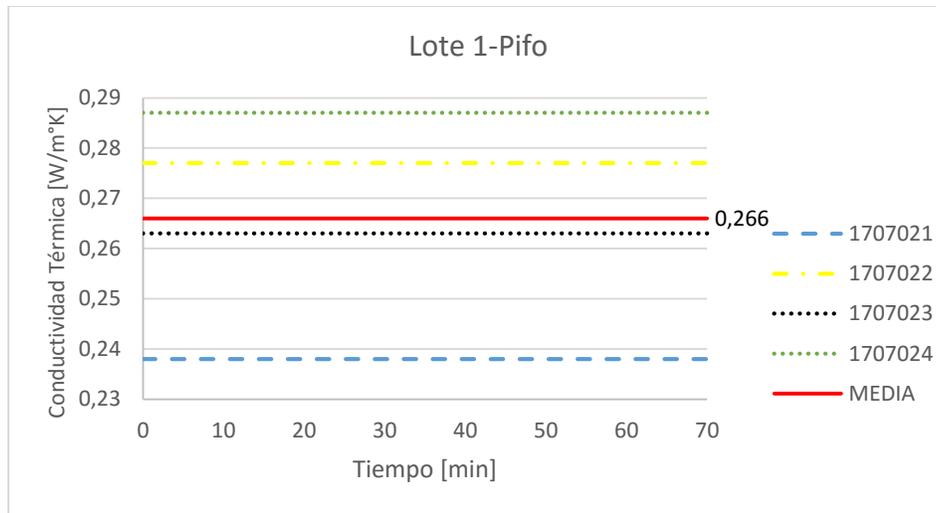


Figura 48. Conductividad térmica vs tiempo, ladrillo cerámico lote 1

Fuente: Laboratorio de ensayos térmicos INER.

En la figura 48, se muestra la gráfica de las 4 muestras ensayadas, el rango de conductividad térmica esta entre 0,238 a 0,289 W/m²K, por otra parte cabe mencionar que el tiempo de ensayo para cada muestras no está regulada, así que el tiempo se define hasta encontrar un estado estable de temperatura con temperatura media de 23°C y una diferencial de temperaturas entre placas de 15°C.

En la tabla 26, se muestran los resultados del ladrillo cerámico de densidad, conductividad térmica y resistencia térmica de la Localidad de Amaguaña.

Tabla 26

Resultado de Ensayo Térmico de Ladrillo Cerámico Lote 2 Amaguaña.

Código	Largó (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Densidad kg/m³	Conductividad Térmica W/m²K	Resistencia Térmica m²W/°K
1707025	150,00	150,00	91,20	2574,60	1254,68	0,26	0,38
1707026	150,00	151,00	93,40	2672,40	1263,24	0,26	0,39
1707027	150,00	152,00	89,90	2515,90	1227,44	0,22	0,36
1707028	150,00	150,00	91,40	2599,80	1264,19	0,28	0,39
		Promedio			1252,39	0,26	0,38

En la Tabla 26, de las cuatro muestras de ladrillo cerámico ensayados en la localidad de Pifo, se puede evidenciar que todas cumplen la exigencia de estar dentro del rango de 0,002 a 2,5 W/m²K. De esta forma se evidencia que el Lote 1, la conductividad térmica está dentro del rango 0,238 a 0,289 W/m²K y la resistencia térmica entre 0,317 a 0,38 m²W/°K. Por otra parte se tiene que la conductividad térmica en la Localidad de Pifo del ladrillo cerámico tiene un valor promedio de 0.266 W/m²K y la resistencia térmica se obtuvo el valor de 0,344 m²W/°K.

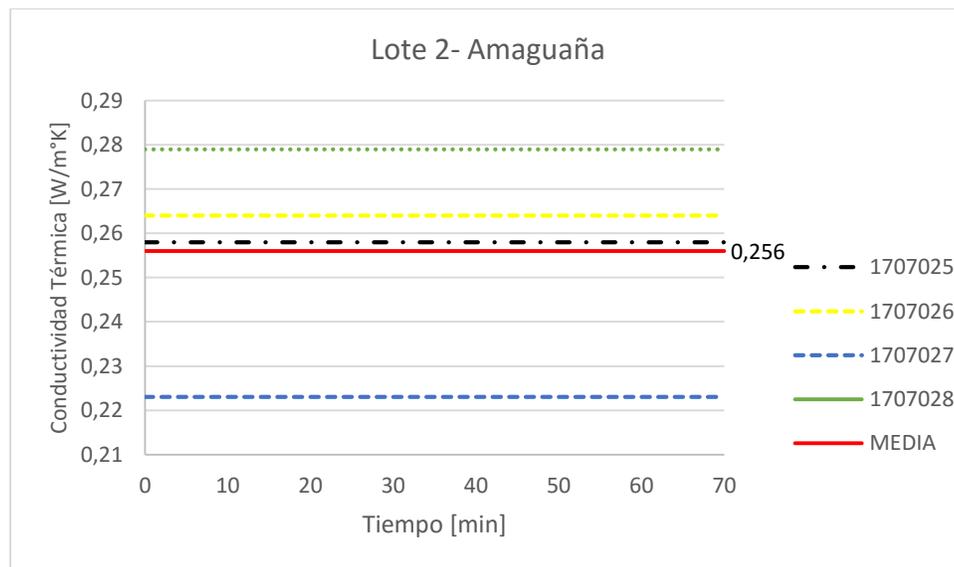


Figura 49. Conductividad térmica vs tiempo, ladrillo cerámico lote 2

En la figura 49, se ilustra las 4 gráficas lineales de cada muestra ensayada, se obtiene el rango de conductividad térmica de 0,238 a 0,289 W/m²K, por otra parte cabe mencionar que el tiempo de ensayo para cada muestra no está regulada, así que el tiempo se define hasta encontrar un estado estable, con una temperatura media de 23°C y una diferencial de temperaturas entre placas de 15°C.

En la tabla 27, se muestran los resultados del ladrillo cerámico de densidad, conductividad térmica y resistencia térmica de la Localidad de Sangolquí.

Tabla 27

Resultado de Ensayo Térmico de Ladrillo Cerámico Lote 3 Sangolquí.

Código	Largó (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Densidad kg/m ³	Conductividad Térmica W/m ^{°K}	Resistencia Térmica m ² W/°K
1707017	150,00	151,00	91,40	2576,30	1244,46	0,24	0,34
1707018	150,00	150,00	93,20	2671,20	1273,82	0,28	0,36
1707019	150,00	151,00	89,90	2516,40	1235,81	0,26	0,35
1707020	150,00	150,00	91,20	2598,90	1266,52	0,29	0,37
Promedio					1255,15	0,27	0,35

En la tabla 27, se obtuvo como resultado que la conductividad térmica del ladrillo cerámico de la Localidad de Amaguaña, tiene un valor promedio de 0.267 W/m^{°K} y la resistencia térmica 0,354 m²W/°K. Así que de los resultados obtenidos, se puede evidenciar en la Tabla 27, que todos los ladrillos cumplen la exigencia de la norma ISO 8302, de estar dentro del rango de 0,002 a 2,5 W/m^{°K}. De esta forma se evidencia que el Lote 1 la conductividad térmica está dentro del rango 0,238 a 0,289 W/m^{°K} y la resistencia térmica entre 0,317 a 0,38 m²W/°K.

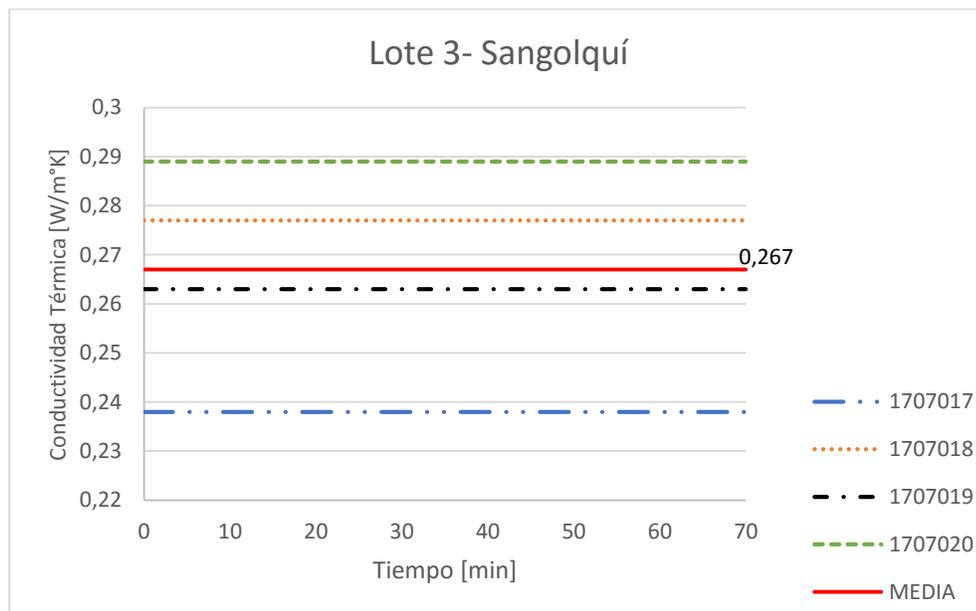


Figura 50. Conductividad térmica vs tiempo, ladrillo cerámico lote 2

En la figura 50, se puede evidenciar en la gráfica que el rango de conductividad térmica de las 4 muestras ensayadas, está entre 0,238 a 0,289 W/m°K. Por otra parte cabe mencionar que el tiempo de ensayo no está regulada, así que el tiempo se define hasta encontrar un estado estable de temperatura, se tiene una temperatura media de 23°C y una diferencial de temperaturas entre placas de 15°C.

En definitiva se tiene que para la Provincia de Pichincha, de las tres zonas investigadas se obtiene para ladrillo cerámico que la capacidad de conducir calor es de 0.263 W/m°K y la capacidad de oponerse al paso de calor es de 0,360 m²W/°K.

DISCUSIONES

Con respecto a los resultados obtenidos de capacidad de adsorción de humedad de la teja cerámica en la Provincia de Pichincha, permitió notar que del total de muestras ensayadas cumplen con el inferior al máximo establecido en la (NTE INEN 989, 1984) de 25%. Algo semejante ocurre con los resultados obtenidos en la investigación realizada por (García, 2011, pág. 69) con una capacidad máxima de adsorción 13.52% y caso parecido ocurre con la investigación realizada por (Gavilanes, 2016) con el 17.99%. Es así que, los resultados citados se relacionan al no exceder el valor máximo establecido por la norma INEN 989.

En definitiva en esta investigación el valor que representa la resistencia a la flexión de la teja es de 55,4 kgf y 2.8Mpa-28.55kg/cm², a su vez no cumple con el rango establecido de (70-100) kg/cm² o 9.8Mpa (NTE INEN 988,1984). Por otra parte, cosa parecida sucede en la investigación realizada por (Jaramillo, 2015, pág. 61), que obtiene un valor de 45.284kgf. Sin embargo existe un aporte positivo de (Gavilanes, 2016) que obtiene el valor de 88.60kg/cm² que se fundamenta en la norma (UNE-EN 1304). Dicho lo anterior se puede caracterizar la teja cerámica en un rango de (40 a 100) kgf, teniendo en cuenta los valores obtenidos en la investigación con la norma (UNE-EN 1304) que recalca que el valor máximo carga de rotura es de 101,97 kgf.

En lo que se refiere a la conductividad térmica de la teja cerámica, el valor obtenido en la investigación de 0.255 W/m^{°K} se fundamentado en la norma estándar ISO 8302 por el método de placa reguardada. Algo parecido ocurre en la investigación realizada por (Jaramillo, 2015, pág. 65), que es basado en la norma ASTM C518 obteniendo el valor de 0,824 W/m^{°K}. Las dos normas tienen como principio fundamental la ley de Fourier, teniendo en cuenta que el equipo λ – Meter EP500e es de primera generación, con exactitud, que nos permite validar los resultados obtenidos.

Como se puede evidenciar en la Tabla 34, de la totalidad de lotes ensayados, la localidad de Amaguaña no cumplió con la capacidad de adsorción de humedad inferior al máximo establecido en la (NTE INEN 296, 1978). Por otra parte el promedio de porcentaje de adsorción de humedad de las zonas investigadas fue de 23,51%, a su vez cumple lo establecido por la INEN 296.

Conviene mencionar la investigación realizada por (Gavilanes, 2016, pág. 73), obtiene un resultado de 18,76%. Con esto quiero señalar que los resultados obtenidos en la investigación se encuentran semejantes con una ligera variación.

Como se puede evidenciar en la Tabla 37, de la totalidad de los lotes ensayados de ladrillo cerámico, las muestras de localidad de Amaguaña y Sangolquí no obtuvieron la resistencia mínima a la compresión que establece la norma (NTE INEN 294, 1987). En cuanto a la media aritmética de la zona investigada se obtuvo 9,50Mpa. Cosa parecida sucede también con la investigación realizada por (Gavilanes, 2016) obtiene un valor de 8,67Mpa. Es por esto que, se puede validar el valor obtenido en la investigación con mayor énfasis.

De la totalidad de muestras de ladrillo cerámico sometidos a ensayo a flexión, la zona investigada, no cumplen con la resistencia mínima a flexión (2Mpa.) establecida en la norma (NTE INEN 295, 1977). Sin embargo en una investigación realizada por múltiples expertos proponen que el intervalo de resistencia mínima a flexión es de 1 a 1.4Mpa. (Afanador, Gerrero, & Monroy, 2011, pág. 9) Por otro lado (Gavilanes, 2016), obtiene un valor de 2,22Mpa. Conviene subrayar que los resultados obtenidos no se alinean a investigaciones antes mencionadas. Estos resultados negativos se pueden atribuir a al ser sometido al ensayo a flexión, los ladrillos tiene un elevado porcentaje de humedad.

Por lo que se refiere a la conductividad térmica de la ladrillo cerámico, el valor obtenido en la localidad de Pifo es de 0,266 W/m[°]K, en la localidad de Amaguaña es de 0,256 W/m[°]K y en la

localidad de Sangolquí es de $0,267 \text{ W/m}^\circ\text{K}$. Dicho lo anterior se puede constatar que este material no es muy buen conductor de calor sino más bien se un aislante térmico.

CONCLUSIONES

Según los datos obtenidos para las propiedades mecánicas y térmicas de los materiales de construcción se puede establecer las siguientes conclusiones.

En base a las referencias consultadas y analizadas, es incuestionable la falta de una normativa nacional relacionada a los materiales de construcción que detallen los métodos de fabricación artesanal y ensayos prácticos para la caracterización de estos materiales.

En el Ecuador no cuenta con una normativa que referencie la selección de materiales de construcción, en base al porcentaje de humedad y al confort aprovechando la energía que proporciona el medio.

Las primeras muestras tomadas de ladrillo cerámico de Amaguaña, Pifo y Sangolquí, provincia de Pichincha, cuyo material son elaborados artesanalmente se tiene las siguientes propiedades: la capacidad de adsorción es 17.80%H, resistencia a la compresión de 8,66Mpa, resistencia a la flexión es de 0.26 Mpa y la conductividad térmica es de 0.263 W/m°K. De tal forma se puede concluir los requisitos establece la norma INEN e ISO 8302 cumple con los resultados obtenidos en la investigación.

Del promedio de los lotes estudiados de teja cerámica en las Parroquias de Amaguaña, Pifo y Sangolquí, de la provincia de Pichincha, cuyo material son elaborados artesanalmente se tiene las siguientes propiedades: la capacidad de adsorción es 19.85%H, resistencia a la flexión es de 55,4kgf, conductividad térmica es de 0.255 W/m°K y la resistencia al flujo de calor es 0,111 W/m°K . De tal forma se puede concluir los requisitos que establece la norma INEN e ISO 8302 cumple con los resultados obtenidos en la investigación.

Para el caso de tejas, cuyas probetas son tomadas de Amaguaña, Pifo y Sangolquí, cuyo material de elaboración es un suelo que contiene arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad con variaciones de limos orgánicos o inorgánicos, se tiene las siguientes propiedades:

Del estudio realizado con los diferentes tipos de ladrillos, y por los resultados obtenidos al realizar los ensayos correspondientes se establece que la resistencia de un ladrillo está en relación directa con la forma estructural que presenta.

Una importante razón que justifica la variación en los resultados obtenidos de los ensayos realizados es que los materiales son elaborados de carácter artesanal, porque los procesos de elaboración no conllevan un método de elaboración específico, si no que varían según como el fabricante lo elabora.

Considerando los resultados obtenidos en los ensayos y los valores referenciales consultados de la bibliografía en el ámbito internacional, existe una discrepancia que varía de un 0.6 a un 55%, lo cual se debe a dos razones fundamentales. La primera es la variabilidad entre la materia prima de una zona a otra, y la segunda es la diferencia en el método de elaboración una con otra.

En cuanto a los lotes analizados de ladrillo, el valor de resistencia a la compresión promedio de 20.67 kg/cm² supera al valor mínimo establecido en la norma peruana NTE E.080 en un 85% aproximadamente.

El nivel de confianza (NC), una vez realizado el análisis estadístico se puede observar que tiene un NC DE 98%, dando a conocer que las tejas de Amaguaña son las que tienen mayor resistencia a la flexión promedio con 56.43 (kgf), posteriormente se encuentra el lote 2 de Pifo con 48.64 (kgf), el lote 3 de Sangolquí con 42.42 (kgf), el lote 2 de Pifo con 40.15 (kgf) y finalmente con el menor valor el lote 3 de Sangolquí con 38.78 (kgf). Se puede notar en el lote 1, 2 y 3, que a pesar de

provenir de la misma Provincia con diferente localización no tienen una resistencia similar, demostrando la influencia de la elaboración artesanal en las propiedades mecánicas de la teja.

Con respecto a las propiedades térmicas se observa que el adobe tiene una conductividad de 1.22 (W/m K), y un calor específico de 657 (J/kg K). En el caso de la teja la conductividad es de 0.82 (W/m K), y el calor específico es de 806 (J/kg K). Por lo tanto el adobe con respecto a la teja tiene mayor conductividad térmica pero menor calor específico. Lo que quiere decir que el adobe conduce mejor el calor y necesita menos energía para elevar la temperatura de determinada masa; y al contrario, considerando la misma masa, la teja conduce en menor medida el calor y necesita más energía para elevar la temperatura.

RECOMENDACIONES

1. Plantear una normativa a nivel nacional, la cual detalle un método fundamentado que normalice a los propietarios dedicados a la alfarería de materiales vernáculos, y así regular cuáles son las condiciones óptimas que debe cumplir en cuanto a las propiedades físicas, mecánicas y térmicas.
2. Una opción que nos permitiría obtener un material más homogéneo, sería implementar un proceso estandarizado para la elaboración de ladrillo y teja artesanal y así obtendríamos una reducción en la variación de resultados.
3. Durante el proceso de corte de las probetas se consiguió identificar la presencia de materiales extraños como metales, vidrios, piedras, maderas o plásticos, por lo que es necesario tener herramientas adecuadas para su corte como: amoladora, sierra, serrucho, lima y lijas que facilitan obtener un material más uniforme.
4. La presencia de materiales extraños en las probetas, afectan en los resultados obtenidos, por lo que es necesario plantear en la normativa que estos materiales se deben filtrar en el proceso de elaboración, para que no alteren los diferentes ensayos.
5. Verificar que los materiales utilizados para los ensayos estén libres de partículas sueltas en la superficie, las aristas y que los vértices estén en sin deterioros visibles. Esto incide en los resultados porque perturba donde va a ser ocurrida la falla del material.
6. Para una mejor contribución en todas sus propiedades se recomienda que el ladrillo cerámico trabaje a un porcentaje de humedad al 25%. A este porcentaje de humedad las propiedades del material no tienden a variar considerablemente.
7. En el ensayo de flexión, se requiere que la fuerza aplicada se distribuya uniformemente y sea normal al centro del lomo de la teja. Este hecho no se da en tejas artesanales, por lo que

el implementar un soporte con puntos de apoyo de altura variable suple la aleatoriedad en las dimensiones del material.

8. Para una mejor contribución del material expuesto a esfuerzos de compresión y flexión, se recomienda utilizar ladrillos que presentan mejores propiedades mecánicas y físicas como ladrillos macizos expuestos a compresión.

REFERENCIAS

- Afanador, G. N., Gerrero, G. G., & Monroy, S. R. (2011). Mechanical & Physical Properties of Solid, Masonry Ceramic Bricks. Redalyc.org, 17.
- Alomonte, H., Coviello, M., & Lutz, W. (2003). Energías renovables y eficiencia energética en América Latina. CEPAL, 7-68.
- García, M. (2011). Análisis de las Características Físicas y del Comportamiento Mecánico de las Tejas Cerámicas Curvas Antiguas y su Evolución en el Tiempo. Investigación, Madrid.
- Gavilanes, C. F. (2016). Normalización y Estandarización de la Fabricación de Ladrillos y Tejas del Cantón Chambo. Riobamba.
- Guerra, X. (2015). Caracterización física, mecánica y térmica de materiales vernáculos de la región sierra del Ecuador. Quito.
- INEN 292. (1977). Ladrillos Cerámicos Muestreo. Quito: NTC INEN.
- INEN 293. (2014). Ladrillos Cerámicos. Definiciones. Clasificaciones y Condiciones Generales. Quito: NTE INEN.
- INEN 297. (1977). Ladrillos cerámicos. Requisitos. Quito: NTE INEN.
- Jaramillo, A. A. (2015). Caracterización Física, Mecánica y Térmica de Materiales Vernáculos de la Región Sierra del Ecuador. Quito.
- Lloret, A. (2013). Eficiencia energética en edificaciones nuevas modelo de contrato por rendimiento energético. Elepcosa, Energía para el buen vivir, 12.
- Lloret, A. (2013). Eficiencia energética en edificaciones nuevas modelo de contrato por rendimiento energético. Ecuacier, 12.

Lund, P. (2015). La energía urbana sostenible es el futuro. Crónica ONU, 1.

Montero, G. (2012). Propiedades térmicas en los materiales de la arquitectura vernácula.

Tecamachalco.

NTE INEN 986. (1982). Tejas Cerámicas. Definiciones. Clasificación y Condiciones Generales.

Quito: NTE INEN.

NTE INEN 987. (1982). Tejas Cerámicas. Muestreo. Inspección y Recepción. Quito.

NTE INEN 990. (1982). Tejas Cerámicas. Requisitos. Quito.

Verduch, A. G. (1975). Método de ensayo para la determinación de la capacidad de absorción de agua de los ladrillos. España.

Yepez, D. (2012). Análisis de la arquitectura vernácula del Ecuador: Propuestas de una arquitectura contemporánea sustentable. Senecyt.

ANEXOS

ANEXO A

Características técnicas de la maquina electro-hidráulica universal de la Universidad Internacional SEK.



Modelo y Nombre

WAW- 600C Computer Control Electra-hydraulic Servo-controlled Universal Testing Machine
(worm gear operated)

Uso del equipo

Esta máquina adopta un cilindro de aceite destinado al control del ajuste descendente que se utiliza principalmente para el metal, la tensión no metálica, la compresión, la flexión y tracción.

Prueba de funcionamiento y procesamiento de datos de acuerdo con GB / T 228-2010 "materiales metálicos ensayo de tracción" requisitos, si cambia la estructura y reemplazo de piezas relacionadas y puede cumplir con los requisitos de normas ASTM, ISO y otros estándares internacionales. La

máquina es adecuada para la metalurgia, construcción, industria ligera, aviación, el espacio, materiales, instituciones terciarias, unidades de investigación científica, etc.

Parámetros técnicos principales:

1. Fuerza máxima de prueba: 600 KN
2. Rango de medición de la fuerza de prueba: 4% -100% FS (escala completa)
3. Valor de la fuerza de prueba error relativo: $\leq \pm 1\%$
4. Precisión de la medida de la deformación: $\pm 0.5\%$ FS
5. Rango de control de la tasa de estrés: 1 mp / S - 60 mp / S
6. Máximo espacio de prueba de tracción: 1000 mm
7. Espacio de prueba de compresión máxima: 900 mm
8. Espaciado de columnas: 520 mm
9. Gama redonda de sujeción del espécimen: $\varnothing 13 - \varnothing 40\text{mm}$
10. Diámetro de la muestra de corte: $\varnothing 10$ mm
11. Espesor de sujeción del espécimen plano: 70 mm
12. Tamaño de la placa de presión: $\varnothing 180\text{mm}$
13. Carrera del pistón: 250 mm
14. Ancho de los rodillos de soporte: 160mm
15. Ancho del rodillo de apoyo de flexión: 140mm

16. Medición de la deformación: un extensómetro, calibre estándar 50 mm, deformación máxima 10 mm

17. Software y la interfaz de usuario: software operativo WINDOWS e interfaz de conversación hombre-máquina interactiva

ANEXO B

Características técnicas de la balanza digital de la Universidad Internacional SEK.



Modelo y nombre

Boeco BWL 61

Funciones

Pesaje en porcentaje (%), control de peso, pesaje debajo de la balanza, pesaje de animales, procedimientos GLP, unidad de medida (Newton)

Precisión básica con calibración externa y batería interna recargable con cargador de energía. Esto los hace independientes de una red de alimentación (portátil).

Especificaciones

1. Carga máxima: 6000 g
2. Legibilidad: 0,1 g
3. Rango de tara: 6000 g
4. Reproducibilidad: 0,3 g
5. Linealidad: $\pm 0,3$ g

6. Tamaño del platillo: 195 x 195 mm
7. Tiempo de estabilización: 3 seg.
8. Calibración: externa
9. Interfaz: RS 232
10. Pantalla: LCD retro-iluminada
11. Temperatura de trabajo: +15°C - +30°C
12. IP rating: IP 43
13. Alimentación: 110-230 V AC, 50/60 Hz
14. Tiempo de operación con baterías: 45 horas (promedio)
15. Peso neto/ bruto: 2,8 / 4,3 kg
16. Dimensiones / Empaque: 335x210x88 / 470x380x336 mm

ANEXO C

Características técnicas del equipo de ensayo térmico del Instituto Ecuatoriano de Energías INER.



Modelo y nombre

Thermal Conductivity Test Tool λ -Meter EP500e

Funciones

El equipo está especialmente diseñado para probar el aislamiento térmico de los materiales de construcción, su funcionamiento está basado por el método de placa resguarda. Las pruebas se realizan de acuerdo con ISO 8302, EN 1946-2, EN 12664, EN 12667, EN 12939, ASTM C177 y DIN 52612.

En función de los resultados de las pruebas individuales, la herramienta puede calcular coeficiente de temperatura y de conductividad térmica mediante la aplicación de regresión lineal.

Especificaciones Técnicas

1. Modo de medición: Medición única o series de hasta 3 mediciones individuales a diferentes temperaturas.

1. Temperatura de medición: de 10 °C hasta 40 °C, opcional de -10 y hasta 50 ° C.
2. Diferencia de temperatura: de 5 °K hasta 15 °K
3. Rango de medición: de $R = 0,250 \dots 14,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ & $\lambda = 1 \dots 250 \text{ mW}/\text{m} \cdot \text{K}$
4. Espesor de la muestra: 10 hasta 120 mm
5. Dimensiones de muestra: Óptimo: 500 x 500 mm², tamaño de la zona de medición como mínimo.
6. Zona de medición: Elegible: 250 x 250 mm², 200 x 200 mm², 150 x 150 mm²
7. Dimensiones (Largo x Ancho x Alto): 63 x 63 x 88 cm³
8. Fuente de alimentación: 230 V / 50 Hz
9. Consumo de energía: Max 450 W
10. Unidad de enfriamiento / calefacción: 12 módulos Peltier de alto rendimiento refrigerado por aire.
11. Precisión de la medición: <1,0% (en general <0,7%)

ANEXO D**5. PROCEDIMIENTO****5.1 Obtención de las muestras**

La extracción de la muestra puede ser:

- a) aleatoria, cuando cada elemento del lote tiene la misma probabilidad de ser representado en la muestra,
- b) estratificada, cuando el lote puede ser dividido en cierto número de grupos o estratos, obteniéndose de cada uno de ellos una muestra separada,
- c) sistemática, cuando los componentes del lote se presentan en una forma ordenada, simplificándose el muestreo al escoger sus unidades a intervalos regulares hasta completar la muestra especificada.

La extracción de las muestras se establecerá por convenio previo entre las dos partes, pudiendo efectuarse durante las operaciones de movimiento o descarga del horno.

5.2 Identificación

Cada unidad de muestreo debe marcarse adecuadamente para su identificación, cuidando que las marcas no ocupen más del 5 % de la superficie de la muestra.

5.3 Tamaño de la muestra

El número de unidades de muestreo de un lote, para la verificación de cada uno de los requisitos establecidos en NTE INEN 297; debe ser conforme a la tabla 1.

5.4 Criterios de aceptación o rechazo de los lotes de inspección

Los planes de muestreo corresponden a un nivel de calidad aceptable (AQL) del 6,5 % y un nivel 5-2 de inspección especial, de acuerdo con los requisitos establecidos en la NTE INEN-ISO 2859-1.

Cuando el número de unidades defectuosas de la muestra sea igual al número de aceptación Ac_1 de la tabla 1, el lote en cuestión será aceptado.

Cuando el número de unidades defectuosas de la muestra sea mayor o igual que el número de rechazo Re_1 , de la tabla 1, el lote será rechazado.

Cuando el número de unidades defectuosas de la muestra se halle entre el número de aceptación Ac_1 y el número de rechazo Re_1 , se tomará una segunda muestra del mismo tamaño que la inicial y se realizarán aquellas pruebas en las que, al ensayarse la primera muestra, se hayan presentado ladrillos defectuosos.

Las unidades defectuosas encontradas en la muestra inicial y en la segunda de reensayo deberán sumarse.

Si el número total de unidades defectuosas es igual o menor que el número de aceptación Ac_2 , el lote en cuestión será aceptado.

Si el número total de unidades defectuosas es mayor o igual que el número de rechazo Re_2 , se rechazará el lote.

TABLA 1. Criterio de aceptación y rechazo de los lotes de inspección

Tamaño del lote	Unidades de muestreo	Ac_1	Re_1	Ac_2	Re_2
Hasta 35 000	5	0	2	1	2
Mayor de 35 000	8	0	3	3	4

5.5 Acta de muestreo

Deberá suscribirse un acta de muestreo que incluya la siguiente información:

- a) número de la presente NTE INEN de muestreo,
- b) lugar de procedencia de los ladrillos de las muestras,
- c) lugar de toma de las muestras,
- d) identificación del lote,
- e) número de muestras formadas,
- f) observaciones que se consideren necesarias,
- g) nombres y firmas de las partes interesadas,
- h) tipos de ladrillos y marcas comerciales,
- i) fecha de muestreo.

ANEXO E

5.2 Preparación de las muestras

5.2.1 Las muestras a utilizarse consisten en mitades de ladrillos con caras planas y paralelas, obtenidas de cinco ladrillos secos, enteros y sin defectos apreciables, cortados mediante herramientas adecuadas, para evitar que se deterioren las aristas.

5.2.2 En caso de que las muestras presenten irregularidades de forma o sus caras tengan estrías o ranuras, se someterán al siguiente tratamiento de preparación:

- a) Se recubren las caras de la muestra, que van a estar en contacto con la máquina, con una capa compuesta por una mezcla que contenga azufre en proporción de 40 a 60% o (en masa) con arcilla, ceniza volcánica u otro material inerte. La aplicación de esta capa se hará de la manera indicada en el Anexo A.
- b) Una vez aplicadas las capas de la mezcla de azufre, se dejará enfriar durante un tiempo mínimo dos horas.
- c) Cuando la superficie de la muestra presente oquedades, se llenarán con pasta de cemento Pórtland, que se dejará fraguar durante 24 horas, después de las cuales se procederá a la aplicación de la capas.

5.3 Procedimiento

5.3.1 Las muestras se ensayan centrándolas con respecto a la rótula y de manera que la carga se aplique en la dirección de su menor dimensión.

5.3.2 Aproximadamente hasta la mitad de la carga máxima probable, se aplica ésta a cualquier velocidad. La carga restante se aplica gradualmente, en un tiempo no inferior a un minuto ni superior a dos.