



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Química

Determinación del rango de temperaturas para la cocción de ladrillos y tejas artesanales del cantón Cuenca, en base a los requisitos de absorción de agua y resistencia mecánica establecidos en las normas NTE INEN 3049 Parte 3 y NTE INEN 990

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de
Ingeniero Químico

Autor:

Christian Fernando Picón Sibri

CI: 0105368344

Correo electrónico: Christian_cfps910@hotmail.com

Director:

Sandra Catalina Peñaherrera Palacios

CI: 0102102142

Cuenca-Ecuador

15-Marzo-2022



RESUMEN

El presente trabajo de titulación propone un rango de temperatura para ladrillos no estructurales, de perforación horizontal y de tipo macizo, y para tejas, vidriadas y sin vidriar del tipo plano y curva, en donde se cumplan con los requisitos establecidos en la Normativa Ecuatoriana vigente, con el objetivo de asistir al proyecto “Mejoramiento de la Eficiencia energética y reducción de contaminantes en hornos de ladrilleras artesanales del Cantón Cuenca”

El desarrollo de esta investigación se realizó en dos etapas, en la primera se levantó información de los artesanos ladrilleros y tejeros de los sectores de Racar y el Tejar del Cantón Cuenca, con el fin de obtener datos de los ciclos de cocción y las capacidades de cocción de los hornos utilizados; en la segunda etapa se diseñaron ciclos de cocción de estos materiales y con los productos obtenidos se hicieron ensayos de absorción de agua en base a la norma NTE INEN 989 para las tejas y la norma INEN 3049 parte 5 para los ladrillos, así mismo se hicieron los ensayos de resistencia mecánica para estos materiales, basados en la norma NTE INEN 988 para las tejas y la norma NTE INEN 3049 parte 5 para los ladrillos. Una vez obtenidos los resultados de cada prueba se procedió a establecer la temperatura óptima para el cumplimiento de los requisitos estipulados en la norma NTE INEN 990 y en la norma NTE INEN parte 3 para tejas y ladrillos respectivamente.

Es así que se determinó que las tejas tipo plana y curva sin vidriar, respectivamente, se deben cocerse desde los 650°C para poder cumplir los requisitos de las normas INEN, en cambio, las tejas tipo plana vidriadas deben hacerlo por encima de los 1025°C y las tejas tipo curva vidriadas a 1150°C.

Por otra parte, los ladrillos de perforación horizontal deben cocerse por encima de los 1025°C, mientras que los ladrillos macizos deben hacerlo por encima de los 1200°C, razón por la cual se recomendó hacer cambios en la composición de la pasta debido a que los hornos artesanales estudiados no llegan a temperaturas tan altas.

Palabras claves: Ladrillos. Tejas. Normativa ecuatoriana. Ciclo de cocción. Absorción de agua. Resistencia mecánica. Temperatura óptima.



ABSTRACT

The present titling work proposes a temperature range for non-structural bricks, horizontal drilling and solid type, and for tiles, glazed and unglazed of the flat and curved type, where the requirements established in the current Ecuadorian Regulations are met, with the aim of attending the project "Improvement of Energy Efficiency and reduction of pollutants in artisanal brick kilns of the Canton Cuenca"

The development of this research was carried out in two stages, in the first one information was collected from the brick and weaving artisans of the Sectors of Racar and Tejar of the Canton Cuenca, in order to obtain data on the cooking cycles and the cooking capacities of the ovens used; in the second stage, cooking cycles of these materials were designed and with the products obtained, water absorption tests were carried out based on the NTE INEN 989 standard for tiles and the INEN 3049 part 5 standard for bricks, as well as mechanical resistance tests were carried out for these materials, based on the NTE INEN 988 standard for tiles and the NTE INEN 3049 part 5 standard for bricks. Once the results of each test were obtained, the optimum temperature was established for compliance with the requirements stipulated in the NTE INEN 990 standard and in the NTE INEN part 3 standard for tiles and bricks respectively.

Thus, it was determined that the flat and curved unglazed tiles, respectively, must be cooked from 650 ° C to meet the requirements of the INEN standards, on the other hand, glazed flat type tiles must do so above 1025 ° C and curved tiles glazed at 1150 ° C.

On the other hand, horizontal drilling bricks should be fired above 1025°C, while solid bricks should be fired above 1200°C, which is why it was recommended to make changes in the composition of the paste because the artisanal ovens studied do not reach such high temperatures.

Keywords: Bricks. Tiles. Ecuadorian regulations. Cooking cycle. Water absorption. Mechanical resistance. Optimum temperature.



ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN.....	15
2.	OBJETIVOS.....	17
3.	MARCO TEÓRICO.....	18
3.1	Definiciones.....	18
3.1.1	Ladrillo.....	18
3.1.2	Ladrillo macizo.....	18
3.1.3	Ladrillo de perforación horizontal.....	18
3.1.4	Ladrillos no estructurales.....	18
3.1.5	Teja cerámica.....	18
3.1.6	Teja Curva.....	19
3.1.7	Teja plana.....	19
3.1.8	Tejas vidriadas.....	19
3.2.	Procedimiento para la obtención de ladrillos artesanales.....	19
3.2.1.	Obtención de Materias Primas.....	19
3.2.2.	Preparación de las materias primas y dosificación.....	19
3.2.3.	Mezcla y batido de las arcillas.....	20
3.2.4.	Moldeo.....	20
3.2.5.	Secado.....	21
3.2.6.	Cocción (quema).....	21
3.2.7.	Almacenamiento.....	23
3.3.	Proceso para la fabricación de tejas artesanales.....	23
3.3.1.	Preparativos del área de trabajo.....	24
3.3.2.	Dosificación.....	24



3.3.3.	Mezclado y moldeado.....	25
3.3.4.	Secado.....	25
3.3.5.	Cocción.....	26
3.3.6.	Vidriado.....	26
3.3.7.	Cocción de Vidriado.....	27
3.4.	Factores que afectan las características finales de un producto cerámico	27
3.4.1.	Humedad.....	28
3.4.2.	Contracción de secado.....	29
3.4.3.	Absorción de agua.....	31
3.4.4.	Resistencia mecánica.....	39
3.5.	Cocción	42
3.5.1.	El ciclo de Cocción.....	42
3.5.2.	Color de cocción.....	44
3.5.3.	Acción del calor sobre las materias primas	45
3.5.4.	Vidriado cerámico.....	52
3.6.	Caracterización de los hornos	53
3.6.1.	Tipos de combustibles utilizados.....	54
3.7.	Herramientas de análisis estadístico	55
3.7.1.	Diagramas de cajas	55
3.7.2.	Distribución normal.....	55
4.	METODOLOGÍA.....	57
4.1.	Tipo de Estudio.....	57
4.2.	Lugar de la Investigación.....	57
4.3.	Muestra	58
4.4.	Estudios preliminares.....	58
4.4.1.	Caracterización de los hornos artesanales de ladrillos y tejas.....	58
4.4.2.	Análisis de humedad de los materiales cerámicos.....	58



4.4.3.	Determinación de tiempos y temperaturas de los hornos de cocción.....	60
4.4.4.	Ciclos de cocción.....	61
4.5.	Absorción de agua	62
4.5.1.	Absorción de agua en tejas y ladrillos.....	62
4.6.	Resistencia mecánica de los materiales cerámicos	63
4.6.1.	Resistencia a la flexión en tejas.....	63
4.6.2.	Resistencia mecánica en ladrillos.....	63
4.7.	Análisis estadístico	64
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	65
5.1.	Determinación de humedad	65
5.2.	Determinación de tiempos y temperaturas de cocción de hornos artesanales .	67
5.3.	Adaptación de ciclos de cocción.....	67
5.3.1.	Ciclo de cocción para tejas	68
5.3.2.	Ciclos de Cocción para ladrillos.....	74
5.4.	Absorción de agua	77
5.4.1.	Absorción en tejas	77
5.4.2.	Absorción de agua en ladrillos	89
5.5.	Resistencia Mecánica.....	95
5.5.1.	Resistencia a la flexión en Tejas	95
5.5.2.	Resistencia a la compresión en Ladrillos	108
5.6.	Resumen del capitulo.....	113
6.	CONCLUSIONES.....	118
7.	RECOMENDACIONES	120
8.	BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS	121
5.	ANEXOS.....	127



Índice de Figuras

Figura 1. Comparación entre métodos de determinación de Humedad. Fuente: Elaboración propia.....	66
Figura 2. Gráfica de caja de absorción de agua para diferentes temperaturas. Fuente: Elaboración propia.....	78
Figura 3. Gráfico de Absorción de agua y Temperatura de Cocción en tejas tipo B. Fuente: Elaboración propia.....	79
Figura 4. Gráfica de Caja de absorción de agua para tejas tipo D. Fuente: Elaboración propia.....	81
Figura 5. Gráfico de Absorción de agua vs temperaturas de Cocción en tejas tipo D. Fuente: Elaboración propia.....	81
Figura 6. Comparación de porcentajes de absorción de agua entre tejas vidriadas y sin vidriar. Fuente: Elaboración propia.....	82
Figura 7. Gráfica de caja de absorción de agua en tejas tipo A. Fuente: Elaboración propia.....	84
Figura 8. Gráfica de Absorción de Agua vs Temperatura de Cocción en tejas tipo curva sin vidriar. Fuente: Elaboración propia.....	85
Figura 9. Gráfica de cajas de absorción de agua en tejas tipo C. Fuente: Elaboración propia.....	86
Figura 10. Gráfica de Absorción de agua y porcentaje de vidrio empleado vs temperatura de Cocción en tejas tipo curva Vidriadas. Fuente: Elaboración propia.....	87
Figura 11. Comparación de absorción de agua entre tejas vidriadas y sin vidriar de tipo curva. Fuente: Elaboración propia.....	88
Figura 12. Gráfica de caja de Absorción de agua en ladrillos PH. Fuente: Elaboración propia.....	90
Figura 13. Gráfica de Absorción de Agua en ladrillos Huecos. Fuente: Elaboración propia.....	91
Figura 14. Gráfica de caja de Absorción de agua en ladrillos Macizos. Fuente: Elaboración propia.....	93
Figura 15. Gráfica de Absorción de Agua en ladrillos Macizos. Fuente: Elaboración propia.....	94
Figura 16. Gráfica de caga de Carga máxima soportada por tejas tipo B. Fuente: Elaboración propia.....	97



Figura 17. Gráfica de Módulo de Rotura vs Temperaturas de Cocción en tejas tipo plana B. Fuente: Elaboración propia 98

Figura 18. Gráfica de caja de Carga máxima empleada en tejas tipo D. Fuente: Elaboración propia..... 100

Figura 19. Gráfica de Módulo de Rotura vs Temperatura de Cocción de tejas tipo D. Fuente: Elaboración propia..... 100

Figura 20. Comparación de resistencia a la flexión entre tejas tipo plana. Fuente: Elaboración propia..... 101

Figura 21. Gráfica de caja de Carga máxima a la flexión en tejas tipo A. Fuente: Elaboración propia..... 103

Figura 22. Gráfico de Modulo de Rotura vs temperatura de cocción de tejas tipo A. Fuente: Elaboración propia..... 103

Figura 23. Gráfica de Resistencia a la Flexión y porcentaje de vidrio empleado vs temperatura de Cocción en tejas tipo Curva Vidriadas. Fuente: Elaboración propia... 105

Figura 24. Gráfica de intervalos de módulo de rotura vs temperatura de Cocción en tejas tipo C. Fuente: Elaboración propia..... 106

Figura 25. Comparación de resistencia a la flexión entre tejas tipo curva. Fuente: Elaboración propia..... 107

Figura 26. Gráfica de caja de resistencia a la Compresión de ladrillos de PH. Fuente: Elaboración propia..... 109

Figura 27. Resistencia a la compresión en ladrillos de perforación horizontal. Fuente: Elaboración propia..... 110

Figura 28. Gráfica de Caja de resistencia a la Compresión en ladrillos Macizos. Fuente: Elaboración propia..... 112

Figura 29. Gráfica de resistencia a la compresión vs temperatura de cocción en ladrillos macizos. Fuente: Elaboración propia 112



Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Extrusora de ladrillos. Fuente: (Chapoñan Peche & Rojas Pérez, 2019) .	21
Ilustración 2. Ladrillos macizos y huecos secos. Fuente: Elaboración propia	21
Ilustración 3. Ladrillos cocidos en horno del laboratorio de Cerámica de la Universidad de Cuenca. Fuente: Elaboración propia	22
Ilustración 4. Horno tipo volcán. Fuente: (Lujan, 2015)	23
Ilustración 5. Colores de tejas. Fuente: (ArchDaily, 2022)	24
Ilustración 6:Galpón para tejas. Fuente: Elaboración propia	25
Ilustración 7. Cocción de tejas en horno de laboratorio. Fuente: Elaboración propia....	26
Ilustración 8:Vidriado de tejas. Fuente: Elaboración propia	27
Ilustración 9: Tejas tipo curva vidriadas en el laboratorio. Fuente: Elaboración propia	27
Ilustración 10:Mecanismo de la contracción al secado. Fuente: (Barba et al., 2002)	30
Ilustración 11: Comportamiento térmico de materias primas cerámicas tradicionales. Fuente: (Aparicio & Galán, 2006).....	45
Ilustración 12: Inversión del Cuarzo a distintas temperaturas. Fuente: (Barba et al., 2002)	46
Ilustración 13. Representación de sinterización. Fuente: (Asociación española de Técnicos Cerámicos & SACMI, 2004).....	47
Ilustración 14: Método de determinación de humedad mediante termobalanza. Fuente: Elaboración propia.....	60
Ilustración 15: Método de determinación de humedad mediante estufa. Fuente: Elaboración propia.....	60
Ilustración 16: Colocación de las termocuplas en el horno artesanal. Vista frontal y lateral. Fuente: Elaboración propia.....	61
Ilustración 17: Equipo de ensayos de resistencia a la flexión y compresión del laboratorio de Construcciones y Aplicaciones Bioclimáticas de la Universidad de Cuenca. Fuente: Elaboración propia.....	63
Ilustración 18: Equipo de ensayos de Compresión de la Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca. Fuente: Elaboración propia	64



Índice de Tablas

Tabla 1. Requisitos de Absorción de agua en tejas. Fuente: (NTE INEN 990, 1982) ..	38
Tabla 2. Requisitos de absorción de agua en ladrillos no estructurales. Fuente: (NTE INEN 3049 Parte 3, 2018)	39
Tabla 3. Requisitos de resistencia a la flexión en tejas. Fuente: (NTE INEN 990, 1982)	41
Tabla 4. Requisitos de resistencia a la compresión en ladrillos o estructurales. Fuente: (NTE INEN 3049 Parte 3, 2018)	42
Tabla 5. Temperatura de descomposición de compuestos más habituales de las arcillas. Fuente: (Barba et al., 2002)	50
Tabla 6. Resumen determinación de Humedad. Fuente: Elaboración propia	66
Tabla 7. Ciclos de Cocción para tejas sin vidriar. Fuente: Elaboración propia.....	68
Tabla 8. Ciclos de cocción para vidriado de tejas. Fuente: Elaboración propia.....	72
Tabla 9. Ciclos de cocción para ladrillos. Fuente: Elaboración propia	74
Tabla 10. Análisis de Resultados de Absorción de agua en tejas tipo plana sin vidriar. Fuente: Elaboración propia.....	77
Tabla 11. Análisis de Resultados de Absorción de agua en tejas tipo plana Vidriadas. Fuente: Elaboración propia.....	80
Tabla 12. Análisis de Resultados de Absorción de agua en tejas tipo Curva sin vidriar. Fuente: Elaboración propia.....	83
Tabla 13. Análisis de Resultados de Absorción de agua en tejas tipo Curva Vidriadas. Fuente: Elaboración propia.....	85
Tabla 14. Análisis de resultados de Absorción de Agua en Ladrillos de perforación horizontal. Fuente: Elaboración propia	89
Tabla 15. Análisis de resultados de Absorción de Agua en Ladrillos Macizos. Fuente: Elaboración propia.....	92
Tabla 16. Análisis de Resultados de Resistencia a la Flexión en tejas tipo B. Fuente: Elaboración propia.....	96
Tabla 17. Análisis de resultados de Resistencia a la flexión en tejas tipo plana vidriadas. Fuente: Elaboración propia.....	99



Tabla 18. Análisis de Resultados de Resistencia a la flexión en tejas tipo Curva sin vidriar.
Fuente: Elaboración propia..... 102

Tabla 19. Análisis de resultados de Resistencia a la flexión en tejas tipo curva vidriadas.
Fuente: Elaboración propia..... 104

Tabla 20. Análisis de resultados de Resistencia a la Compresión en ladrillos de perforación horizontal. Fuente: Elaboración propia 108

Tabla 21. Análisis de resultados de Resistencia a la Compresión en ladrillos Macizos 111

Tabla 22. Resumen de los resultados de Absorción de agua y de resistencia mecánica.
Fuente: Elaboración propia..... 113



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Christian Fernando Picón Sibri en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Determinación del rango de temperaturas para la cocción de ladrillos y tejas artesanales del cantón Cuenca, en base a los requisitos de absorción de agua y resistencia mecánica establecidos en las normas NTE INEN 3049 Parte 3 y NTE INEN 990", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 23 de marzo de 2022

Christian Fernando Picón Sibri

C.I: 0105368344



Cláusula de Propiedad Intelectual

Christian Fernando Picón Sibri, autor/a del trabajo de titulación “Determinación del rango de temperaturas para la cocción de ladrillos y tejas artesanales del cantón Cuenca, en base a los requisitos de absorción de agua y resistencia mecánica establecidos en las normas NTE INEN 3049 Parte 3 y NTE INEN 990”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 23 de marzo de 2022.

Christian Fernando Picón Sibri

C.I: 0105368344



DEDICATORIA

Este trabajo de investigación lo dedico a todas esas personas que me ayudaron a llegar a este punto de mi vida, ya que sin ellos no hubiese podido alcanzar mis metas, en especial, a mi padre José Picón y mi madre Nube Sibri que siempre estuvieron allí apoyándome en cada momento y me enseñaron a seguir adelante pese a las adversidades.

Mamá, Papá les estoy eternamente agradecido y les ofrezco este trabajo de titulación como muestra de gratitud y enorme cariño. Los amo.



1. INTRODUCCIÓN

Según el levantamiento de información del proyecto en conjunto entre la Universidad Politécnica Salesiana y la Universidad de Cuenca y, financiado por la Comisión de Gestión Ambiental (CGA) del GAD municipal del cantón Cuenca, “Mejoramiento de la Eficiencia energética y reducción de contaminantes en hornos de ladrilleras artesanales del Cantón Cuenca” en la ciudad, parte de la producción de ladrillos y tejas cerámicas se realiza de manera artesanal, es así que existen hasta la fecha aproximadamente 601 ladrilleras, que en su mayoría usan hornos artesanales, los cuales emiten altas cantidades de gases de efecto invernadero que generan contaminación al ecosistema, debido a la mala tecnificación en la fabricación y cocción “quema” tanto de ladrillos como de tejas. Es por ello, que a nivel técnico la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca, mediante proyectos de vinculación con la sociedad como el mencionado proyecto, ha venido realizando mejoras en el sector desde el año 2014. En las intervenciones realizadas en el sector se constató que los hornos usados en la producción de ladrillos y tejas no alcanzan las temperaturas adecuadas, además de que contribuyen seriamente a la contaminación ambiental. Mediante una investigación de campo se calculó que la emisión de gases de efecto invernadero producido en los hornos artesanales de tiro invertido presentan concentraciones de CO (2944 mg/m³), SO_x (13 mg/m³), NO_x (69 mg/m³) y 49 mg/m³ de material particulado, además de que solo el 8,7% de la energía del combustible se aprovecha como calor para la cocción de ladrillos, mientras que el 54,1 % son pérdidas al medio ambiente (Cabrera & Faicán, 2019).

Además, según el levantamiento de datos realizado por el proyecto anteriormente mencionado, los productores de ladrillos y tejas artesanales de las parroquias de Racar y Sinincay no conocen a ciencia cierta la temperatura o rango de temperatura que se debe conseguir para que el producto cocido alcance las propiedades establecidas por la Normativa INEN vigente en el país, incluso, algunos productores afirman nunca antes haber hecho monitoreos de las temperaturas en sus hornos de producción.

Para cumplir con uno de los objetivos de este proyecto, es necesario conocer con mayor exactitud el rango de temperatura en el cual se consiga una cocción adecuada que permita que los ladrillos y tejas obtenidos, tengan las características de calidad necesarias establecidas en las normas NTE INEN 3049 parte 3 y NTE INEN 990, para absorción de



agua y resistencia mecánica. Conocer el rango de temperaturas adecuadas para la cocción de ladrillos y tejas cerámicas es esencial en el diseño de los hornos artesanales, ya que las temperaturas que se registran dentro de los mismos, tienen un rango de variación muy amplio en diferentes partes del horno, que conlleva a la obtención de productos poco o excesivamente cocidos, lo que dificulta el cumplimiento de los requisitos mínimos de calidad.

Este trabajo de titulación tiene por objetivo determinar el rango de temperatura para la cocción (quema) de ladrillos y tejas artesanales, para garantizar su calidad en el mercado.



2. OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar el rango de temperaturas óptimas de cocción en el que los ladrillos y tejas artesanales, cumplan con los requisitos mínimos establecidos en la normativa vigente.

Objetivos específicos

- Determinar los rangos de temperaturas óptimas de cocción de: ladrillos de perforación horizontal y ladrillos macizos obtenidos de manera artesanal para que cumplan con los requisitos de absorción de agua y resistencia mecánica establecidos en la norma NTE INEN 3049 parte 3.
- Determinar los rangos de temperaturas óptimas de cocción de: tejas planas y curvas, vidriadas y sin vidriar obtenidas de manera artesanal para que cumplan con los requisitos de absorción de agua y resistencia mecánica establecidos en la norma NTE INEN 990



3. MARCO TEÓRICO

3.1 Definiciones.

En el siguiente apartado se definen algunos de los términos más usados en el desarrollo de este trabajo de titulación, con el fin de distinguir entre las variedades de tejas y ladrillos que existen actualmente en el mercado nacional y sobre todo para puntualizar al tipo de material al que se hace referencia, además se describe el proceso de producción de cada uno de estos materiales para la construcción.

3.1.1 *Ladrillo.*

La Norma INEN 3049 parte 1 define ladrillo como un producto cerámico elaborado en una extensa gama de variedades, formas y tamaños que se usan para construir paredes. Dichos tamaños pueden variar de acuerdo a las funciones constructivas, estructurales o arquitectónicas que se requieran. Su aplicación es tan versátil que se utiliza en prácticamente en cualquier construcción arquitectónica (NTE INEN 3049 Parte 1, 2018)

3.1.2 *Ladrillo macizo.*

Son ladrillos cerámicos, generalmente de forma rectangular, los cuales pueden o no tener perforaciones que aligeran su peso hasta en un 25% de su masa (Norma NTE INEN 3049 Parte 1, 2018).

3.1.3 *Ladrillo de perforación horizontal.*

Son ladrillos aligerados por encima del 25 % de su masa y menos del 65 % del total (NTE INEN 3049 Parte 1, 2018).

3.1.4 *Ladrillos no estructurales.*

Son aquellos ladrillos que por su diseño y resistencia no permiten, la construcción de mampostería estructural o muros que soporten cargas adicionales a su propio peso (NTE INEN 3049 Parte 1, 2018).

3.1.5 *Teja cerámica.*

Según varias enciclopedias generales, la teja es una pieza de barro cocido, con forma acanalada o plana, dispuesta en forma consecutiva que se utiliza para cubrir techos y dejar escurrir el agua (N. García, 2019).



3.1.6 *Teja Curva.*

Elemento de cobertura en forma de canalón, cuyo diseño permite obtener valores variables de solape entre las piezas, cuyos bordes pueden ser paralelos o convexos. Según su forma también se puede definir geométricamente como un paraboloide hiperbólico (N. García, 2019).

3.1.7 *Teja plana.*

Este tipo de teja tiene la forma de un paralelepípedo regular de espesor muy reducido en relación a sus demás dimensiones (NTE INEN 986, 1981).

3.1.8 *Tejas vidriadas.*

Son aquellas tejas que pueden llevar en su cara exterior o interior una capa de material impermeable que reduce su absorción de agua (NTE INEN 986, 1981).

3.2. Procedimiento para la obtención de ladrillos artesanales

En el proceso de fabricación de ladrillos artesanales se utiliza una mezcla de una o varias arcillas, las cuales por su naturaleza de obtención no son puras y, en consecuencia, poseen cierta cantidad de sílice, alúmina, cuarzo, carbonatos y otros materiales alcalinos en su composición (Frías Torres & Romero Coyago, 2021), siendo su principal característica el color rojo, que indica un elevado contenido de hierro.

3.2.1. *Obtención de Materias Primas.*

Según los datos conseguidos a partir de los productores, mediante el proyecto conjunto entre la Universidad Politécnica Salesiana y la Universidad de Cuenca y, financiado por la Comisión de Gestión Ambiental (CGA) del GAD municipal del cantón Cuenca, “Mejoramiento de la Eficiencia energética y reducción de contaminantes en hornos de ladrilleras artesanales del Cantón Cuenca” las arcillas las obtienen de reservas propias de distintos lugares de la provincia.

3.2.2. *Preparación de las materias primas y dosificación.*

En esta parte del proceso se efectúan dos pasos: se tritura la tierra o arcilla de ser necesario (generalmente de manera mecánica) y se retiran las impurezas que pueden intervenir en los procesos posteriores como piedras o pedazos de madera, se dosifica la cantidad de arcilla según la composición que requiera la mezcla de estas y se las deposita en un noque (cavidad rectangular de tierra usado para mezclar las arcillas) de acuerdo con la información levantada por el proyecto



anteriormente mencionado. El agua utilizada para el proceso proviene de fuentes naturales que se almacena en tanques o pozos según las condiciones de cada productor.

3.2.3. *Mezcla y batido de las arcillas.*

Esta parte del proceso depende de cada artesano, ya que algunos cuentan con maquinaria especializada y otros deben hacerlo manualmente, en donde, se mezclan/baten las arcillas con agua y de forma manual con los pies y palas o mediante el pisoteo de animales. Dependiendo del método usado, esta etapa puede durar entre 6 a 12 horas, pero por lo general se usan mezcladoras y batidoras, para obtener una mezcla homogénea y lista para el proceso de moldeado (F. Álvarez, 2014).

3.2.4. *Moldeo.*

Una vez que las arcillas han sido batidas en el noque con la humedad necesaria, se define el número de moldes para la producción de ladrillos que se desea fabricar, se sitúa el molde y se carga la mezcla, se realizan los cortes necesarios del excedente que puede existir y al final se coloca en su sitio de reposo para que se sequen.

En el caso de que la producción se la realice mediante una extrusora, se dosifica en ella las arcillas y el óptimo de agua para que se forme una pasta con alta viscosidad que pasa a través de una matriz mediante presión con el fin de obtener una masa definida constante de longitud requerida (Chapoñan Peche & Rojas Pérez, 2019) para luego ser depositada en un lugar para su posterior secado.

En la ilustración 1 se muestra un típico modelo de extrusora utilizado por los artesanos del sector, identificando cada una de sus partes.

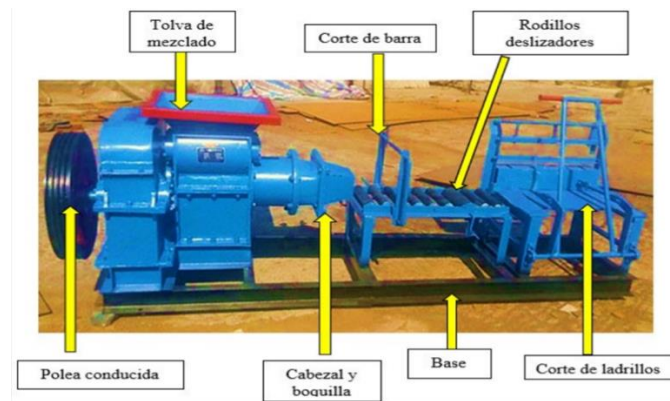


Ilustración 1. Extrusora de ladrillos. Fuente: (Chapoñan Peche & Rojas Pérez, 2019)

3.2.5. *Secado.*

Concluido el proceso de moldeo de los ladrillos, éstos recién formados tienen que ser llevados a los galpones en donde se dejan secar al aire libre durante 36 horas, hasta que ganen dureza, pierdan parte de la humedad y sean manipulables. Después de haber transcurrido 21 días de secado al aire libre, se logra apreciar que los ladrillos toman la coloración de los suelos arcillosos recolectados y sus medidas disminuyen de 1 a 2mm por cara debido a la pérdida de humedad (Frías Torres & Romero Coyago, 2021).



Ilustración 2. Ladrillos macizos y huecos secos. Fuente: Elaboración propia

3.2.6. *Cocción (quema).*

El ladrillo crudo es sometido a la quema correspondiente una vez transcurrido el tiempo de secado, con el fin de que cumplan con los requisitos de humedad necesarios para entrar al horno. El proceso se inicia con el acarreo y acomodado del ladrillo al interior del horno, de tal manera que permita la circulación de la llama y los gases de combustión a través del material. El artesano emplea el mismo



ladrillo crudo para tapar el borde superior del horno y lo revoca con barro para así aprovechar al máximo la carga y optimizar el calor (F. Álvarez, 2014).

Los hornos del sector artesanal tienen capacidades entre 1500 a 5000 ladrillos en promedio. Al ser hornos artesanales, se debe cargar y descargar manualmente las piezas que reciben el tratamiento térmico entre 800° y 1000°C, estos hornos están formados por una cámara aislada y un sistema de calentamiento, el cual se carga con el combustible (generalmente leña) (Aucapiña Guamán & Ortiz Matailo, 2021).



Ilustración 3. Ladrillos cocidos en horno del laboratorio de Cerámica de la Universidad de Cuenca. Fuente: Elaboración propia

Según la información levantada por el proyecto conjunto entre la Universidad Politécnica Salesiana y la Universidad de Cuenca y, financiado por la Comisión de Gestión Ambiental (CGA) del GAD municipal del cantón Cuenca, “Mejoramiento de la Eficiencia energética y reducción de contaminantes en hornos de ladrilleras artesanales del Cantón Cuenca” existen diferentes clases de hornos artesanales empleados para la cocción de ladrillo y teja tales como hornos circulares, cuadrados, rectangulares y ovoideos que se usan en promedio dos veces al mes. Cabe mencionar que, usualmente los hornos son tipo volcán por lo que no cuentan con una cubierta ni chimenea, esto provoca que los humos salgan directamente al ambiente.



Ilustración 4. Horno tipo volcán. Fuente: (Lujan, 2015)

3.2.7. Almacenamiento.

Luego de realizar la cocción, se procede al almacenamiento de los ladrillos para su posterior entrega y/o venta.

3.3. Proceso para la fabricación de tejas artesanales

De manera similar al caso anterior, en la producción de tejas artesanales se cuenta con una mezcla de arcillas que no son puras, por lo que la composición de la materia prima varía, proporcionando productos con variabilidad de dimensiones y colores. Cabe mencionar que en este apartado se distinguen dos tipos de productos, las tejas vidriadas y sin vidriar, las cuales se diferencian en la aplicación de vidrio sobre la superficie de la teja cocida y que requiere una cocción extra para producir dicho vidriado.



Ilustración 5. Colores de tejas. Fuente: (ArchDaily, 2022)

3.3.1. Preparativos del área de trabajo.

Se realiza una limpieza del área del trabajo que pudiera interferir con la fabricación, mediante el retiro de piedras o residuos del lote anterior de producción. Esta actividad se realiza con herramientas manuales como palas y escobas (A. García, 2019).

3.3.2. Dosificación.

Se carga el noque con las arcillas que servirán para producir las tejas. Esta operación se realiza con herramientas de mano, como carretillas y palas. Una vez depositada la arcilla, se agrega agua según el criterio de cada artesano mediante baldes o mangueras desde los tanques de almacenamiento de agua (A. García, 2019).



3.3.3. *Mezclado y moldeado.*

En esta parte del proceso se pueden distinguir, dos tipos de métodos que se usan para la producción de tejas, el método artesanal y el semi mecanizado. Si el método es artesanal la mezcla se realiza con animales, ya sean burros o caballos hasta que la pasta o masa se encuentre suave y maleable, esta técnica puede tardar entre 4 a 5 horas de acuerdo a los requerimientos de los artesanos (A. García, 2019). Si el proceso es mecanizado se usan cintas de transporte que llevan el conjunto de arcillas hacia una extrusora en donde se mezclan hasta obtener una pasta homogénea. Una vez logrado ese objetivo, la pasta pasa por la boquilla de la extrusora, en donde será moldeada, dependiendo de la forma y tamaño que el artesano lo requiera. La boquilla expulsa una probeta de arcilla, la cual es fácilmente separable para adoptar la forma de una teja curva o plana; otorgando un acabo excelente de la misma, por lo cual no es necesario perfilarla posteriormente (N. Álvarez & Chacho, 2015).

Si el moldeo se realiza de manera no mecanizada, la pasta es llevada a una mesa de trabajo, en donde se coloca sobre un molde de madera conocido como “tortuga”, en donde se da la forma de la teja y se retiran residuos no deseados en el producto.

3.3.4. *Secado.*

Una vez obtenida la forma de la teja, y, se lleva a un espacio denominado galpón, formado por postes y vigas de madera cubierto con plástico de invernadero, en donde se colocan en el suelo y se secan por varios días, dependiendo de las condiciones climáticas (Zambrano Becilla, 2021).



Ilustración 6: Galpón para tejas. Fuente: Elaboración propia

3.3.5. *Cocción.*

Antes de que el producto sea colocado en el horno, se realiza un perfilado, con el cual se retira el exceso de material de los filos para eliminar material en exceso y mejorar su forma final, esto en el caso de que el moldeado haya sido no mecanizado.

Los hornos empleados son de combustión y en promedio tienen capacidades de carga por lote de 10000 tejas; su forma puede ser cuadrada o circular. Las tejas secas son cargadas al horno disponiéndolas de tal manera que permita una buena distribución de calor.



Ilustración 7. Cocción de tejas en horno de laboratorio. Fuente: Elaboración propia

Después de haber cocido las tejas, los artesanos dejan enfriar el horno a temperatura ambiente entre 12 a 14 horas.

3.3.6. *Vidriado.*

Cuando la teja sale del horno, se denomina teja bizcochada y puede salir al mercado de esta manera o por lo contrario, se procede a vidriar la misma, para lo cual se usa un vidrio comercial libre de plomo o en su defecto se usa una suspensión de óxido de plomo y sílice en cantidades preestablecidas que forman una suspensión, que se coloca sobre la teja con ayuda de un recipiente (Arévalo & Cumbe Novillo, 2021).



Ilustración 8: Vidriado de tejas. Fuente: Elaboración propia

3.3.7. Cocción de Vidriado.

En este proceso se llevan las tejas a una temperatura de 850°C, para lograr que el vidrio se vitrifique sobre la teja dándole un acabado brillante e impermeable a la misma, además de aumentar su resistencia mecánica y disminuir la absorción de agua (N. Álvarez & Chacho, 2015).



Ilustración 9: Tejas tipo curva vidriadas en el laboratorio. Fuente: Elaboración propia

3.4. Factores que afectan las características finales de un producto cerámico

En la determinación de la calidad de los productos cerámicos son muy importantes la absorción de agua y la resistencia mecánica, por lo que en este trabajo de titulación se van a determinar los mismos, para que, en base a ello, se pueda determinar el rango de temperaturas para la cocción de los productos cerámicos en función de los respectivos valores de absorción de agua y resistencia mecánica establecidos en la norma INEN 990 e INEN 3049 parte 3.

Tanto la absorción de agua como la resistencia mecánica dependen de otros factores que están ligados a los procesos de producción, los cuales se detallan a continuación.



3.4.1. *Humedad.*

El agua presente en las piezas cerámicas proviene, en parte, del agua aportada durante el proceso de formación de las piezas y, por otra parte, del agua que contenía la materia prima. Los productos cerámicos muy porosos, presentan capilares y poros de gran tamaño que favorecen la circulación y el contacto del agua con el material cerámico, por lo que suelen presentar elevados aumentos de volumen cuando entran en contacto (Instituto de promoción cerámica, 2007).

El modo de unión del agua con la arcilla puede ser de naturaleza diversa, pudiéndose distinguir:

- *Agua adsorbida o de enlace*, que rodea en forma de una capa muy delgada, las partículas de arcilla. En sólidos higroscópicos, como los minerales arcillosos, la cantidad de agua adsorbida depende de diversos factores entre los que se encuentran la superficie específica de las partículas, la tensión superficial del agua, la temperatura, etc.
- *Agua de contracción*, que se halla situada entre las partículas arcillosas, separándolas y formando una película de espesor variable.
- *Agua de capilaridad*, que se encuentra rellenando los canales y cavidades existentes entre las partículas de arcilla, una vez eliminada el agua de contracción.

Los porcentajes de los tres tipos de humedad mencionados dependen de la cantidad total de agua presente en el sólido y sus características. Así, por ejemplo, una pieza muy porosa puede retener suficiente agua por acción capilar, mientras que otra que consta de partículas muy finas es mejor para retener el agua de contracción (Barba et al., 2002).

En los ladrillos, los gradientes más altos del contenido de humedad se sitúan en las proximidades del vértice del sólido, en cualquier instante de tiempo y como consecuencia en esta región se puede producir una mayor cantidad de rajaduras, grietas y deformaciones, que pueden disminuir y perjudicar la calidad de la pieza final (Nascimento et al., 2006).



3.4.2. *Contracción de secado.*

Es una propiedad de las arcillas que produce una disminución en las dimensiones de lo que se esté moldeando al perder humedad. Al momento de realizar el moldeado, la arcilla se encuentra húmeda y con un alto contenido de agua, y cuando se realiza el proceso de secado la mezcla pierde el agua que contenía produciendo una reducción en el tamaño de la pieza moldeada (Barranzuela, 2014).

En este proceso se lleva a cabo la contracción por aire ya que tiene lugar después que se ha formado la unidad, pero antes de que sea secada al horno. Seguida de esta, se lleva a cabo la contracción por fuego, que se produce durante el proceso de cocción.

Cualquiera de estos tipos de contracciones, si es excesivo, puede causar grietas y deformaciones en la unidad de albañilería (Barranzuela, 2014).

A medida que la operación de secado avanza, el agua superficial eliminada se reemplaza por agua proveniente del interior de la pieza. Como resultado, las partículas se acercan y se contraen (b). La contracción inicial es igual a la cantidad de agua absorbida cuando la humedad aún es lo suficientemente alta. Gradualmente, las partículas entran en contacto entre sí, siendo la velocidad de contracción más lenta que la velocidad de eliminación de agua. La contracción máxima se logra cuando todas las partículas están en contacto.

Si se continua con el secado, parte del espacio situado entre las partículas deja de estar completamente ocupado por agua. En ese momento el secado es por flujo capilar y por evaporación dentro de los poros (c). Finalmente, se llega a una situación en la que ya no es posible extraer más agua, pues se ha alcanzado el estado de equilibrio (d) (Rojas, 2016), esto se muestra de manera gráfica en la Ilustración 10.

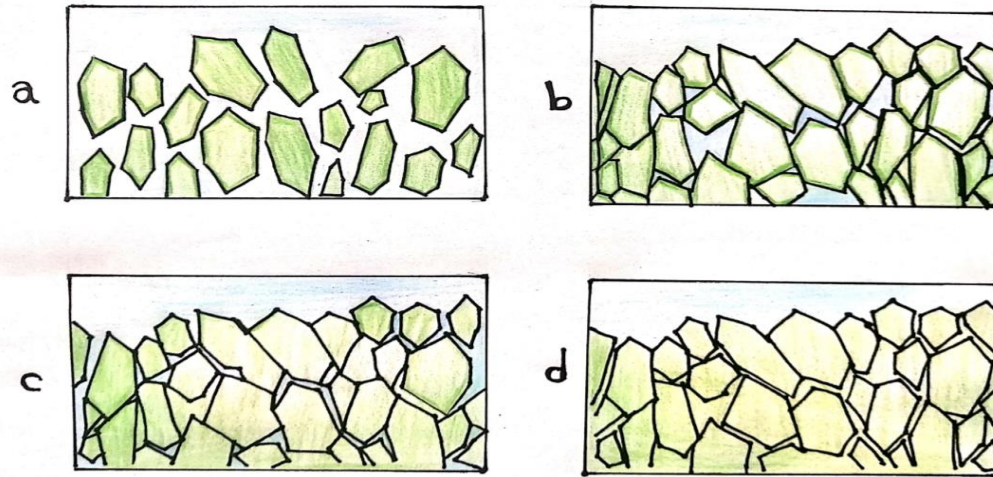


Ilustración 10: Mecanismo de la contracción al secado. Fuente: (Barba et al., 2002)

3.4.2.1. Factores que afectan al Secado.

La tendencia a producir roturas durante el secado depende tanto de las características del sólido como de las condiciones en las que se efectúa el secado, es decir, secado natural en galpones abiertos; sin embargo, en condiciones iguales, algunas arcillas son más propensas a la rotura que otras, es decir, son más sensibles al secado.

Es así que el secado es afectado por los siguientes factores:

- a) *La temperatura y humedad del aire:* es decir características del aire
- b) *La velocidad y dirección de incidencia del aire* que está en contacto con el material a secar en un momento determinado
- c) *La relación superficie/volumen:* es decir, la superficie específica de la pieza.
- d) *El tamaño de las partículas y la distribución de tamaños:* la velocidad de secado aumenta con el tamaño medio de partícula, es decir, cuanto más fina sea la arcilla mayor será su superficie específica, más alto será el porcentaje de humedad de moldeo y la contracción de secado y más angosto el diámetro de los capilares existentes en la pieza verde, lo cual dificultará el proceso de secado, mientras que por el contrario, mientras más gruesa sea el tamaño de partículas se pierde plasticidad y la velocidad de secado aumenta (Uribe et al., 2021).
- e) *La composición mineralógica del material:* Las propiedades de los minerales arcillosos tienen una influencia significativa en las propiedades de secado. Sin embargo, esta dependencia no se puede establecer completamente ya que no se puede separar de otros factores como el tamaño de partícula.



Otro factor que afecta las propiedades de secado es la relación arcilla/desengrasante. Los valores de mineral arcilloso y contracción aumentan con el contenido de arcilla debido a la suma de los dos factores. La primera es una disminución de la compacidad y la segunda está asociada con una disminución del tamaño de las partículas (aumento de la superficie específica). En general, si el secado no es uniforme, aparecerán deformaciones en las piezas y si, por el contrario, es muy lenta, la producción no será económicamente viable (Nascimento et al., 2006).

3.4.3. *Absorción de agua.*

La absorción de agua de un material cerámico cocido se define como la ganancia de peso, expresada en porcentaje, que experimentan las piezas cerámicas al introducirlas en agua durante un periodo de tiempo determinado. Este parámetro sirve para medir la porosidad abierta y evaluar el grado de vitrificación del material (Collado & Nuño, 2006).

$$AA(\%) = \frac{M_a}{M_s} \times 100 \quad (1)$$

Donde $AA\%$ es el porcentaje de absorción de agua, M_a es la masa del agua y M_s es la masa de la pieza seca.

La absorción de agua y la porosidad abierta se relacionan de la siguiente manera:

$$\varepsilon_a = AA \times \rho_{ap} \times 100 \quad (2)$$

Donde ε_a es la porosidad abierta y ρ_{ap} es la densidad aparente del sólido (Collado & Nuño, 2006).

Las condiciones medioambientales disminuyen la resistencia y durabilidad de los materiales cerámicos de construcción ya que en este medio existen agentes agresivos que erosionan, corroen y los degradan; uno de estos agentes más peligrosos es el agua, que al



combinarse con sustancias como sales, ácidos y bases que disuelve y, con los cambios de temperatura, se convierte en un factor determinante que atenta contra la durabilidad de materiales cerámicos de construcción (Ariza, 2007).

El agua penetra por los poros y grietas pequeñas, de manera directa o por acción de la capilaridad, de esta manera, puede producir un aumento de volumen que causa problemas de dilatación térmica, además, en su recorrido por el interior del material, disuelve y arrastra sales solubles aumentando la porosidad original y creando depósitos de sales en lugares no deseados (Ariza, 2007).

El agua también produce erosión mecánica al estar en movimiento, como también lo hacen los ciclos de hielo-deshielo, estos provocan que se combine el agua presente en los poros y grietas con los cambios cíclicos de temperatura provocando así dicha erosión. Otro aspecto a tener en cuenta es que el agua es indispensable para el desarrollo de organismos vivos que agravan la erosión, así como para que se produzcan algunas reacciones químicas corrosivas al material cerámico (Teijeira, 2015).

Como se mencionó anteriormente, la absorción de agua tiene una relación directa con la porosidad, propiedades mecánicas, densidad aparente y compactación de un producto cerámico (C. Álvarez et al., 2014). Y es por ello que se considera un parámetro importante, ya que refleja la calidad del producto y, por esta razón, es uno de los ensayos realizados con mayor frecuencia.

3.4.3.1. Porosidad

Se denomina porosidad o fracción de huecos a la medida de los espacios vacíos que se pueden observar en un material. La porosidad es una fracción del volumen de los huecos sobre un volumen total del material y se contabiliza como un porcentaje o como una fracción de 0 a 1. Asimismo, se denomina porosidad abierta a la relación que existe entre el volumen de poros de un material conformado que se comunica con el exterior de la pieza y el volumen total de la pieza conformada (Teijeira, 2015).

Los poros se suelen agrupar en tres grandes grupos, en función de su diámetro medio de acceso. Los macro poros ($\varnothing > 50$ nm), mesoporos ($2 < \varnothing < 50$ nm) y microporos ($\varnothing < 2$ nm) (Uribe et al., 2021).



3.4.3.2. *Compacidad y densidad aparente*

La relación entre el volumen ocupado por el sólido, V_s , y el volumen del producto moldeado, V_T , recibe el nombre de compacidad, Φ . La porosidad ε y la compacidad pueden relacionarse mediante la siguiente expresión:

$$\phi = \frac{V_S}{V_T} = 1 - \varepsilon \quad (3)$$

La compacidad es una de las propiedades más importantes de la pieza moldeada, ya que determina su comportamiento en las diferentes etapas del proceso cerámico y ejerce una evidente influencia, tanto sobre las propiedades de la pieza cruda (resistencia mecánica, permeabilidad, etc.), como sobre las propiedades del producto cocido (tamaño, absorción de agua, resistencia mecánica) (Bedoya Castaño, 2019).

Un aumento de la compacidad de la pieza produce una mayor resistencia mecánica, por lo que disminuye el riesgo de aparición de fisuras en las etapas previas a la cocción, en las que las piezas se manipulan o se encuentren sometidas a tensiones mecánicas. Así también influye en la disminución de la velocidad de secado, así como las de descomposición y oxidación de algunos de los compuestos de la pieza durante la etapa de precalentamiento ya que, al aumentar la compacidad, el coeficiente de difusión efectivo decrece con la reducción de la porosidad (Teijeira, 2015).

Finalmente, bajo ciertas condiciones de cocción, la contracción lineal y la absorción de agua disminuyen con la compacidad siendo esta una relación lineal. Por lo tanto, las variaciones de compacidad en las piezas de un mismo lote, producen descuadres, calibres, curvaturas, etc (Barba et al., 2002).

Debido a que la compacidad presenta complejidad en su determinación, en la industria se utiliza otro parámetro directamente relacionado con esta, densidad aparente ρ , que se define como el cociente entre la masa de la pieza M_s y su volumen aparente V_T . Este parámetro se relaciona con la compacidad mediante:

(4)



$$\phi = \frac{\rho}{\rho_R}$$

Donde ρ_R es la densidad real de la pieza (Teijeira, 2015).

La compacidad proporcionada por los materiales cerámicos depende tanto de las propiedades de las partículas que las componen (distribución de tamaños y de la forma) como del proceso de moldeo utilizado (Galindo, 2020)

Otro factor que influye ampliamente sobre la compacidad es el tamaño de partícula del desgrasante presente. La distribución de tamaño de partícula origina y controla el empaquetamiento de las suspensiones cerámicas, el cual dicta el desempeño y comportamiento reológico de las pastas en un proceso. Generalmente, las arcillas y caolines que no contienen partículas excesivamente pequeñas aumentan el cociente de formación del grueso, mientras que el material no-plástico (cuarzo, feldespato, etc) de la pasta, para un porcentaje de partículas finas reduce la densidad aparente (Muñoz Molina, 2021).

En general, si en la arcilla coexisten partículas grandes y pequeñas, se favorecerá a la compacidad, y si, por lo contrario, el material presenta una distribución estrecha de partículas, presentará una compacidad deficiente, es por esta razón que tanto compacidad, porosidad y densidad aparente son dependientes, por lo que afectan a las mismas propiedades de la materia, como el riesgo de defectos en el material o el gasto excesivo de energía para la elaboración del producto (Teijeira, 2015).

3.4.3.3. Factores que determinan la absorción de agua

Los valores bajos de absorción de agua indican que el producto, ya sea este, teja o ladrillo, tiene menor porosidad abierta, lo cual representa una ventaja, ya que esto mejora la calidad del producto pues disminuye la capacidad de absorber agua del medio ambiente. A su vez, la baja porosidad tiene relación con el grado de compactación de la mezcla arcillosa durante su fabricación (C. Álvarez et al., 2014).

Por otra parte, los valores máximos de absorción de agua según la norma INEN 990 deben ser de hasta 20% dependiendo del tipo de teja y hasta de 17% si se trata de ladrillos no estructurales.



Un factor que está estrechamente relacionado con la absorción de agua es la resistencia mecánica, ya que, si aumenta la absorción de agua, esta última se reduce. Esto puede ser ocasionado por la alta porosidad y tensiones internas que hacen más frágiles los productos.

También se observa que la absorción de agua disminuye al aumentar la cantidad de arcilla ricas en anatasa y hematita, minerales que confieren color rojo en la cocción a las pastas cerámicas (G. Gómez et al., 2017).

Además, al comparar resultados obtenidos con los tres métodos de determinación de la absorción de agua (Inmersión por agua, por ebullición y en vacío) en discos prensados en seco, un estudio realizado por (Vasić et al., 2020) encontró valores similares o iguales a 1000°C, pero se observaron algunas diferencias en las temperaturas de cocción más altas. Esto último podría significar que la porosidad abierta completa en el material es fácilmente accesible, y por lo tanto cualquier método de determinación de la absorción de agua es igualmente bueno. En la producción de ladrillos de arcilla, dado que la cocción se realiza normalmente por debajo de 1000°C, la prueba de inmersión en agua fría por 24 horas es completamente adecuada para determinar la absorción de agua en las piezas cerámicas. Con el aumento de la temperatura, hay diferencias crecientes en los métodos de vacío y de ebullición. La disminución de los valores medios por ebullición en relación con el vacío aumenta en el siguiente orden 0,60% (1000°C), 0,80% (1100°C), 8,89% (1200°C) y 13,24% (1250°C). Las diferencias en la absorción de agua fueron de alrededor del 0,4% de media a 1200°C y 1250°C, esto se debe a que en las temperaturas más altas se ganan poros abiertos más pequeños, a los que es más difícil que acceda el agua (Vasić et al., 2020).

Este estudio demostró que el método estándar más fiable para determinar la absorción de agua de las arcillas cerámicas es el ensayo en vacío para las muestras cocidas a 1200°C y 1250°C. A temperaturas más bajas, la mayor saturación de las muestras se obtuvo por ebullición en agua (Vasić et al., 2020).

3.4.3.4. *Absorción de agua y contracción lineal.*

En la cocción de materias primas arcillosas es importante conocer el intervalo de temperaturas en el que la contracción y porosidad de la pieza no varían exorbitantemente.



Este rango depende de las propiedades de la pasta y debe ser lo más amplio posible. De lo contrario, ligeras fluctuaciones en la temperatura de cocción pueden hacer que las piezas se deformen o no se cuezan adecuadamente. Esto significa que la porosidad y la resistencia mecánica del producto terminado no serán los esperados. Así pues, los diagramas contracción lineal-absorción de agua-temperatura de cocción se utilizan para estudiar el comportamiento de las materias primas durante la cocción y pueden ser de gran ayuda para la formulación y ajuste de pastas. El ensayo de contracción lineal en cocido se desarrolla con el fin de determinar el porcentaje de la contracción que sufre la muestra desde el estado seco hasta el estado cocido (Cáceres et al., 2021)

Por otro lado, el comportamiento del material durante la cocción se evalúa mediante la variación de su contracción lineal con la temperatura. La contracción lineal se define como:

$$CL(\%) = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100 \quad (5)$$

Donde $CL(\%)$ es el porcentaje de contracción lineal L_1 es la longitud inicial de la pieza cruda y L_2 la longitud final.

La absorción de agua de una arcilla se determina por el tipo y proporción mineralógica que contiene la pasta, mientras que la contracción lineal depende principalmente de la composición mineralógica y la compacidad alcanzada por la pieza moldeada.

Existe una disminución del intervalo de vitrificación al pasar de arcillas caoliníticas a illíticas, que se relaciona con el elevado contenido de óxidos fundentes presentes en la estructura de la Illita, que a su vez favorecen el desarrollo de la fase líquida durante la cocción. Por el contrario, en las arcillas caoliníticas, la viscosidad de la fase líquida, no experimenta una disminución tan brusca con la temperatura debido al contenido menor en alcalinos, así como a la cristalización de mullita y contribuye a aumentar el intervalo de cocción de estas arcillas (Asociación española de Técnicos Cerámicos & SACMI, 2004).



La presencia de desengrasantes altera significativamente el comportamiento de las arcillas y pastas durante la cocción. Por lo tanto, estas materias primas pueden comportarse de tres formas diferentes en esta etapa:

- a) Como formadores de fases cristalinas: Los más habituales son la Calcita y Dolomita. Estas materias primas se descomponen cuando se calcinan a temperaturas entre 800 y 900°C para formar óxidos y dióxido de carbono, respectivamente. Por tanto, los óxidos de calcio y magnesio reaccionan con la distribución del pequeño tamaño de partícula del cuarzo y el feldespato, y con la sílice y la alúmina producidas por descomposición de minerales arcillosos. Debido a la presencia de estas fases, la ausencia de fases vítreas y la alta pérdida por calcinación, las pastas de carbonato cálcico o calcio y magnesio presentan una alta porosidad y una baja contracción por calcinación.
- b) Como fundentes: Los fundentes más utilizados son los feldespatos alcalinos (ortoclasa y albita). Estas materias primas mejoran la compacidad de la arcilla y reducen la pérdida por calcinación, reduciendo así la absorción de agua y la contracción lineal a bajas temperaturas. A temperaturas superiores a 1100 ° C, la alta relación de alcalinidad da como resultado una alta capacidad de fusión, lo que reduce la porosidad de la pieza debido a la formación de la fase vítrea y aumenta la contracción lineal. El comportamiento de los feldespatos depende marcadamente de su composición química.
- c) Como inertes: El cuarzo mejora la compacidad de la arcilla. Este hecho, unido a una reducción de las pérdidas por calcinación, se traduce en una reducción de la absorción de agua y la contracción lineal a baja temperatura, similar a la observada con el feldespato. Por el contrario, debido a su alta resistencia al calor, puede considerarse prácticamente como inerte durante la cocción, aumentando la absorción de agua a alta temperatura y reduciendo la contracción lineal (Barba et al., 2002).

A bajas temperaturas, las mezclas de arcilla y desengrasantes, debido a su compacidad en crudo, presentan una menor absorción de agua y una contracción lineal. Sin embargo, a altas temperaturas, el orden cambia porque cada desengrasante se comporta de manera diferente. La mezcla con cuarzo exhibe las propiedades más refractarias, con alta absorción de agua y contracción lineal débil, sin embargo, este actúa de manera diferente



al aumentar la temperatura, ya que a temperaturas bajas actúa como inerte, mientras que entre 1150°C y 1200°C contribuye al aumento de la viscosidad de la fase líquida formada por la presencia de feldespatos, ya que estos disuelven de manera progresiva el cuarzo. Si se continúa elevando la temperatura, el cuarzo, por el contrario, disminuye la viscosidad de la fase líquida cuando se encuentra completamente fundido. Por otra parte, la mezcla de feldespato se funde a menores temperaturas, con bajos valores de la absorción de agua, altas contracciones y mayor variación de estos parámetros con la temperatura. Cabe mencionar que estos fenómenos no ocurren en una cocción de ladrillos y tejas, ya que los hornos utilizados no alcanzan las temperaturas necesarias para que esto suceda. (Asociación española de Técnicos Cerámicos & SACMI, 2004)

3.4.3.5. *Norma de Absorción de agua para tejas*

Como se mencionó anteriormente, el ensayo de absorción de agua es una de los parámetros que se determina en las piezas cerámicas para determinar su calidad, por lo mismo, es uno de los requisitos en la norma INEN 990 en el caso de las tejas donde también constan los valores necesarios para cumplir con las especificaciones establecidos, los mismos que se detallan en la Tabla 1.

Cabe mencionar que la norma INEN 990 clasifica a las tejas de la siguiente manera:

- Tipo A: Teja Común Curva
- Tipo B: Teja Común Plana
- Tipo C: Teja tipo Curva Vidriada
- Tipo D: Teja tipo plana Vidriada

Tabla 1. Requisitos de Absorción de agua en tejas. Fuente: (NTE INEN 990, 1982)

Tipo de teja	Absorción de agua en porcentaje	
	<i>Promedio de 5 tejas</i>	<i>Una teja cualquiera como máximo</i>
A	18%	20%
B	20%	22%
C	12%	14%
D	14%	16%



3.4.3.6. *Norma de Absorción de agua para ladrillos cerámicos*

Los requisitos de absorción de agua en los ladrillos están establecidos en la norma INEN 3049 parte 3 para ladrillos no estructurales, tanto macizos como huecos. Esta misma norma clasifica a los ladrillos de la siguiente manera:

- Unidades de perforación horizontal (PH): Unidades cuyas celdas o perforaciones son paralelas a la cara o superficie en que se asientan en el muro. El porcentaje máximo de huecos o perforaciones es del 75 % de la sección bruta que las contiene.
- Unidades de perforación vertical (PV): Unidades cuyas celdas o perforaciones son perpendiculares a la cara o superficie en que se asientan en el muro. Así mismo, el porcentaje máximo de huecos o perforaciones es del 75%
- Unidades macizas (M): Son unidades sin perforaciones. También se consideran unidades macizas aquellas con perforaciones menores al 25 % del volumen total de la unidad
- Unidades para mampostería liviana: Son aquellos ladrillos de perforación horizontal cuyo diseño tiene como objetivo reducir su peso o sus dimensiones para aligerar las cargas muertas en las edificaciones, estas son utilizadas en muros divisorios o de cierre protegidas de la intemperie (NTE INEN 3049 Parte 3, 2018).

Tabla 2. Requisitos de absorción de agua en ladrillos no estructurales. Fuente: (NTE INEN 3049 Parte 3, 2018)

Tipo	Absorción de agua máxima en %	
	Promedio 5 unidades	Unidad
PH	17	20
PV	17	20
M	17	20
Unidades livianas PH	17	20

3.4.4. *Resistencia mecánica*

En lo referente a ladrillos, se refiere a la mínima resistencia nominal a compresión, medida sobre el área transversal neta y sobre la cual se basa su diseño (C. García et al., 2013), mientras que en el caso de las tejas se usa la resistencia a la flexión que se



determina mediante la aplicación de carga a un elemento laminar de sección transversal y una luz de mínimo tres veces el espesor.

El ensayo de resistencia mecánica a la compresión es de gran importancia en el ámbito de las construcciones de obras, concretamente en las pruebas de control de calidad a la mezcla que se utiliza para la producción del material cerámico ya que el método de ensayo permite conocer las características mecánicas de la mezcla, lo cual le sirve al diseñador para verificar el cumplimiento del resultado esperado en la utilización de dicha mezcla (Espinosa et al., 2014)

Debido a su combinación de enlace iónico y covalente, los materiales cerámicos, tienen una baja tenacidad inherente (Albarracín et al., 2020).

La porosidad está estrechamente ligada con la resistencia mecánica ya que son inversamente proporcionales, además esta influye en el comportamiento frente al ataque químico, la conductividad térmica y la resistencia al choque térmico. Esta influencia se define a partir del tamaño, forma, número y distribución de los poros que residen en el producto (Teijeira, 2015).

La fractura en los materiales cerámicos policristalinos se encuentra en las grietas producidas durante los procesos de conformación y acabado principalmente, en los poros y en los granos de tamaño considerable formados en el procesos de cocción, los cuales actúan como concentradores de tensiones fragilizando al material. Así cuando la tensión alrededor del poro alcanza un valor crítico comienza a formarse una grieta que se propaga rápidamente ya que no existen procesos o mecanismos de absorción de energía como ocurre con los metales maleables durante la deformación. Los enlaces iónicos o covalentes de su estructura cristalina no conducen a la deformación por deslizamiento o torsión; De esta forma una vez que ha comenzado la grieta continúa creciendo hasta romperse (Rivera, 2019).

Los poros abiertos también disminuyen la resistencia de un material al reducir su sección transversal útil. En la sinterización de la arcilla la porosidad abierta disminuye a medida que aumenta la porosidad cerrada. Este es especialmente el caso en las últimas etapas del proceso de sinterización. La presencia de fases líquidas facilita la formación de poros cerrados (Verduch, 1966). En cerámica el tamaño y la fracción de volumen de los poros son factores importantes que influyen en gran medida en su resistencia.



Como se ha mencionado, la resistencia mecánica de los materiales cerámicos depende tanto de la densidad aparente, porosidad, método de preparación, estado de la superficie, composición química, temperatura y de los tipos de esfuerzos y como se aplican. Es por esto que el comportamiento de los materiales cerámicos no es el mismo para todas las muestras de prueba, aunque sean iguales lo que plantea un serio problema al diseñar con estos materiales ya que deben soportar la carga (Uribe et al., 2021).

3.4.4.1. Norma de resistencia mecánica en tejas

La resistencia mecánica en tejas cerámicas se mide mediante el ensayo de resistencia a la flexión y es un requisito que establece la norma INEN 990 como se mencionó anteriormente.

En la siguiente tabla se muestran los requisitos que debe cumplir este tipo de material. La clasificación de productos es la misma que en el caso de absorción de agua.

Tabla 3. Requisitos de resistencia a la flexión en tejas. Fuente: (NTE INEN 990, 1982)

Tipo de teja	Resistencia a la flexión, en kg/cm ²	
	Promedio de 5 tejas	Mínimo para una teja cualquiera
A	100	80
B	70	55
C	100	80
D	70	55

Como agregado para este trabajo de titulación, se usa como referencia los valores de la norma UNE EN 538 con el fin de poder comparar los resultados en función de la carga máxima soportada por el material. La norma establece que los valores mínimos permitidos son los siguientes:

- Tejas planas sin encaje 600N o 61,18Kgf
- Tejas planas con encaje 900N o 91,77Kgf
- Tejas curvas 1000N o 101,97Kgf
- Resto de tejas 1200 N o 122,36Kgf (*UNE-EN 538: Tejas de Arcilla Cocida, Ensayo de Resistencia a La Flexión, 1995*)



3.4.4.2. Norma de resistencia mecánica en ladrillos

Los requisitos de resistencia a la compresión en ladrillos cerámicos se establecen en la norma INEN 3049 parte 3. A continuación se detallan los valores mínimos requeridos para una muestra, así como su valor promedio para 5 muestras.

Tabla 4. Requisitos de resistencia a la compresión en ladrillos o estructurales. Fuente: (NTE INEN 3049 Parte 3, 2018)

Tipo	Resistencia mínima a la compresión MPa (Kgf/cm ²)	
	Promedio 5 unidades	Unidad
PH	3,0 (30)	2,0 (20)
PV	14,0 (140)	10,0 (100)
M	14,0 (140)	10,0 (100)
Unidades livianas PH	2,0 (20)	1,5 (15)

3.5. Cocción

La razón de ser de la cerámica, así como su importancia económica, se basa en la cocción de las pastas moldeadas, pues esta provoca una transformación completa de sus propiedades, dando lugar a un material duro, resistente al agua y a los productos químicos y que puede poseer características variadas.

El comportamiento de los diferentes tipos de arcillas define, en muchos casos, el tipo de producto que se desea fabricar, sus características técnicas y las variables de cocción como temperatura máxima de cocción, duración del ciclo de cocción, etc. En este apartado se va a explicar la acción del calor sobre las materias primas y los vidriados cerámicos (Asociación Española de Técnicos Cerámicos & SACMI, 2004).

3.5.1. El ciclo de Cocción.

La serie de valores de temperatura a los que se expone el producto durante la cocción y los tiempos que regulan su aumento constituye un ciclo de cocción. La etapa de cocción difiere en función del producto que se desee obtener.

En el proceso cerámico, el ciclo térmico consta de al menos tres fases.

- Luego de repetidos ensayos, la temperatura se eleva desde el valor ambiente hasta el valor máximo establecido, considerado óptimo para lograr las características



deseadas del producto cerámico. La tasa de aumento de temperatura del se ajusta adecuadamente de acuerdo con las condiciones de trabajo y los parámetros únicos del material.

- b) Tiempo de almacenamiento del producto a temperatura máxima; La duración de esta fase depende del producto y de las dimensiones del horno. Cuanto mayores sean estos parámetros, mayor será la necesidad de estandarizar la temperatura para cumplir con las variaciones físicas y químicas esperadas.
- c) Reducir la temperatura hasta alcanzar los valores ambientales según el programa; teniendo en cuenta el gradiente de temperatura y la sensibilidad del cuerpo cerámico a necesidades particulares. Por ejemplo, este paso puede explicar la necesidad de acelerar la cristalización ralentizando el enfriamiento en ciertos rangos de temperatura (Asociación Española de Técnicos Cerámicos & SACMI, 2004)

Las reacciones físico-químicas que se producen en la cocción, en función de su carácter endotérmico (descomposición, deshidratación, fusión, evaporación) o exotérmico (oxidaciones, combustiones, cristalizaciones), provocan en la masa de los productos variaciones de temperatura, que se deben tener en cuenta en el diseño del ciclo de cocción.

De acuerdo con los intervalos de temperatura en los que pueden ocurrir tensiones en la pieza cerámica, se debe variar el gradiente térmico.

Por lo tanto, para programar correctamente el ciclo de cocción (curva temperatura-tiempo), es importante saber qué fenómenos ocurren y la temperatura a la que ocurren. Además, al cocer el mismo material, se desempeña un papel importante en la determinación del aumento de temperatura y el tiempo de residencia, las dimensiones de las piezas, la densidad de carga (cuanto menos piezas y de tamaño uniforme, es mejor es la transferencia de calor) y la difusividad térmica del material dada por la conductividad térmica/calor específico y la densidad. Por consiguiente, una indicación válida, tanto para las cocciones lentas como para las rápidas, es prever en el gráfico de cocción una permanencia a la temperatura más alta para uniformar el nivel térmico y el desarrollo de las reacciones (Asociación Española de Técnicos Cerámicos & SACMI, 2004)



3.5.2. *Color de cocción.*

El color de cocido de las materias primas depende principalmente del contenido de mineral de hierro. Sin embargo, la presencia de otros elementos pigmentarios como el titanio, las condiciones de cocción (ciclo de sinterización y atmósfera del horno), el tipo de fase producida (vítreas o cristalinas) y la presencia de compuestos solubles son factores importantes que influyen en el color final obtenido. De este modo los factores a tener en cuenta son:

- a) Naturaleza de los compuestos colorantes (de hierro y titanio, fundamentalmente)
- b) Naturaleza de las fases formadas durante la cocción
- c) Presencia de sales solubles

Las condiciones de cocción (temperatura máxima y tiempo de residencia a dicha temperatura, atmósfera en el horno, etc.) determinan cómo se encuentra el hierro (como óxido más o menos reducido, incorporado en estructuras cristalinas. Este factor influye en el color de la arcilla cocida.

Un aspecto importante al considerar el color de cocción de la arcilla es la naturaleza y la cantidad de fases producidas durante el proceso de cocción. La formación de fases vítreas puede hacer que el hierro forme parte de estas fases, mientras que la formación de fases cristalinas puede ocluir parcialmente el óxido de hierro en su estructura. Estos efectos esencialmente cambian el color del cocido resultante.

Las arcillas con bajo contenido de hierro presentan un tono ligeramente gris cuando se sinterizan, puesto que el óxido de hierro se disuelve en la fase vítrea empieza a adquirir una tonalidad verdosa o azulada. Por otro lado, cuando el contenido de hierro es alto, sucede algo similar, con la diferencia que en este caso el color rojo de la hematita residual pierde intensidad, transformándose en un color marrón como consecuencia de la mezcla del color rojo y el color verde de la fase vítrea.

La formación de fases cristalinas por su parte, presentan un color blanco, el cual produce un efecto opacificante, aclarando el color en cocido.

Otra fase cristalina que se desarrolla durante la cocción, como ya se había mencionado, es la mullita, en la que, si el hierro se disuelve completamente, el

producto cocido puede presentar colores que van desde el blanco hasta el crema, en función de la cantidad de hierro presente como hematita, esto a su vez dependerá de la temperatura de cocción y del tiempo que se emplee en la misma (Barba et al., 2002).

3.5.3. Acción del calor sobre las materias primas

Cuando una composición cerámica que contiene cierta proporción de arcilla se cuece experimenta un cambio permanente e irreversible. Es así que, en la Ilustración 11 se muestra la diferencia en la composición química entre arcillas y como esta afecta a las características de un producto final y a su uso.

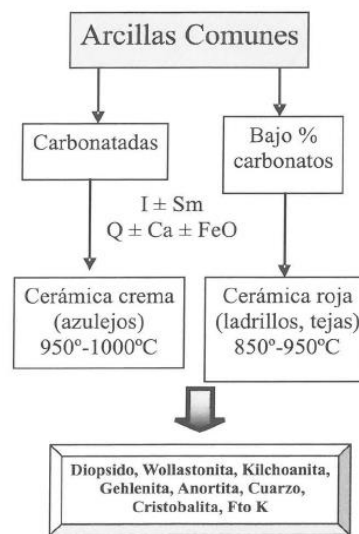


Ilustración 11: Comportamiento térmico de materias primas cerámicas tradicionales. Fuente: (Aparicio & Galán, 2006).

Esto se evidencia al realizar un análisis posterior al material cocido, pues se comprueba que no son las mismas del material de partida, puesto que ha sufrido cambios en su forma, tamaño y estructura o composición química, es decir, sufre cambios físico químicos (Aparicio & Galán, 2006).

3.5.3.1. Cambios Físicos

Cambios alotrópicos o de inversión.

Estas reacciones implican pequeñas variaciones estructurales, pero sin ruptura ni formación de nuevos enlaces químicos. El cuarzo es el mineral en el que mejor puede apreciarse este tipo de transformaciones, presentando una reacción de inversión muy brusca a 573°C. Cabe mencionar que el reforzamiento de una pasta con los cristales de

mullita y cuarzo, es responsable de la baja absorción y de buena resistencia mecánica (Muñoz Molina, 2021).

A la presión atmosférica, la sílice se puede presentar bajo la forma de tres especies químicas denominadas: cuarzo, tridimita y cristobalita; a su vez, cada especie química posee varias modificaciones estructurales. Los Intervalos de temperatura en que diferentes variedades cristalinas son estables, a la presión atmosférica, se detallan en el siguiente esquema:

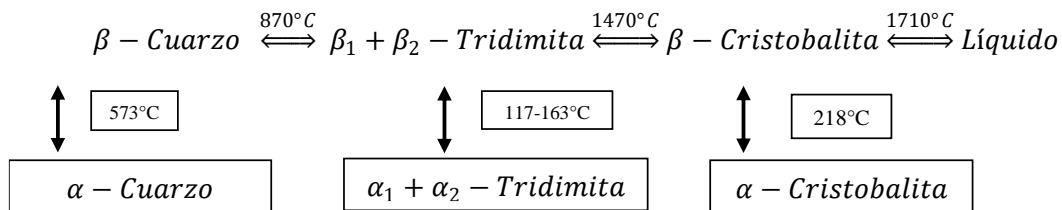


Ilustración 12: Inversión del Cuarzo a distintas temperaturas. Fuente: (Barba et al., 2002)

Se denominan reacciones de inversión a las de transformación entre las variedades cristalinas α y β que corresponden, respectivamente, a las formas estables a baja y alta temperatura. Estas reacciones involucran solo cambios estructurales menores sin romper o formar nuevos enlaces. Asimismo, estas reacciones son reversibles y las distorsiones estructurales que producen son tan pequeñas que ocurren a un ritmo casi instantáneo. De todas las reacciones reversibles, la menos conocida es la tridimita debido a que al menos existen dos tipos de α y dos tipos de β y pueden producirse al menos dos reacciones de inversión.

De estos minerales, el cuarzo es el más cercano a un compuesto puro y exhibe ciertas propiedades físicas. A 573°C y presión atmosférica, el α -cuarzo se convierte instantáneamente en β -cuarzo, aumentando su volumen significativamente.

La tridimita es la forma más termodinámicamente estable de SiO_2 a presiones atmosféricas entre 870 y 1470°C . Se convierte en β -cristobalita a altas temperaturas y en β -cuarzo a bajas temperaturas. La conversión $\alpha \rightarrow \beta$ en cristobalita produce un aumento del 3% en volumen. Este hecho provoca el problema de rotura (desventados) en las piezas cerámicas que contienen esta especie mineral durante la cocción, preferentemente durante el proceso de enfriamiento final (Asociación española de Técnicos Cerámicos & SACMI, 2004)

Las reacciones de inversión provocan también cambios en la densidad de la sílice, pero son menos intensos que la reacción de conversión porque solo causa una ligera tensión y ligeros cambios en los ángulos de enlace de la estructura cristalina original. La transición de una forma β a otra α siempre va acompañada de un aumento de la densidad de la sílice y, por tanto, de una contracción. La expansión recibida cuando la muestra se calienta a 220°C corresponde a la transformación $\alpha \rightarrow \beta$ de cristobalita. Después de eso, la transformación $\alpha \rightarrow \beta$ del cuarzo provoca una segunda expansión por encima de 573°C (Barba et al., 2002).

Sinterización.

Durante este fenómeno, los procesos de transporte de masa son cruciales en la densificación de la pieza en verde. En la etapa inicial de la sinterización se forman cuellos entre las partículas que están en contacto debido principalmente a mecanismos de difusión superficial y evaporación-condensación, sin embargo, en esta etapa no hay densificación. Al aumentar la temperatura se genera un límite de grano dentro de cada cuello y cada cavidad intersticial entre partículas se convierte en un poro; en este instante de la sinterización hay un transporte de masa hacia la zona del cuello a través del volumen y el borde de grano; con la evolución del proceso, los poros se hacen más pequeños y más esféricos. La fuerza motriz de este fenómeno es la reducción del área total de las superficies de las partículas por lo que las nanopartículas son muy activas durante este proceso (Muñoz et al., 2007).

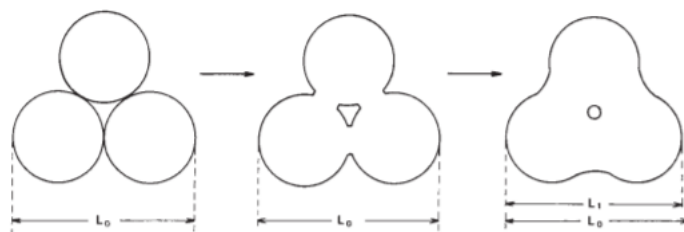


Ilustración 13. Representación de sinterización. Fuente: (Asociación española de Técnicos Cerámicos & SACMI, 2004)

Básicamente este proceso consigue que pequeñas partículas de una materia prima se mantengan unidas por difusión al estado sólido. Se basa en la transformación de un producto poroso en otro compacto y coherente (Huaccha Holguín, 2021).

La principal razón por la que se produce la sinterización es la estructura básica de los cristales. En el interior de un cristal perfectamente ordenado, cada átomo debe estar



rodeado por algún otro átomo de una manera particular para neutralizar las cargas y las fuerzas de valencia; Por otro lado, en la superficie, el entorno que rodea a los átomos está desorganizado, lo que lo hace insaturado y reactivo. Por tanto, la disminución de la superficie representa una disminución de la energía y, por lo tanto, conduce a un estado más estable. Cabe destacar que la temperatura en donde empieza a producirse sinterización ocurre desde aproximadamente a los 850°C y puede seguir hasta temperaturas mayores a los 1200°C según (Asociación española de Técnicos Cerámicos & SACMI, 2004; Huaccha Holguín, 2021).

En la práctica, la sinterización es afectada severamente por la pureza del material, sus tamaños de grano, sus formas y orientación relativa. El método de moldeo y la presión aplicada tienen una importancia considerable.

Cambios de estado sólido-líquido y líquido-gas

En la cocción, el proceso de vitrificación comienza por la superficie de las partículas, cuanto mayor sea ésta más rápidamente y a más baja temperatura vitrificará, obteniéndose una pieza cocida de menor porosidad y mayor resistencia mecánica (Uribe et al., 2021).

Estos tipos de cambio se pueden observar en los materiales fundentes, los cuales cambian su estado sólido a líquido, entre ellos podemos mencionar

Feldespatos: Estos materiales presentan una gran disposición para fundirse y con ello reaccionar con otros componentes debido a su basta cantidad de álcalis. Para determinar su fusibilidad se emplean los métodos de cono de fusión o el microscopio de calefacción, este último si se desea mayor detalle. Debido al tipo de arcillas utilizadas en el sector ladrillero y tejero, este tipo de compuestos no están presentes en cantidades importantes, además de que empiezan a actuar desde los 1100°C, siendo esta una temperatura a la cual no llegan los hornos utilizados por los artesanos, razón por la cual su acción es prácticamente nula en las pastas.

Carbonatos: Los carbonatos de Calcio y de Magnesio reaccionan con la sílice y la sosa para obtener productos de bajo punto de fusión, es decir, actúan principalmente como fundentes en pastas y vidriados. Además, reaccionan con la arcilla y feldespato para dar una masa vítrea, la cual presenta una resistencia mayor y porosidad más baja, pero a su vez, sufre mayor contracción (Singer & Singer, 1979).



Óxido de Hierro: Durante la cocción con una atmósfera de reducción, la reducción de Fe_2O_3 a FeO comienza a 900°C , y el FeO comienza su función fundente integrándose en la red vítrea. El FeO disuelto en la matriz no puede volver a oxidarse, mientras que el FeO que permanece sin disolver en la matriz puede volver a convertirse en Fe_2O_3 al volverse a oxidar (Ferrero, 2021). El poder fundente del FeO puede sustituir a otros fundentes como calcio o plomo, cabe mencionar que el óxido de hierro es usado a menudo como un fundente de arranque de colada continua en metalurgia (Cruz et al., 2007).

3.5.3.2. *Cambios Químicos*

Oxidación de la materia orgánica.

La materia orgánica se considera la principal impureza de las arcillas. El tipo y cantidad de la misma dependen de la vegetación asociada con el yacimiento durante su formación y de los procesos geológicos a los que ha estado ligado el mismo.

La materia orgánica se quema en atmósfera oxidante proporcionando un efecto exotérmico gradual entre $300\text{-}500^\circ\text{C}$, la oxidación del carbón desprende calor y la extensión de este efecto es proporcional a la cantidad de materia orgánica presente en la arcilla. Sin embargo, en las arcillas se presentan varias impurezas diferentes a la materia orgánica, que se descomponen individualmente en el calentamiento (Asociación española de Técnicos Cerámicos & SACMI, 2004)

Otro fenómeno que ocurre debido a la oxidación de la materia y a los óxidos de hierro presentes en las materias primas arcillosas es el corazón negro, el cual es un núcleo oscuro que se encuentra en el interior de una pieza cerámica cuando es cocida.

Los componentes que dan lugar al corazón negro de la pieza cerámica, cuando es calentada por encima de los 500°C son: El carbón (coque) formado por la pirólisis y que es catalizado por el silicato alumínico presente en la composición de partida de la materia orgánica y, por los óxidos reducidos de la Hematita (Fe_3O_4) presente en la arcilla. Ambos componentes reaccionan con el CO que se forma en la reacción, formando así el corazón negro (Molina Martínez, 2019).

Esto se evita con un ciclo de cocción diseñado correctamente, que las piezas presenten una permeabilidad elevada y que la combustión de la materia orgánica sea completa. Caso contrario, a medida que se reduce el ciclo de cocción y la densidad aparente de



la pieza aumenta, se desfavorece la oxidación de la materia orgánica lo que provoca la aparición del corazón negro.

Normalmente, el corazón negro se entiende como un defecto de la pieza cerámica. Algunas de las consecuencias de la formación de este defecto son:

- a) Hinchamiento de las piezas
- b) Deformaciones pirolásticas
- c) Deterioro de las características técnicas y estéticas de los esmaltes cerámicos
- d) Alteración del tono del soporte y/o esmalte (Teijeira, 2015).

Descomposición de compuestos que contienen oxígeno

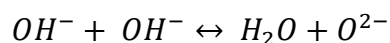
Como se puede observar en la Tabla 5 la descomposición de los compuestos químicos que contienen oxígeno ocurre a distintas temperaturas a lo largo de un ciclo de cocción, siendo los carbonatos y sulfatos los que requieren mayor temperatura para descomponerse.

Tabla 5. Temperatura de descomposición de compuestos más habituales de las arcillas. Fuente: (Barba et al., 2002)

Reacción	Temperatura °C
$FeS_2 + O_2 \rightarrow FeS + SO_2$	350-450
$4FeS + 7O_2 \rightarrow 2Fe_2O_3 + 4SO_2$	500-800
$C + O_2 \rightarrow CO_2$	350
$S + O_2 \rightarrow SO_2$	250-920
$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$	600-1050
$MgCO_3 \rightarrow MgO + CO_2$	400-900
$4FeCO_3 + O_2 \rightarrow 2Fe_2O_3 + CO_2$	800
$CaSO_4 \rightarrow CaO + SO_3$	1250-1300

Deshidroxilación del mineral arcilloso y formación de compuestos intermedios

Esta reacción consiste en la descomposición de los cristales del mineral para dar lugar a una estructura amorfa más desordenada, por pérdida de grupos OH en forma de agua. Un ejemplo es el la caolinita ya que cuando se calienta hasta alcanzar aproximadamente los 470°C, los iones OH^- de la estructura cristalina comienzan a ser eliminados en forma de vapor de agua:





Esto a su vez produce una pérdida de peso y una destrucción parcial de la estructura cristalina debido al reordenamiento de los átomos, formándose una fase amorfa y metaestable denominada meta caolín $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + 2H_2O$

Otro ejemplo de esto es la montmorillonita ya que la eliminación de los grupos hidroxilo ocurre sobre los $700^{\circ}C$ para que luego la cristalinidad se mantenga alrededor de los $850^{\circ}C$, para después de superar esa temperatura perderla completamente, pues la montmorillonita anhidra se transforma en un material amorfo (Barba et al., 2002).

Cristalización.

Al incrementarse la temperatura, el producto inestable y amorfo que se obtiene a partir de la deshidroxilación del mineral arcilloso comienza a cristalizar.

Bradley y Nakahira plantearon que la presencia de enlaces SI-O-Si en la caolinita es responsable de facilitar la formación de mullita secundaria (Llano, 2017) debido a el aluminosilicato amorfo obtenidos a $980^{\circ}C$, el cual presenta cristales aciculares que refuerzan la resistencia mecánica del material es por ello que se sabe que la mullita y el corindón tienen una excelente estabilidad térmica y un alto nivel de propiedades mecánicas (Villaquirán Caicedo et al., 2021).

A partir de este material amorfo, se forma la espinela y la hematita, esta recristalización produce un pequeño pico exotérmico sobre los $950^{\circ}C$. El metacaolín formado a partir de la deshidroxilación de la caolinita, contribuye al proceso de mullitización, su formación inicia a temperaturas de $900^{\circ}C$ a $1000^{\circ}C$, el perfeccionamiento y crecimiento de los núcleos de los cristales, por reacción de difusión de la sílice en los granos de alúmina, depende de la temperatura y de la naturaleza físico-química de sus componentes, tales como, el tamaño de partículas, forma cristalográfica, presencia de catalizadores, entre otros. Cabe mencionar que la presencia de mullita no suele ser muy común en los productos de arcilla roja, y es un indicador que demuestra que se llevó a cabo un buen proceso de cocción (Cáceres et al., 2021).



Soluciones sólidas.

Básicamente constan de cristales adyacentes de dos materiales diferentes, pero de estructura similar que pueden reaccionar entre sí, formando una solución sólida (Barba et al., 2002).

3.5.4. Vidriado cerámico.

Estructuralmente, el vidrio se asemeja a un líquido con una distribución aleatoria de tetraedros de SiO_4 , pero al igual que con los cristales, los enlaces con los átomos vecinos son permanentes por lo que los vidrios se pueden llamar correctamente líquido sobre enfriado o sólido amorfo.

La pasta y el vidriado se diferencian en que el vidrio se funde completamente y se distribuye uniformemente sobre la superficie de la pieza cerámica. La mayoría de los vidriados se solidifican en vidrios claros y duros al enfriarse.

Durante la cocción se produce una reacción entre la pasta y el vidriado, este último al fundirse, tiende a disolver la superficie de la pieza cerámica formando una interfase, la cual es parcialmente una capa de vidrio y pasta a la vez y permite que la cubierta se adhiera al cuerpo cerámico para evitar agrietamientos y desconchado al endurecerse.

Su formación es más factible a altas temperaturas ya que no solo se activan los componentes del vidriado, sino también los de la pasta que tienden a formar una cierta cantidad de vidrio fundido. A bajas temperaturas, la línea de separación entre pasta y el vidriado está bien definida debido a que prácticamente no hay formación de interfase.

El polvo sobre la superficie de la pieza cerámica o las sales solubles que pueden aflorar de la pasta durante su sancochado, impiden una buena reacción, por lo que, al no lograr adherirse adecuadamente, el vidriado presentará defectos de arrugado o desconchamiento en bordes. Un periodo prolongado de cocción manteniendo la temperatura de maduración, así como altas temperaturas, favorecen la formación de la capa intermedia (Vázquez, 2005).



3.6. Caracterización de los hornos

Según el levantamiento de información realizado por el proyecto conjunto entre la Universidad Politécnica Salesiana y la Universidad de Cuenca y, financiado por la Comisión de Gestión Ambiental (CGA) del GAD municipal del cantón Cuenca, “Mejoramiento de la Eficiencia energética y reducción de contaminantes en hornos de ladrilleras artesanales del Cantón Cuenca”, los hornos artesanales que se utilizan en el sector ladrillero poseen básicamente tres formatos geométricos y estos son: cilíndricos, los cúbicos y los de base rectangular, de tiro ascendente natural. Sus capacidades de carga oscilan entre 7000 a 10000 ladrillos artesanales y de 4 000 a 8 000 tejas. Estos hornos se caracterizan por tener dos cámaras: una de combustión que se encuentra en la parte inferior cuya altura máxima es de 1 m aproximadamente y otra cámara continua que es la de cocción cuya altura varía entre 2 a 3 m. Existe una parrilla que divide ambas cámaras y sirve como base para cargar los productos a cocerse. La cámara de cocción tiene generalmente una compuerta de carga y descarga cuyas dimensiones varían entre 0,80 a 1m y 1,20 a 1,50 m de altura. La compuerta de la cámara de combustión tiene una forma de bóveda catenaria, por donde se suministra el combustible (aserrín, cáscara de café, ramas de eucalipto, etc.). Este tipo de hornos puede o no tener chimenea; la falta de una chimenea disminuye la eficiencia térmica, aumentando la concentración de contaminantes debido al mal proceso de combustión que puede evidenciarse por la gran cantidad de humo negro que se genera durante el proceso.

En la cocción de los productos cerámicos hay que considerar, de modo general, factores energéticos, físicos y químicos relacionados con la materia y unos factores geométricos, tanto del horno como de las propias piezas, o de los apilamientos de las mismas en el horno con el fin de que estas interacciones generen una velocidad de cocción lo más alta y eficiente posible (A. García, 2018)

Los principales materiales de construcción por los cuales están constituidos los hornos son: piedras, ladrillos, adobes, mortero de barro o arcilla, madera de eucalipto y calaminas.

Los principales problemas que se presentan durante el funcionamiento de los hornos convencionales utilizados en las ladrilleras artesanales son:



- Combustión incompleta de los combustibles empleados: lo cual produce emisión de gases contaminantes como el CO, CO₂ y gases sulfurosos, además, de baja eficiencia térmica lo que redundará en un aumento en el costo de las cocciones con el consecuente encarecimiento de los procesos de producción.
- Gradiente de temperaturas considerablemente alto entre la base y la parte alta de la carga: esto se debe a que la mayoría de los hornos son abiertos, este hecho hace que las cocciones sean deficientes. Además, los hornos abiertos pierden la mayor parte de la energía térmica producida por el combustible.
- Generación de desperdicios sólidos (mermas): en cada cocción existe entre 500 a 1000 ladrillos que no se queman adecuadamente, ya que salen muy quemados o faltos de quema presentando características mecánicas deficientes.
- Baja calidad de los productos: como consecuencia de las cocciones deficientes se ofertan productos de dudosa calidad, pues la mezcla cerámica no llega a la cocción completa o a la “sinterización”, quedando con un alto nivel de porosidad, y baja resistencia mecánica.
- Temperatura óptima en el centro del ladrillo: Los ladrillos son piezas que tienen gran espesor, es importante determinar que alcance la temperatura óptima en el centro, y esta no tenga diferencia significativa con relación a su espesor, para garantizar su calidad (A. Gómez et al., 2016).

3.6.1. Tipos de combustibles utilizados.

En la fabricación de ladrillos y tejas artesanales, se usa frecuentemente leña, aserrín y plásticos, entre otros combustibles que contribuyen significativamente a la contaminación del aire, la deforestación, disponibilidad de agua, etc.

Es así que fundas plásticas, botellas de PET, llantas y en general cualquier material plástico es utilizado como complemento para acelerar el encendido y “avivar” el fuego cuando la combinación combustible-oxígeno no tiene suficiente potencial calórico. Cabe mencionar que, la viruta o aserrín a más de aportar dicho potencial calórico, en muchas ocasiones es utilizado como combustible principal y se dosifica al horno de manera manual. También es muy común que se utilice ramas y hojas de eucalipto en un término medio entre seco y verde, así como leña, en forma de tucos o troncos, los cuales se adquieren en depósitos cercanos a las ladrilleras, pero conllevan un riesgo sobre los



bosques, ya que su uso y tala supera largamente la capacidad de recuperación con los escasos esfuerzos de forestación (G. García & Pañi, 2013).

3.7. Herramientas de análisis estadístico

3.7.1. Diagramas de cajas

Es una representación gráfica que comprende la mediana, la cual es una medida de tendencia central, el rango el cual indica la dispersión y el primer y tercer cuartil, los cuales son medidas de posición y los incorpora a todos ellos de una manera sencilla (Heeren et al., 2005). Esta herramienta de análisis exploratorio de datos permite estudiar la simetría de los datos, detectar los valores atípicos y vislumbrar un ajuste de datos a una distribución de frecuencias determinada.

Este diagrama divide los datos en cuatro áreas de igual frecuencia, una caja central dividida en dos segmentos por una línea horizontal y otras dos áreas representadas por dos segmentos verticales denominados bigotes que parten del centro de cada lado de la caja. Dicha caja encierra el 50% de los datos, en la cual se distingue la media en el centro y esto representa simetría de los datos (Llinas & Rojas, 2015).

Finalmente cabe mencionar que el valor atípico representado en el gráfico es el valor que está más alejado de 1.5 veces del rango Inter cuartil del cuarto más cercano. El valor atípico puede ser un elemento para el cual se haya anotado su valor de forma errónea o porque por error se incluyó en el conjunto de datos o también puede ser un elemento poco común que se haya anotado de forma correcta y que si pertenece al conjunto de datos. Cualquiera que sea el caso, debe eliminarse o corregirse para continuar con el análisis (Llinas & Rojas, 2015).

Un diagrama de caja múltiple es muy útil para demostrar semejanzas o diferencias entre dos o más conjuntos de datos, es por ello que en este trabajo se utilizó este tipo de diagrama mediante el software de análisis de datos Minitab.

3.7.2. Distribución normal

Es un modelo de probabilidad para variables continuas más importante, esta distribución aproxima lo observado en muchos procesos de medición sin errores sistemáticos. El teorema central del límite establece que cuando los resultados de un experimento son debidos a un conjunto muy grande de causas independientes, que actúan sumando efectos,



siendo cada efecto individual de poca importancia respecto al conjunto, es esperable que los resultados sigan una distribución normal (Peña, 2014).



4. METODOLOGÍA

En el presente trabajo de investigación se ejecutaron ensayos de determinación de humedad en ladrillos y tejas para conocer su contenido de agua y con ello diseñar ciclos de cocción que consideren el tiempo de secado de acuerdo al contenido de humedad y además que estén basados en monitoreos de los hornos artesanales y con ello adaptar las etapas de cocción en el laboratorio. Finalmente, con el producto cocido se hicieron ensayos de resistencia mecánica y absorción de agua, según los procedimientos descritos en la normativa INEN para ladrillos y tejas y en base a ello se determinó un rango de temperaturas adecuado para obtener productos que cumplan con los requisitos de las normas.

4.1. Tipo de Estudio

El presente trabajo de titulación corresponde a una investigación de tipo experimental de carácter inferencial, además, está diseñado bajo el planteamiento cuantitativo, pues es el que se adapta a los objetivos de esta investigación.

Así pues, el desarrollo del presente trabajo está dividido en dos fases

- a. Realización de un estudio preliminar de los hornos que se utilizan para la cocción de tejas y ladrillos en los sectores de Racar y Sinincay y, en base a ello, establecer ciclos de cocción para cada uno de los materiales cerámicos estudiados.
- b. Ejecución de los ciclos de cocción y realización de los ensayos de absorción de agua y resistencia mecánica en los productos cocidos conjuntamente con el análisis de resultados.

Como se mencionó en el capítulo anterior, la absorción de agua y la resistencia mecánica obtenidos a diferentes temperaturas, son los parámetros que se usarán para determinar el rango de temperatura óptima de cocción.

4.2. Lugar de la Investigación

La fase experimental se realizó en el Laboratorio de Cerámica de la Universidad de Cuenca en donde se ejecutaron los ensayos de absorción de agua, procesos de cocción y determinación de humedad; los ensayos de resistencia mecánica en ladrillos, por su parte, se realizaron en el Laboratorio de Destrucción Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca y finalmente los ensayos de resistencia a la flexión para tejas se



realizaron en el Laboratorio de Construcciones y Aplicaciones Bioclimáticas de la Universidad de Cuenca.

Por otra parte, cabe mencionar que el levantamiento de información sobre las condiciones de trabajo de cada taller de producción de tejas y ladrillos se realizó de manera virtual, debido a la pandemia causada por el virus SARS-COV2, no obstante, el monitoreo de tiempos y temperaturas se realizó en situ, por duplicado en cada uno de los hornos en donde se ejecutan las cocciones de cada uno de los materiales cerámicos estudiados.

4.3. Muestra

En el presente trabajo se consideró el número de especímenes que indica la norma INEN 990 para los ensayos de absorción de agua y resistencia mecánica en tejas y de manera similar se tomó en cuenta la norma INEN 3049 parte 3 para la ejecución de los mismos ensayos en ladrillos, es así que, se determinó un cierto número de cocciones (quemadas) y se decidió aumentar en un 10% las muestras requeridas, por si se presentara algún imprevisto. Dichas muestras se obtuvieron por parte de los fabricantes de ladrillos y tejas que forman parte del proyecto “Mejoramiento de la Eficiencia energética y reducción de contaminantes en hornos de ladrilleras artesanales del Cantón Cuenca”

4.4. Estudios preliminares

4.4.1. Caracterización de los hornos artesanales de ladrillos y tejas

Debido a que, en los proyectos de Vinculación con la Sociedad previos realizados por la Facultad de Ciencias Químicas en el sector, se advirtió que dentro de los hornos utilizados existe una gran variabilidad de temperaturas y ya que el objetivo del presente trabajo de titulación es determinar un rango de temperaturas en las que el producto cocido cumpla con las normas INEN 990 e INEN 3049 parte 3, por lo que en el proyecto conjunto entre la Universidad Politécnica Salesiana y la Universidad de Cuenca y, financiado por la Comisión de Gestión Ambiental (CGA) del GAD municipal del cantón Cuenca, “Mejoramiento de la Eficiencia energética y reducción de contaminantes en hornos de ladrilleras artesanales del Cantón Cuenca” se considera necesario determinar esta variación usando varias termocuplas colocadas en diferentes partes del horno artesanal.

4.4.2. Análisis de humedad de los materiales cerámicos



Es necesario conocer la humedad con la que tanto ladrillos como tejas salen del proceso de moldeo para que con ello se pueda determinar la cantidad de agua necesaria a eliminar en la primera fase de la cocción.

Con el fin de obtener datos fiables, se procederá a utilizar dos métodos de determinación de humedad:

- a) Método de la estufa
- b) Método por termobalanza

En ambos casos se harán pruebas por duplicado de cada pieza, utilizando a su vez una muestra representativa de cada una.

4.4.2.1. *Materiales y Equipo*

Para determinar las humedades se van a utilizar los siguientes equipos: Termobalanza BOECO BPS 40 plus, Estufa JP-Selecta, Balanza digital Mettler Toledo/ MS 16001LE/01

En cuanto a los materiales, se utilizarán vasos de precipitación de vidrio, bandejas de hierro y espátulas para la manipulación de las muestras.

4.4.2.2. *Procedimiento*

En ambos métodos se procede de manera similar, en un inicio se toman 10 especímenes de cada material cerámico, los cuales provienen de un lote de producción de uno de los talleres de donde previamente se levantó la información. Una vez escogidos dichos especímenes, en el caso de las tejas, se procede a dividir la probeta que sale de la sección de moldeo, para luego ser dividida en tres secciones, dos secciones extremas (Descritas como extremos) y una sección media (descrita como medios). Cuando se han separado las secciones de la teja, se procede a hacer un cuarteo de cada una de las secciones previamente desmenuzadas para tomar una muestra representativa, la cual debe ser pesada y registrada para luego ser llevada a la termobalanza o a la estufa (según el método que se esté aplicando) hasta que presente un peso constante.



Ilustración 14: Método de determinación de humedad mediante termobalanza. Fuente: Elaboración propia

En el caso de los ladrillos, se procede exactamente de la misma manera, se dividen las secciones, para luego ser desmenuzadas y cuarteadas, luego son pesadas y finalmente se llevan a la termobalanza o a la estufa, dependiendo del método con el que se esté trabajando.



Ilustración 15: Método de determinación de humedad mediante estufa. Fuente: Elaboración propia

4.4.3. Determinación de tiempos y temperaturas de los hornos de cocción

Los hornos utilizados en las parroquias de Racar y Sinincay son artesanales, es por ello que se pretende coordinar con los propietarios de los mismos para hacer un monitoreo del ciclo de cocción para conocer los tiempos y temperaturas alcanzadas durante este proceso; para lograrlo se procederá de la siguiente manera:

- I. Instalar el equipo de monitoreo de temperatura (termocuplas tipo K marca Jumbo) antes de iniciar el ciclo de cocción/quema.

- II. Monitorear la temperatura cada 20 minutos
- III. Llevar un registro de las temperaturas
- IV. Diferenciar el proceso de cocción y de enfriamiento y llevar su correspondiente registro.

Con la información obtenida se procederá a analizar el ciclo de cocción y diseñar un nuevo ciclo que simule de la manera más fiel posible las condiciones de los hornos artesanales en el laboratorio.

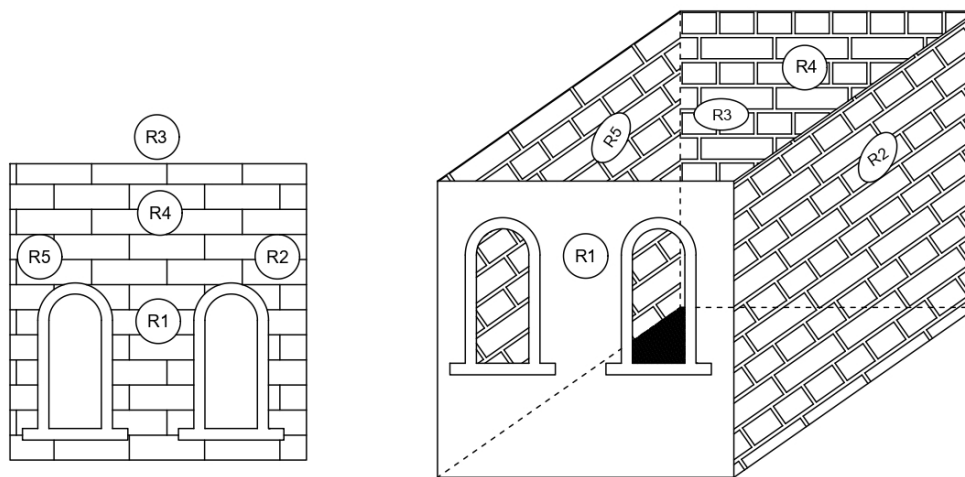


Ilustración 16: Colocación de las termocuplas en el horno artesanal. Vista frontal y lateral. Fuente: Elaboración propia

4.4.4. Ciclos de cocción.

Con los datos recolectados del monitoreo de temperaturas se procedió a analizar los tiempos que tardan los hornos artesanales en cocer las piezas cerámicas y las temperaturas a las que llegan. Con esa información, se diseñó un ciclo de cocción que simule el comportamiento de la cámara de calentamiento del horno artesanal en el horno del Laboratorio de Cerámica, pero con un número menor de horas, debido a que el funcionamiento del horno eléctrico, debe estar bajo la vigilancia de personal calificado que labora durante horas hábiles que van desde las 8h00 hasta las 18h00.

Para diseñar los ciclos de cocción se consideró el comportamiento de las materias primas con la temperatura, como se estableció en el capítulo anterior.

Una vez diseñados los ciclos de cocción, se procedió a ejecutar las quemas de tejas y ladrillos por separado con el rango de variación de temperatura de 50°C hasta los 1000°C y con rangos de 25°C después de haber traspasado dicha temperatura, para luego



continuar con los ensayos de absorción de agua por duplicado y de resistencia mecánica, estos últimos no se realizaron por duplicado debido a los costos que implica el ensayo.

Otro factor que se tomó en cuenta para diseñar los ciclos de quema es la temperatura mínima con la que se iba a empezar a cocer los materiales cerámicos, ya que estos difieren entre sí. Es así que en el caso de las tejas sin vidriar se decidió empezar a cocer a los 650°C, ya que a esta temperatura empiezan a generarse cambios en la materia prima que influyen en la calidad final del producto. Por otra parte, para establecer la temperatura mínima de vidriado se tomó en cuenta el desempeño de la frita libre de plomo basado en la investigación “Sustitución del vidrio crudo a base de óxido de plomo por uno fritado en la elaboración de tejas en el sector San José de Balzay y Racar” (N. Álvarez & Chacho, 2015).

En cuanto a los ladrillos de perforación horizontal, se optó por empezar el análisis a la misma temperatura que las tejas debido a su grosor y su naturaleza hueca, sin embargo, para el caso de los ladrillos macizos, se subió la temperatura hasta los 850°C ya que son mucho más gruesos y compactos por lo que, con una temperatura menor, a la mencionada, no se aseguraría una cocción completa, dejando así su centro con material crudo, lo que provocaría un producto de mala calidad que no es apto para los ensayos pretendidos en esta investigación y a la vez significaría un desperdicio de recursos dentro del laboratorio.

4.5. Absorción de agua

4.5.1. Absorción de agua en tejas y ladrillos.

Para hallar la absorción de agua en tejas se procedió a aplicar la norma INEN 989, cuyo procedimiento se encuentra detallado en el **Anexo 1**.

Por su parte, para determinar la absorción de agua en ladrillos cerámicos se siguió el procedimiento descrito en la norma INEN 3049 parte 5 detallada en el **Anexo 2**.

Para ambos casos se utilizó el mismo equipo que se detalla a continuación.

4.5.1.1. Equipo

- Balanza con capacidad mínima de 2 kg y con escala que permita lecturas hasta de 0,2 g. Se contó con una balanza Mettler Toledo/MS 16001LE/01.



- Estufa de desecación regulada a la temperatura de 110°C. Asimismo, se utilizó una estufa modelo JP-Selecta

4.6. Resistencia mecánica de los materiales cerámicos

4.6.1. Resistencia a la flexión en tejas

Para aplicar el método se siguieron los pasos que se establece en la norma INEN 988 que se detalla en el **Anexo 3**.

4.6.1.1. Equipo:

Para la ejecución de los ensayos de resistencia a la flexión se utilizó el equipo ACCUTEK touch 350, mediante las normas ASTM C-39 e INEN 988.



Ilustración 17: Equipo de ensayos de resistencia a la flexión y compresión del laboratorio de Construcciones y Aplicaciones Bioclimáticas de la Universidad de Cuenca. Fuente: Elaboración propia

4.6.2. Resistencia mecánica en ladrillos.

En el caso de los ladrillos, la norma INEN 3049 parte 5, especifica el procedimiento que se debe realizar para ejecutar ensayos de compresión sobre los mismos y se detalla en el **Anexo 4**

4.6.2.1. Especímenes de ensayo

Para unidades de ladrillos que sean macizos o semimacizos, los especímenes de ensayo deben ser unidades secas que contengan la altura y el ancho completos de la unidad, tal como se usa en el muro o en el enladrillado, pero con una longitud igual a la mitad de la

longitud de la pieza entera ± 25 mm; y se someten a carga en la misma posición que ocuparían en su aplicación.

4.6.2.2. *Equipo*

El equipo de compresión utilizado para los ensayos fue MATEST modelo YIC109NC perteneciente al Laboratorio de Destrucción Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana con sede en Cuenca.



Ilustración 18: Equipo de ensayos de Compresión de la Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca. Fuente: Elaboración propia

4.7. Análisis estadístico

Para este trabajo se trabajó con análisis estadístico inferencial con un intervalo de confianza de 95%. Las hipótesis manejadas son las siguientes:

1. Los ladrillos pueden cumplir los parámetros mínimos de absorción de agua y resistencia mecánica establecidos en la norma INEN al cocerse a temperaturas menores o iguales 950°C .
2. Las tejas vidriadas pueden cumplir los parámetros mínimos de absorción de agua y resistencia mecánica establecidos en la norma INEN al cocerse a temperaturas menores o iguales 1000°C y las tejas sin vidriar cumplen los respectivos requerimientos a temperaturas menores o iguales a 900 .

Como se mencionó anteriormente se trabajó con un tamaño de muestra de 5 unidades, como indican las normas INEN y, para el caso de los ensayos de absorción de agua se los hará por duplicado.



5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados de los monitoreos de cocción, así como los diseños de ciclos de cocción tanto para tejas como para ladrillos, además, se analizan los resultados de absorción de agua y resistencia mecánica para ambos materiales de construcción.

5.1. Determinación de humedad

Como se mencionó anteriormente, se analiza la humedad de los materiales cerámicos mediante dos métodos: método de la estufa y método de la termobalanza.

En la Tabla 6 se muestran los valores promedio de humedad obtenidos para cada material mediante ambos métodos de ensayo, se incluyen los valores promedio de las secciones medias y extremas de las piezas cerámicas, así como la desviación estándar entre las mismas y en el **Anexo 5** se detallan los resultados obtenidos.

Ambos métodos prácticamente proporcionan los mismos resultados, salvo en el caso de la teja tipo curva, en donde existe la mayor diferencia, siendo el método de la estufa el que presenta menor humedad en comparación al método de la termobalanza. En este mismo análisis, se puede observar que en el método de la estufa existe mayor desviación estándar entre las secciones del material, exceptuando el caso de los ladrillos huecos. Esto podría deberse a un error del operario, sin embargo, la variación entre los resultados finales de humedad entre ambos métodos, demuestran que no son significantes, al menos para el nivel de precisión que requiere el proceso de secado de materiales cerámicos.

Tabla 6. Resumen determinación de Humedad. Fuente: Elaboración propia

Tipo de material Cerámico	Método de la estufa		Método de la Termobalanza	
	Humedad	Desviación entre secciones del material	Humedad	Desviación entre secciones del material
Ladrillo Hueco	20,28		20,44	
Extremos	20,38	0,1361	20,12	0,4508
Medios	20,19		20,76	
Ladrillo Macizo	27,19		26,86	
Extremos	26,26	1,3152	26,89	0,0533
Medios	28,12		26,82	
Teja Curva	18,88		19,97	
Extremos	18,49	0,5639	20,25	0,3953
Medios	19,28		19,69	
Teja Plana	22,53		22,29	
Extremos	22,72	0,2758	22,36	0,1005
Medios	22,33		22,22	

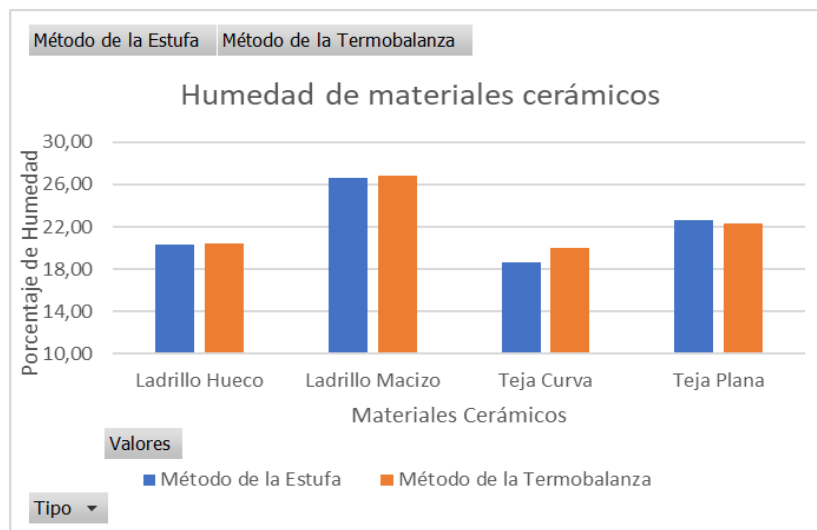


Figura 1. Comparación entre métodos de determinación de Humedad. Fuente: Elaboración propia



Por su parte en la Figura 1 se representa mediante un gráfico de barras los resultados de la humedad promedio de los materiales cerámicos mediante los métodos ensayados. Como se puede observar la diferencia entre los valores de cada pieza es mínima siendo 0,93% (en el caso de la teja tipo curva) el rango máximo de diferencia entre las cantidades halladas.

5.2. Determinación de tiempos y temperaturas de cocción de hornos artesanales

En la información levantada por el proyecto conjunto entre la Universidad Politécnica Salesiana y la Universidad de Cuenca y, financiado por la Comisión de Gestión Ambiental (CGA) del GAD municipal del cantón Cuenca, “Mejoramiento de la Eficiencia energética y reducción de contaminantes en hornos de ladrilleras artesanales del Cantón Cuenca” y que está en el **Anexo 21**, se evidencia que las temperaturas alcanzadas son distintas dentro del horno, ya que pueden variar desde los 600°C hasta los 850°C en periodos de cocción de hasta 880 min. En base a estos resultados se diseñaron ciclos de cocción que van desde los 650°C hasta temperaturas mayores de 1000°C.

5.3. Adaptación de ciclos de cocción

Para el diseño de los ciclos de cocción a ejecutarse en el Laboratorio de Cerámica de la Facultad de Ciencias Químicas perteneciente a la Universidad de Cuenca se tuvo en cuenta el horario de trabajo de la persona encargada de vigilar el estado de los equipos debido a que por la fluctuación de energía eléctrica que presenta el laboratorio pone en peligro el correcto funcionamiento del equipo, así como su integridad si se cuece sin vigilancia fuera de las horas de trabajo del personal capacitado.

Nótese que a partir de los 1000°C se diseñan ciclos de cocción con rangos de separación de 25°C entre cada uno (a diferencia de los 50°C que se venía realizando), debido a que se hace demasiado complicado para los hornos artesanales alcanzar temperaturas mayores, además de que conlleva el uso excesivo de combustible que a su vez resulta inviable económicamente para los productores.



5.3.1. Ciclo de cocción para tejas

Tabla 7. Ciclos de Cocción para tejas sin vidriar. Fuente: Elaboración propia

Ciclo de cocción para 650°C

<i>Tramo</i>	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
<i>1</i>	20	200	120
<i>2</i>	200	550	120
<i>3</i>	550	600	120
<i>4</i>	600	650	120
<i>5</i>	650	650	60.0
<i>Tiempo en horas</i>			540 (9h)

Ciclo de cocción para 700°C

<i>Tramo</i>	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
<i>1</i>	20	200	120
<i>2</i>	200	550	120
<i>3</i>	550	600	60.0
<i>4</i>	600	700	180
<i>5</i>	700	700	60.0
<i>Tiempo en horas</i>			540 (9h)

Ciclo de cocción para 750°C

<i>Tramo</i>	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
<i>1</i>	20	200	120
<i>2</i>	200	550	120
<i>3</i>	550	600	60.0
<i>4</i>	600	750	180
<i>5</i>	750	750	60.0
<i>Tiempo en horas</i>			540 (9h)

Ciclo de cocción para 800°C

<i>Tramo</i>	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
<i>1</i>	20	200	120
<i>2</i>	200	550	120
<i>3</i>	550	650	60.0
<i>4</i>	650	800	180
<i>5</i>	800	800	60.0
<i>Tiempo en horas</i>			540 (9h)

**Ciclo de cocción para 850°C**

Tramo	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
1	20	200	120
2	200	550	120
3	550	650	60.0
4	650	800	120
5	800	850	60.0
6	850	850	60.0
Tiempo en horas			540 (9h)

Ciclo de cocción para 900°C

Tramo	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
1	20	200	120
2	200	550	120
3	550	650	60.0
4	650	850	120
5	850	900	60.0
6	900	900	60.0
Tiempo en horas			540 (9h)

Ciclo de cocción para 950°C

Tramo	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
1	20	200	120
2	200	550	120
3	550	700	90.0
4	700	850	90.0
5	850	950	60.0
6	950	950	60.0
Tiempo en horas			540 (9h)

Ciclo de cocción para 1000°C

Tramo	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
1	20	200	120
2	200	550	120
3	550	700	90.0
4	700	850	60.0
5	850	950	30.0
6	950	1000	60.0
7	1000	1000	60.0
Tiempo en horas			540 (9h)

**Ciclo de cocción para 1025°C**

<i>Tramo</i>	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
<i>1</i>	20	200	120
<i>2</i>	200	550	120
<i>3</i>	550	700	90.0
<i>4</i>	700	850	60.0
<i>5</i>	850	950	30.0
<i>6</i>	950	1025	60.0
<i>7</i>	1025	1025	60.0
<i>Tiempo en horas</i>			540 (9h)

Ciclo de cocción para 1050°C

<i>Tramo</i>	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
<i>1</i>	20	200	120
<i>2</i>	200	550	120
<i>3</i>	550	700	90.0
<i>4</i>	700	850	60.0
<i>5</i>	850	1000	30.0
<i>6</i>	1000	1050	60.0
<i>7</i>	1050	1050	60.0
<i>Tiempo en horas</i>			540 (9h)

Ciclo de cocción para 1100°C

<i>Tramo</i>	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
<i>1</i>	20	200	120
<i>2</i>	200	550	120
<i>3</i>	550	700	90.0
<i>4</i>	700	850	60.0
<i>5</i>	850	1000	30.0
<i>6</i>	1000	1100	60.0
<i>7</i>	1100	1100	60.0
<i>Tiempo en horas</i>			540 (9h)

**Ciclo de cocción para 1125°C**

<i>Tramo</i>	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
<i>1</i>	20	200	120
<i>2</i>	200	550	120
<i>3</i>	550	700	90.0
<i>4</i>	700	850	60.0
<i>5</i>	850	1000	30.0
<i>6</i>	1000	1125	60.0
<i>7</i>	1125	1125	60.0
<i>Tiempo en horas</i>			540 (9h)

Ciclo de cocción para 1150°C

<i>Tramo</i>	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
<i>1</i>	20	200	120
<i>2</i>	200	550	120
<i>3</i>	550	700	90.0
<i>4</i>	700	850	60.0
<i>5</i>	850	1000	25.0
<i>6</i>	1000	1150	50.0
<i>7</i>	1150	1050	60.0
<i>Tiempo en horas</i>			540 (9h)

5.3.1.1. *Ciclos de cocción para vidriado de Tejas*

Tabla 8. Ciclos de cocción para vidriado de tejas. Fuente: Elaboración propia

Ciclo de cocción para Vidriar a 750°C

<i>Tramo</i>	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
1	20	150	110
2	150	550	175
3	550	600	45.0
4	600	750	60.0
5	750	750	30.0
Tiempo en horas			420 (7h)

Ciclo de cocción para Vidriar a 800°C

<i>Tramo</i>	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
1	20	150	110
2	150	550	175
3	550	650	45.0
4	650	800	60.0
5	800	800	30.0
Tiempo en horas			420 (7h)

Ciclo de cocción para Vidriar a 850°C

<i>Tramo</i>	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
1	20	150	110
2	150	550	160
3	550	600	45.0
4	600	750	45.0
5	750	850	30.0
6	850	850	30.0
Tiempo en horas			420 (7h)

**Ciclo de cocción para Vidriar a 900°C**

Tramo	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
1	20	200	120
2	200	550	150
3	550	600	45.0
4	600	800	45.0
5	800	900	30.0
6	900	900	30.0
Tiempo en horas			420 (7h)

Ciclo de cocción para Vidriar a 950°C

Tramo	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
1	20	150	110
2	150	550	175
3	550	600	45.0
4	600	800	30.0
5	800	950	30.0
6	950	950	30.0
Tiempo en horas			420 (7h)

Ciclo de cocción para Vidriar a 1000°C

Tramo	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
1	20	150	110
2	150	550	140
3	550	600	45.0
4	600	850	60.0
5	850	1000	35.0
6	1000	1000	30.0
Tiempo en horas			420 (7h)



5.3.2. Ciclos de Cocción para ladrillos

Tabla 9. Ciclos de cocción para ladrillos. Fuente: Elaboración propia

Ciclo de cocción para 650°C

Tramo	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
1	20	200	60.0
2	200	350	60.0
3	350	550	120
4	550	650	120
5	650	650	180
Tiempo en horas			540 (9h)

Ciclo de cocción para 700°C

Tramo	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
1	20	200	60.0
2	200	350	60.0
3	350	550	100
4	550	700	140
5	700	700	180
Tiempo en horas			540 (9h)

Ciclo de cocción para 750°C

Tramo	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
1	20	200	60.0
2	200	350	60.0
3	350	550	90.0
4	550	650	120
5	650	750	90.0
6	750	750	120
Tiempo en horas			540 (9h)

Ciclo de cocción para 800°C

Tramo	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
1	20	200	60.0
2	200	350	60.0
3	350	550	90.0
4	550	650	90.0
5	650	800	120
6	800	800	120
Tiempo en horas			540 (9h)

**Ciclo de cocción para 850°C**

Tramo	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
1	20	200	60.0
2	200	350	60.0
3	350	550	60.0
4	550	700	120
5	700	850	120
6	850	850	120
<i>Tiempo en horas</i>			540 (9h)

Ciclo de cocción para 900°C

Tramo	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
1	20	200	60.0
2	200	350	60.0
3	350	550	60.0
4	550	750	120
5	750	900	120
6	900	900	120
<i>Tiempo en horas</i>			540 (9h)

Ciclo de cocción para 950°C

Tramo	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
1	20	200	60.0
2	200	350	60.0
3	350	550	60.0
4	550	750	120
5	750	900	120
6	900	900	120
<i>Tiempo en horas</i>			540 (9h)

Ciclo de cocción para 1000°C

Tramo	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
1	20	200	55
2	200	350	50
3	350	550	60
4	550	750	90
5	750	900	95
6	900	1000	95
7	1000	1000	95
<i>Tiempo en horas</i>			540 (9h)

**Ciclo de cocción para 1025°C**

Tramo	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
1	20	200	55
2	200	350	50
3	350	550	60
4	550	750	90
5	750	900	95
6	900	1025	95
7	1025	1025	95
<i>Tiempo en horas</i>			540 (9h)

Ciclo de cocción para 1050°C

Tramo	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
1	20	200	55
2	200	350	50
3	350	550	60
4	550	750	90
5	750	900	95
6	900	1050	95
7	1050	1050	95
<i>Tiempo en horas</i>			540 (9h)

Ciclo de cocción para 1100°C

Tramo	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
1	20	200	55
2	200	350	50
3	350	550	60
4	550	750	90
5	750	900	95
6	900	1100	95
7	1100	1100	95
<i>Tiempo en horas</i>			540 (9h)

Ciclo de cocción para 1150°C

Tramo	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
1	20	200	55
2	200	350	50
3	350	550	60
4	550	750	90
5	750	900	95
6	900	1150	95
7	1150	1150	95
<i>Tiempo en horas</i>			540 (9h)

**Ciclo de cocción para 1200°C**

<i>Tramo</i>	Temperatura inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Tiempo (min)
1	20	200	55
2	200	350	50
3	350	550	60
4	550	750	90
5	750	900	95
6	900	1200	95
7	1200	1200	95
<i>Tiempo en horas</i>			540 (9h)

5.4. Absorción de agua*5.4.1. Absorción en tejas*

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para cada tipo de teja (empezando por las tejas planas y culminando con las tejas curvas) conjuntamente con su análisis estadístico. Cabe mencionar que todos los ensayos de absorción de agua se hicieron por duplicado.

5.4.1.1. Tejas tipo plana sin vidriar.

Los promedios de absorción de agua en tejas tipo plana, denominadas en la norma INEN 990 como tejas tipo B, se muestran en la Tabla 10 en la cual se incluyen los valores máximos y mínimos obtenidos en los ensayos de absorción de agua, así como también el análisis estadístico de los valores conseguidos, y en el **Anexo 6** se muestra la tabla completa de resultados.

Tabla 10. Análisis de Resultados de Absorción de agua en tejas tipo plana sin vidriar. Fuente: Elaboración propia

<i>Temperatura (°C)</i>	Mínimo	Máximo	Rango	Desviación estándar	Absorción de agua (%)	Intervalo de Confianza de 95%
650	16,04	16,87	0,833	0,2715	16,41	(16,22;16,61)
700	16,07	17,26	1,184	0,3788	16,77	(16,49;17,03)
750	15,33	16,53	1,203	0,3768	15,92	(15,65;16,19)
800	15,46	16,10	0,642	0,2151	15,75	(15,59;15,90)
850	15,57	16,25	0,677	0,2649	15,86	(15,66;16,04)
900	15,50	20,78	5,281	1,5925	16,29	(15,15;17,43)
950	15,74	16,39	0,657	0,1981	15,95	(15,80;16,09)
1000	14,66	16,34	1,677	0,5183	15,60	(15,23;15,9)

Como se puede observar en la tabla superior, el mayor rango de variación se presenta a los 900°C con 5,28 y, por lo contrario, a los 800°C se obtiene un rango mínimo de 0,64, por lo que automáticamente se convierte en la temperatura con menor dispersión de resultados con una desviación estándar de 0,21. Además, se observa que a medida que se aumenta la temperatura, la absorción de agua decrece.

Al hacer un diagrama de cajas se puede observar los datos atípicos que pudieron aparecer en los diferentes resultados, es así que, como se muestra en la Figura 2, existe un valor atípico (inadecuado para el objeto de este estudio debido a que presenta una desviación estándar alta lo que lo convierte en un dato de poco valor estadístico) a 900°C y otro a 950°C denotados por un asterisco.

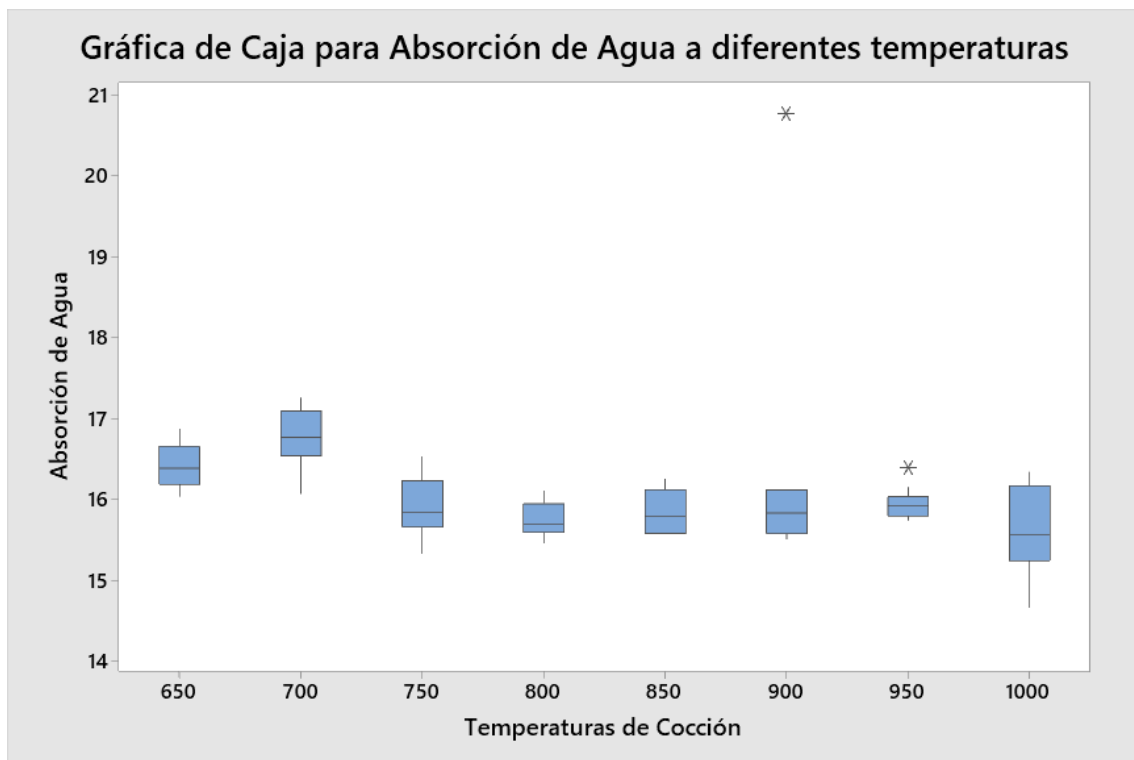


Figura 2. Gráfica de caja de absorción de agua para diferentes temperaturas. Fuente: Elaboración propia

Al hacer las correcciones de esos valores atípicos y al volver a calcular la media de las absorciones de agua a 900°C y 950°C, se encuentra que la media cambia a 15,78% y a 15,9% respectivamente.

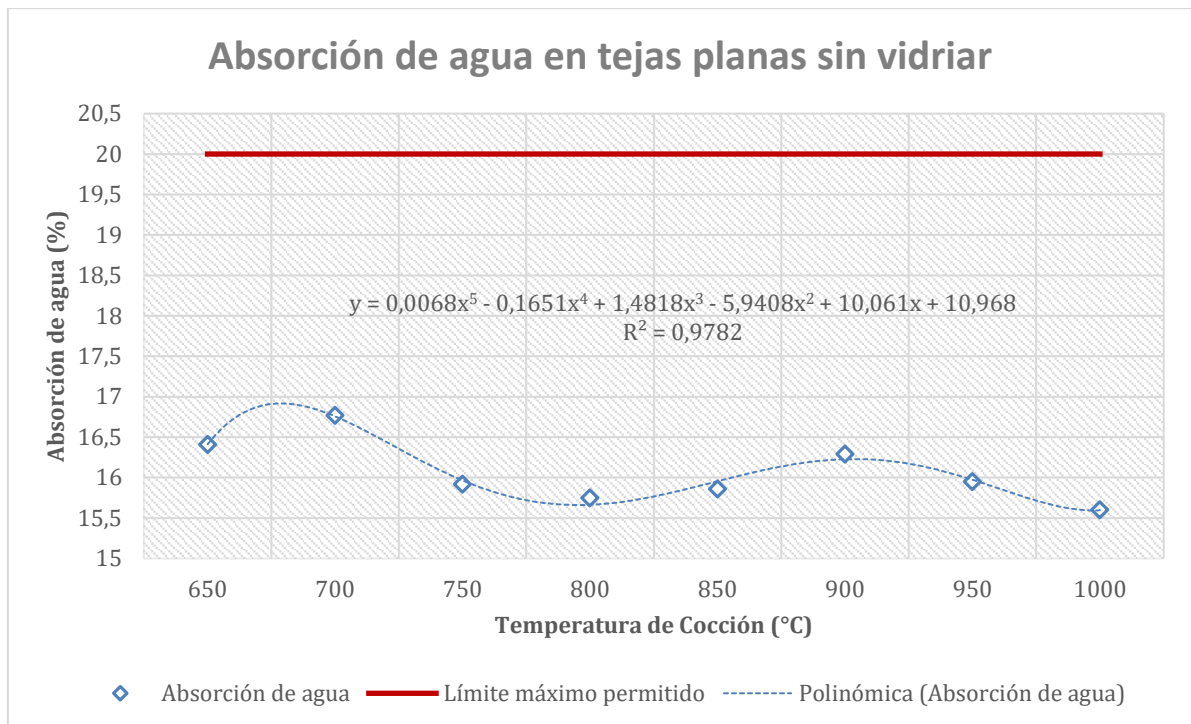


Figura 3. Gráfico de Absorción de agua y Temperatura de Cocción en tejas tipo B. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3, se presenta el gráfico de intervalos de los resultados obtenidos en cada temperatura, como se puede observar, estos tienden a disminuir conforme la temperatura aumenta, y su comportamiento se ajusta a un arreglo polinómico de quinto grado que predice perfectamente dicho comportamiento.

Al enfocarse en la temperatura más baja, se encuentra que la media es inferior al 20% que establece la norma INEN 990, puesto que su valor máximo es de 16,87%, además, los resultados presentan un intervalo de confianza entre 16,2 y 16,6% para absorción de agua. Por lo anteriormente señalado se establece que, al menos, para cumplir el requisito de absorción de agua en tejas tipo B, basta con cocer a 650°C, no obstante, las menores absorciones de agua ocurren a los 800°C y posteriormente a los 1000°C, siendo este último el valor más bajo obtenido. Además en el rango de temperaturas entre los 800°C y 1000°C podría estar ocurriendo una liberación de gases debido a presencia de los carbonatos de calcio, magnesio y hierro que generan mayor porosidad del material, provocando que se muestre un aumento en la absorción del agua esto coincide con los valores de temperatura que establece (Barba et al., 2002) para este fenómeno, sin embargo, debido a la sinterización y vitrificación, la curva de absorción de agua se



comporte de esa manera y esto concuerda con lo que establece (Muñoz et al., 2007) y (Huaccha Holguín, 2021).

5.4.1.2. *Tejas tipo plana vidriadas*

Los resultados obtenidos de absorción de agua de este tipo de material cerámico (Teja tipo D según la norma INEN 990) se encuentran detallados en la Tabla 11 y los resultados detallados se encuentran en el **Anexo 7** en donde se puntualiza, además, el análisis estadístico.

Tabla 11. Análisis de Resultados de Absorción de agua en tejas tipo plana Vidriadas. Fuente: Elaboración propia

Temperatura (°C)	Mínimo	Máximo	Rango	Desviación estándar	Absorción de agua (%)	Intervalo de Confianza de 95%
750	14,54	16,80	2,26	0,7131	15,62	(15,10;16,13)
800	15,33	16,58	1,25	0,4033	15,95	(15,66;16,23)
850	15,40	15,84	0,44	0,1589	15,59	(15,48;15,71)
900	15,28	15,89	0,61	0,1757	15,54	(15,41;15,66)
950	14,34	15,18	0,83	0,3246	14,78	(14,55;15,01)
1000	13,75	15,25	1,50	0,4575	14,36	(14,03;14,69)
1025	12,26	14,11	1,85	0,5554	13,36	(12,96;13,76)
1050	10,27	14,28	4,01	1,1156	12,90	(12,11;13,70)
1100	10,61	12,38	1,78	0,4709	11,49	(11,15;11,83)
1150	10,11	11,33	1,22	0,3515	10,84	(10,58;11,09)

Al analizar la tabla se encuentra que el mayor rango de resultados ocurre a los 1050°C, además, coincide con la mayor desviación estándar (1,156) y por ende su intervalo de confianza aumenta y es el que mayor rango abarca. Por otro lado, las temperaturas de 850°C, 900°C y 950°C presentan menor rango de variación, siendo la primera, la que menor desviación estándar presenta (0,1589). Ahora bien, en general, la tendencia de la media, en función de la temperatura, tiende a disminuir, salvo en el caso de los 850°C, en donde presenta mayor absorción que a 750°C.

En la figura 4 se observa, mediante la gráfica de cajas, que existe un valor atípico en las mediciones de absorción de agua, por este motivo se procede a eliminarlo para evitar incurrir en errores estadísticos con el fin de analizar esta variable adecuadamente. Con la corrección del valor, se encuentra que la media de absorción de agua a 1050°C es de

12,79%, ahora con una desviación estándar de 1,06. Este valor de poco valor estadístico para este trabajo pudo ocurrir debido a un error sistemático o del operador. Además, mediante esta misma gráfica se puede observar también que desde los 1100°C es en donde se encuentra mayor dispersión de datos.

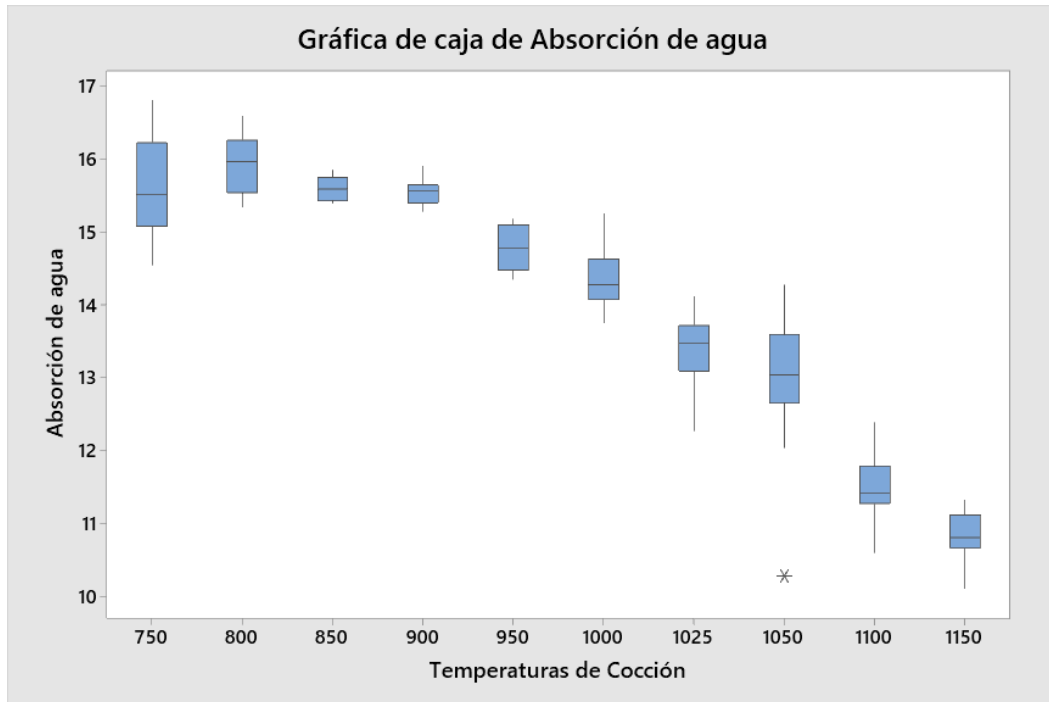


Figura 4. Gráfica de Caja de absorción de agua para tejas tipo D. Fuente: Elaboración propia

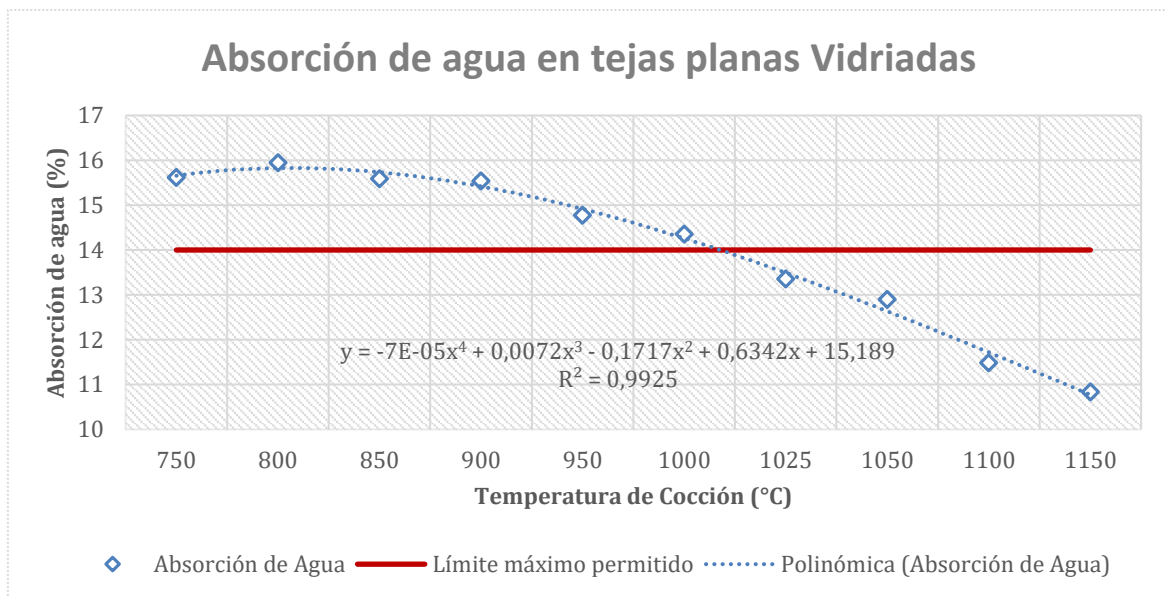


Figura 5. Gráfico de Absorción de agua vs temperaturas de Cocción en tejas tipo D. Fuente: Elaboración propia

Por su parte en la Figura 5, se muestra el comportamiento de la absorción de agua para cada temperatura de cocción. Como se mencionó anteriormente, la temperatura es inversamente proporcional a la absorción de agua, ya que a mayor temperatura existe mayor sinterización y vitrificación de la materia prima de la pasta. Estos resultados podrían deberse a que este material al ser vidriado no posee poros abiertos significativos en la cara en donde se realizó el vidriado, la cual se impermeabiliza, lo que contribuye a la disminución de la porosidad de la teja. Por otra parte, se puede ver una marcada tendencia de descenso de la absorción de agua desde los 1000°C, lo que se explica por la sinterización del material (Huaccha Holguín, 2021) y la vitrificación que disminuye la porosidad del material.

Por otro lado, la norma INEN establece que este tipo de material no debe superar el 14% en peso de absorción de agua, por lo que la temperatura adecuada para cumplir este requisito va desde los 1025°C ya que si bien su valor máximo registrado es de 14,11%, su media es de 13,71%, en la cual el 75% de los resultados son menores a esta cifra, lo que se refleja en su intervalo de confianza por lo que esta temperatura se toma como confiable para cubrir este parámetro.

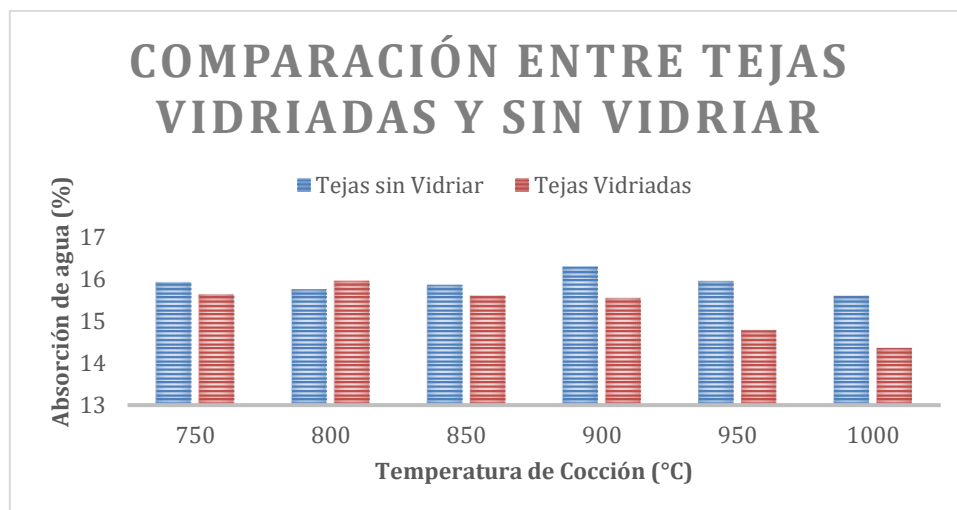


Figura 6. Comparación de porcentajes de absorción de agua entre tejas vidriadas y sin vidriar. Fuente: Elaboración propia

Como un punto aparte, cabe destacar que el porcentaje de absorción de agua en las tejas sin vidriar es mayor a las vidriadas, esto coincide con la literatura, puesto que el vidrio forma una superficie impermeable que impide la absorción del agua en el material



cerámico. Otro fenómeno que se puede observar es que la diferencia de absorción de agua se acentúa a medida que la temperatura de cocción aumenta debido a cambios físicos producidos por la temperatura y posiblemente por la doble cocción que sufren las tejas vidriadas.

5.4.1.3. *Tejas tipo curva sin vidriar*

Como en los casos anteriores, en la Tabla 12 se detalla el resumen de resultados obtenidos de absorción de humedad para las tejas tipo A (teja tipo curva sin vidriar) en donde se incluye el análisis estadístico de los resultados para cada temperatura de cocción y en el **Anexo 8** se muestran los resultados obtenidos a detalle.

Tabla 12. Análisis de Resultados de Absorción de agua en tejas tipo Curva sin vidriar. Fuente: Elaboración propia

Temperatura (°C)	Mínimo	Máximo	Rango	Desviación estándar	Absorción de agua (%)	Intervalo de Confianza de 95%
650	16,16	17,23	1,08	0,322	16,52	(16,28;16,76)
700	15,83	17,14	1,31	0,439	16,33	(16,09;16,56)
750	15,51	16,30	0,79	0,220	16,02	(15,78;16,26)
800	15,99	17,35	1,35	0,480	16,60	(16,36;16,84)
850	15,01	16,03	1,02	0,365	15,43	(15,19;15,67)
900	15,08	16,64	1,56	0,453	15,90	(15,66;16,14)
950	15,55	16,88	1,33	0,423	16,16	(15,92;16,40)
1000	14,86	15,49	0,64	0,246	15,22	(14,98;15,46)

En ella se observa que el mayor valor de absorción de agua se alcanza a los 650°C, con una media de 16,52%, mientras que el valor mínimo se alcanza a los 1000°C con 15,22%. Continuando con el análisis, se encuentra que el mayor rango de resultados ocurre a los 900°C y 950°C, además de que a los 800°C la desviación estándar es la mayor, por lo que a esta temperatura se obtuvieron resultados con mayor dispersión.

Para poder detectar valores de poco peso estadístico en las mediciones, se utilizó, como en los casos anteriores, una gráfica de caja que se muestra en la Figura 7 y se encontró que existe un valor atípico a 750°C, por lo que se procedió a eliminar para poder tener un análisis más confiable, es así que la media de la muestra cambia de 16,02 a 16,08%.

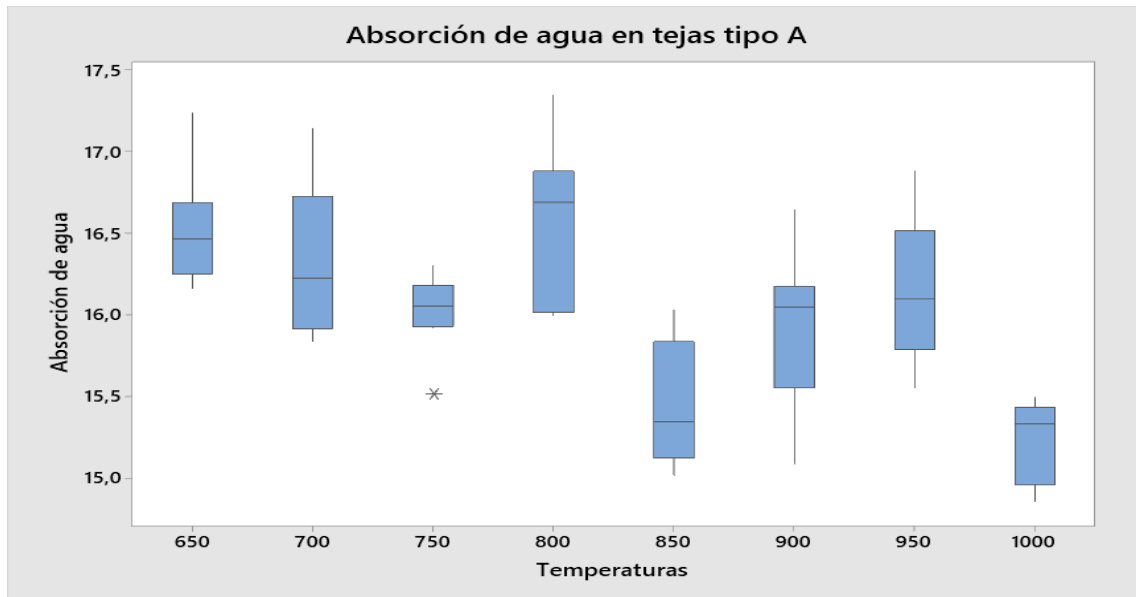


Figura 7. Gráfica de caja de absorción de agua en tejas tipo A. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 8 por su parte, se aprecia el comportamiento de la absorción de agua con respecto a la temperatura, en ella se observa que el valor máximo de absorción de agua ocurre a los 800°C y el mínimo a los 1000°C, además existe una tendencia a aumentar la absorción de agua entre los 850°C y 950°C y ocurre un cambio drástico al llegar a los 1000°C. Este comportamiento podría deberse a la descomposición de compuestos que contienen oxígeno (Barba et al., 2002), en especial al carbonato de calcio, magnesio y de hierro ya que al reaccionar con la atmósfera oxidante del horno produce dióxido de carbono desde los 800°C, y este podría ser uno de los causantes de que se aumente la porosidad del material provocando un aumento en la absorción del agua para luego disminuir por la acción de la sinterización.

Debido a que la norma INEN 990 establece que el valor máximo de absorción de agua en tejas curva sin vidriar debe ser de 18%, la temperatura que cumple con este requisito es 650°C, ya que la media de esta es 16,5% y su intervalo de confianza está entre 16,28% y 16,76%, es decir, el valor máximo esperado no supera el 18% en absorción de agua, lo que se confirma con el valor máximo hallado de 17,23%. Además, en esta temperatura también se cumple con el requisito mínimo para una teja cualquiera, ya que el 100% de sus valores son menores al 20% que establece la norma.

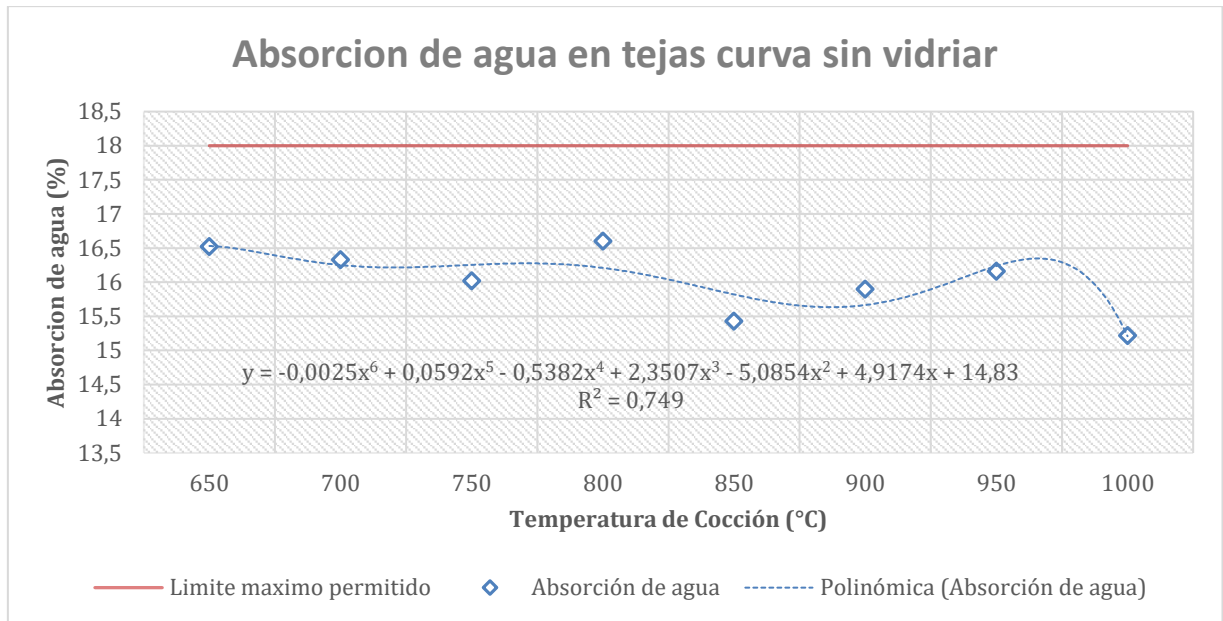


Figura 8. Gráfica de Absorción de Agua vs Temperatura de Cocción en tejas tipo curva sin vidriar. Fuente: Elaboración propia

5.4.1.4. Tejas tipo curva vidriadas

Como se ha venido analizando, el resumen de resultados de absorción de agua para tejas tipos C se detallan en la Tabla 13, en donde, además de los valores promedio de absorción de agua para cada temperatura se incluye el análisis estadístico y los resultados completos se muestran en el **Anexo 9**.

Tabla 13. Análisis de Resultados de Absorción de agua en tejas tipo Curva Vidriadas. Fuente: Elaboración propia

Temperatura (°C)	Mínimo	Máximo	Rango	Desviación estándar	Absorción de Agua (%)	Intervalo de Confianza de 95%
750	15,65	16,13	0,49	0,1649	15,95	(15,84; 16,07)
800	15,45	16,97	1,51	0,4546	16,15	(15,83; 16,48)
850	15,28	16,4	1,12	0,3607	15,73	(15,47; 15,99)
900	15,17	16	0,83	0,3035	15,44	(15,22; 15,66)
950	14,58	15,93	1,34	0,4164	15,1	(14,80; 15,39)
1000	14,27	14,91	0,64	0,2045	14,57	(14,43; 14,72)
1050	13,02	14,15	1,13	0,3893	13,65	(13,37; 13,93)
1100	11,3	12,6	1,30	0,3668	12,18	(11,92; 12,44)
1150	10,62	12,27	1,65	0,5746	11,2	(10,80; 11,62)

Al analizar la tabla se encuentra que los valores mínimos de absorción de agua se encuentran a los 1150°C y los valores máximos ocurren a los 800°C; estas temperaturas se repiten al analizar los mayores rangos de resultados, es así que también se identifica que la desviación estándar de estas temperaturas indica una mayor dispersión de datos.

Mediante el diagrama de cajas se identificó los valores de poco peso estadístico para este trabajo de titulación y se encontró que a 1100°C existe un valor atípico, que al eliminarlo cambia la media de absorción de agua a esta temperatura a 12,27%. Esto se verifica mediante en la Figura 9. Si se analiza el diagrama de caja a 1150°C, se halla que el 75% de los datos (tercer cuartil) abarcan un máximo de 11,66%, siendo esta una temperatura confiable para cumplir con el requisito de absorción de agua, además de que el intervalo de confianza señala un rango entre 10,79% y un 11,61%, por lo que el rango óptimo de cocción de tejas vidriadas está entre los 1100°C y 1150°C.

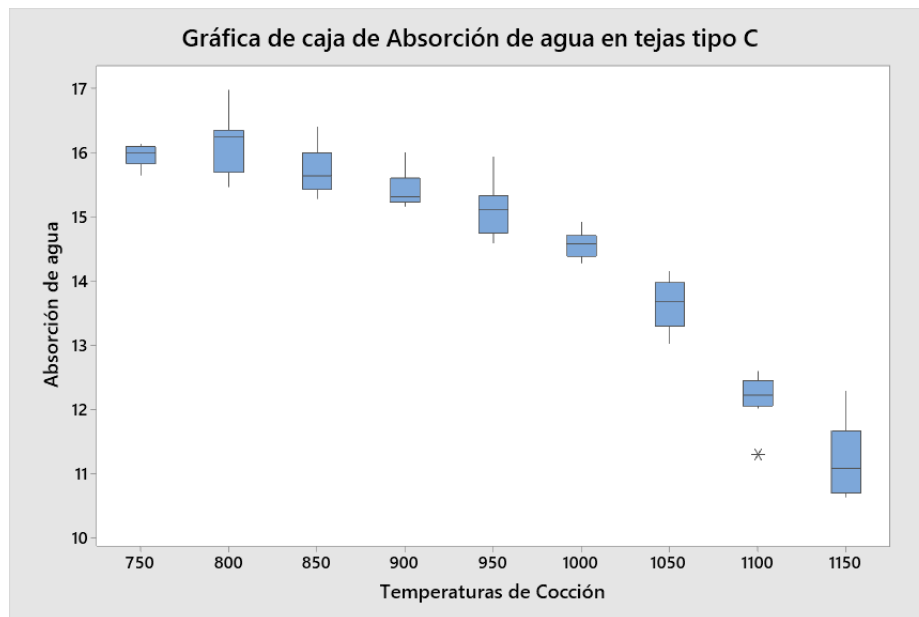


Figura 9. Gráfica de cajas de absorción de agua en tejas tipo C. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 10 se muestra una gráfica en donde se presenta el comportamiento de la absorción de agua en función de la temperatura. Además, se encuentra que el comportamiento de la curva no presenta irregularidades ya que revela una sinterización que se acentúa a medida que la temperatura aumenta, además la porosidad se comporta de manera tal que obedece a lo establecido por (Huaccha Holguín, 2021)

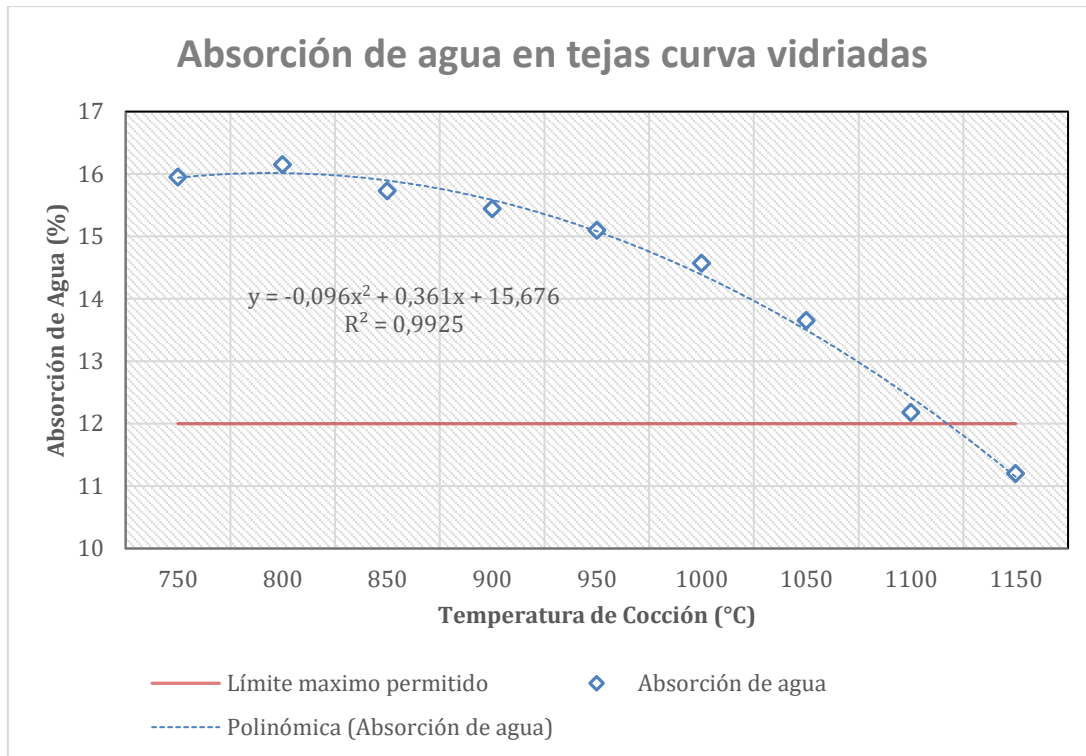


Figura 10. Gráfica de Absorción de agua y porcentaje de vidrio empleado vs temperatura de Cocción en tejas tipo curva Vidriadas. Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la norma INEN 990 indica que el valor máximo de absorción de agua para este tipo de tejas debe ser de 12%, por lo que la temperatura que cumple este requisito es 1150°C ya que su media es de 11,2% y su intervalo de confianza va desde 10,80% a 11,62%, lo que la hace una temperatura adecuada para asegurar el cumplimiento de dicho requisito.

Finalmente, al analizar los resultados entre tejas vidriadas y sin vidriar presentadas en la Figura 11 encontramos algo muy similar a lo encontrado en las tejas tipo plana, ya que al contar con una capa impermeable de vidrio es de esperar que estas presenten menor cantidad de absorción de agua. Esto se acentúa a medida que se eleva la temperatura de cocción, también como en el caso anterior.

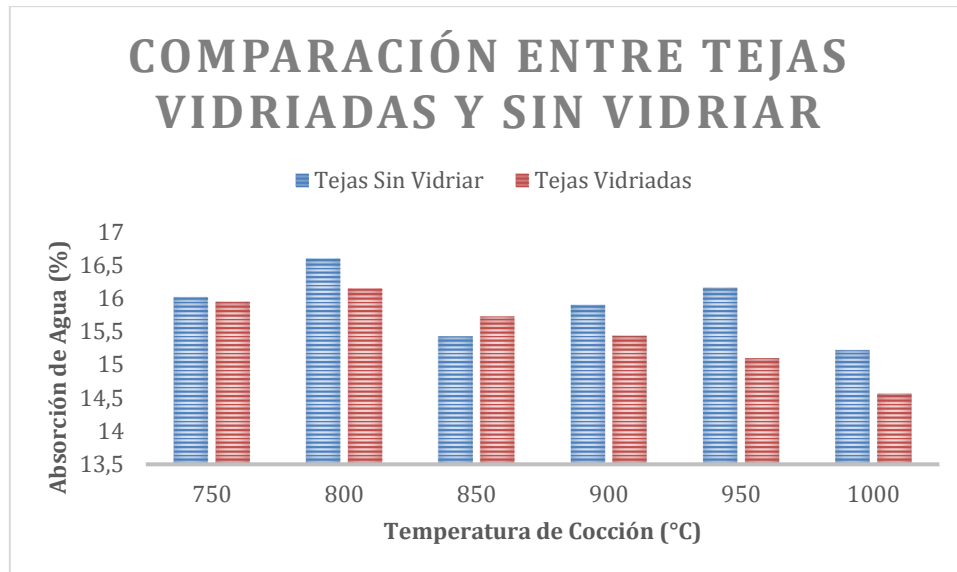


Figura 11. Comparación de absorción de agua entre tejas vidriadas y sin vidriar de tipo curva. Fuente: Elaboración propia



5.4.2. Absorción de agua en ladrillos

5.4.2.1. Ladrillos de perforación horizontal

En la Tabla 14 se muestran tanto el resumen de resultados de absorción de agua como el análisis estadístico de los mismos para los ladrillos de perforación Horizontal no estructurales y en el **Anexo 10** se detallan los resultados completos.

Tabla 14. Análisis de resultados de Absorción de Agua en Ladrillos de perforación horizontal. Fuente: Elaboración propia

Temperatura (°C)	Mínimo	Máximo	Rango	Desviación Estándar	Absorción de Agua (%)	Intervalo de Confianza de 95%
650	18,53	19,06	0,52	0,158	18,81	(18,58; 19,03)
700	18,30	19,19	0,89	0,357	18,70	(18,48; 18,93)
750	18,36	18,90	0,54	0,199	18,60	(18,37; 18,82)
800	18,36	19,43	1,07	0,375	18,90	(18,68; 19,13)
850	18,41	19,51	1,10	0,383	18,78	(18,56; 19,01)
900	18,14	18,66	0,53	0,156	18,33	(18,10; 18,55)
950	17,69	18,77	1,08	0,389	18,01	(17,78; 18,23)
1000	16,92	18,09	1,17	0,314	17,37	(17,15; 17,60)
1025	16,31	17,53	1,22	0,38	16,73	(16,49; 17,00)
1050	14,16	16,66	2,50	0,638	15,36	(15,14; 15,59)

En la tabla se puede observar que los valores máximos de absorción de agua se obtienen a menores temperaturas y que, por lo contrario, los valores mínimos se encuentran a mayor temperatura. Además, se observa que a valores superiores a los 1000°C existe mayor rango de variación de resultados, es así que a 1050°C existe mayor rango de variación con 2.5 y a la vez presenta la mayor desviación estándar con 0.638, por el contrario, y al igual que en el parámetro anterior, a menores temperaturas se observan menores rangos de variación.

En la Figura 12 se puede observar que existen dos valores de poco peso estadístico para las temperaturas de 1000°C y 1050°C, al hacer las respectivas correcciones la media de 1000°C cambia a 17,3% para un nivel de confianza de 95% y para los valores atípicos a 1050°C se obtiene 15,38%. Siguiendo con el análisis del gráfico de caja, para la temperatura de 1000°C, se puede observar que hasta el tercer cuartil el valor de absorción de humedad es de 17,46%, por esta razón, esta temperatura no es suficiente para cumplir

el requisito de la norma, la cual indica que la absorción de este material debe ser menor al 17%

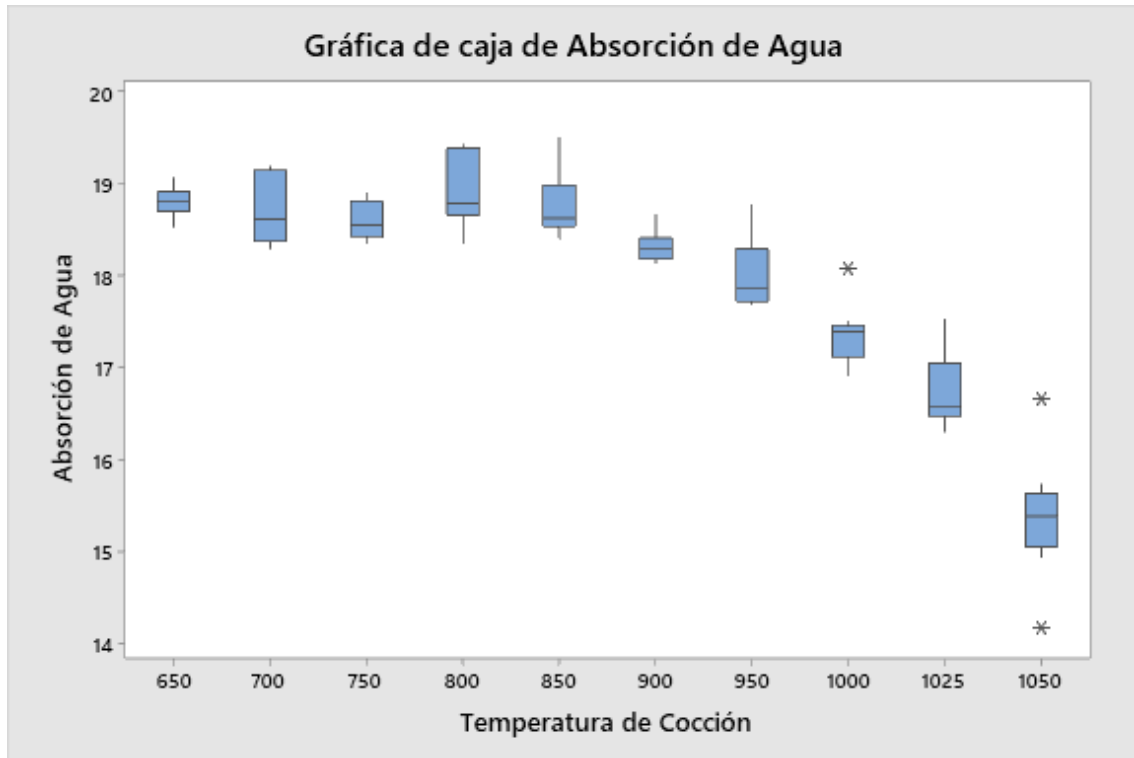


Figura 12. Gráfica de caja de Absorción de agua en ladrillos PH. Fuente: Elaboración propia

Por su parte en Figura 13, se presenta una gráfica que indica el comportamiento de absorción de agua en función de la temperatura en este tipo de material (ladrillos de PH), a primera vista se observa que no hay cambios importantes en la absorción hasta los 800°C, en donde se forma un pico de absorción máxima, esto podría deberse al cambio químico producido por la reacción del carbonato de hierro y el oxígeno para producir óxido de hierro y dióxido de carbono que a su vez produce cambios en el tamaño de poro del material provocando de esta manera ese aumento de absorción de agua. El comportamiento después de esta temperatura (800°C) se puede explicar precisamente por la presencia del óxido de hierro, actúa como fundente a partir de este punto, lo que provoca un aumento de la fase vítrea que aumenta conforme la temperatura se eleva, lo que a su vez produce una disminución de porosidad que se refleja en el descenso de los valores de absorción de agua.

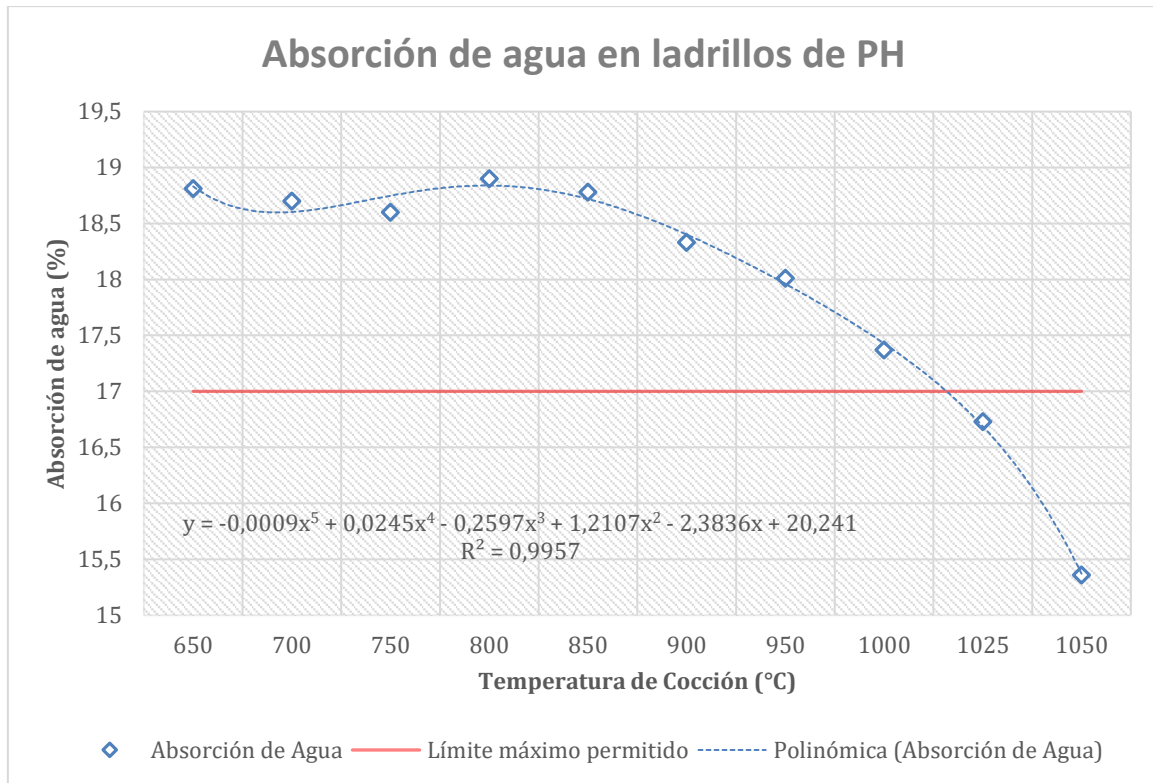


Figura 13. Gráfica de Absorción de Agua en ladrillos Huecos. Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, la norma INEN 3049 parte 3 establece que el límite máximo de absorción de agua de un ladrillo de perforación horizontal es de 17% y, al analizar la gráfica a 1050°C el valor máximo obtenido es de 15,73%, por lo que se asume que a esta temperatura es más que suficiente para cumplir con el requisito de absorción de agua. No obstante, al disminuir el rango entre temperaturas de cocción de 50°C a 25°C se encuentra que la media a 1025°C es 16.73% y que el 75% (tercer cuartil) de los resultados están por debajo de 17.05% en absorción de agua, asimismo el Intervalo de Confianza a esta temperatura está entre 16.49 y 17%, por lo que esta temperatura cumple con los requisitos que establece la norma.



5.4.2.2. *Ladrillos Macizos*

En la Tabla 15 se detalla el resumen de resultados obtenidos de absorción de agua de cada temperatura analizada para ladrillos macizos, conjuntamente con su análisis estadístico y en el **Anexo 11** se muestran los resultados completos.

Tabla 15. Análisis de resultados de Absorción de Agua en Ladrillos Macizos. Fuente: Elaboración propia

Temperatura (°C)	Mínimo	Máximo	Rango	Desviación Estándar	Absorción de Agua (%)	Intervalo de Confianza de 95%
850	19,11	21,85	2,74	1,21	20,32	(19,51; 21,13)
900	19,64	20,63	0,99	0,45	20,12	(19,82; 20,43)
950	18,80	20,37	1,57	0,46	19,37	(19,04; 19,70)
1000	17,45	18,86	1,41	0,42	18,05	(17,75; 18,35)
1025	17,07	18,58	1,50	0,62	18,05	(17,61; 18,49)
1050	16,26	17,45	1,19	0,41	16,93	(16,64; 17,23)
1100	15,92	17,38	1,46	0,45	16,52	(16,19; 16,84)

En esta tabla se puede observar que a 850°C hay un mayor rango de resultados en comparación con las otras temperaturas, además, es en esta temperatura en la que se encuentra la mayor desviación estándar (1,21), por lo que, en efecto, es la temperatura que mayor dispersión de datos presenta. Algo que cabe mencionar es que a partir de los 950°C prácticamente, todas las temperaturas tienen una dispersión de datos muy similar, con excepción a 1025°C; en esta misma temperatura se halla que la media de absorción de agua es la misma que la que presenta a los 1000°C, por lo que se puede argumentar, que no ocurre cambio alguno en variar 25°C en cuanto al parámetro de absorción de agua, aunque, a 1000°C se obtienen valores ligeramente menos dispersos, es decir, con menor variación.

En la Figura 14 se presenta un gráfico de caja de absorción de agua en ladrillos macizos, como se observa, no existen valores atípicos en ninguno de los resultados a distintas temperaturas, por lo que el análisis no requiere de cambios. También se puede observar de manera gráfica, la dispersión de los resultados, así como la ubicación de la mediana en cada una de las temperaturas, es con ella que se encuentra que si bien a 1000°C y 1025°C comparten la misma media, no ocurre lo mismo con la mediana, ya que si se utiliza esta

como medida de la tendencia central, se encuentra que a 1025°C la tendencia central es 18,38% a diferencia de los 1000°C, cuya mediana es 17,99%.

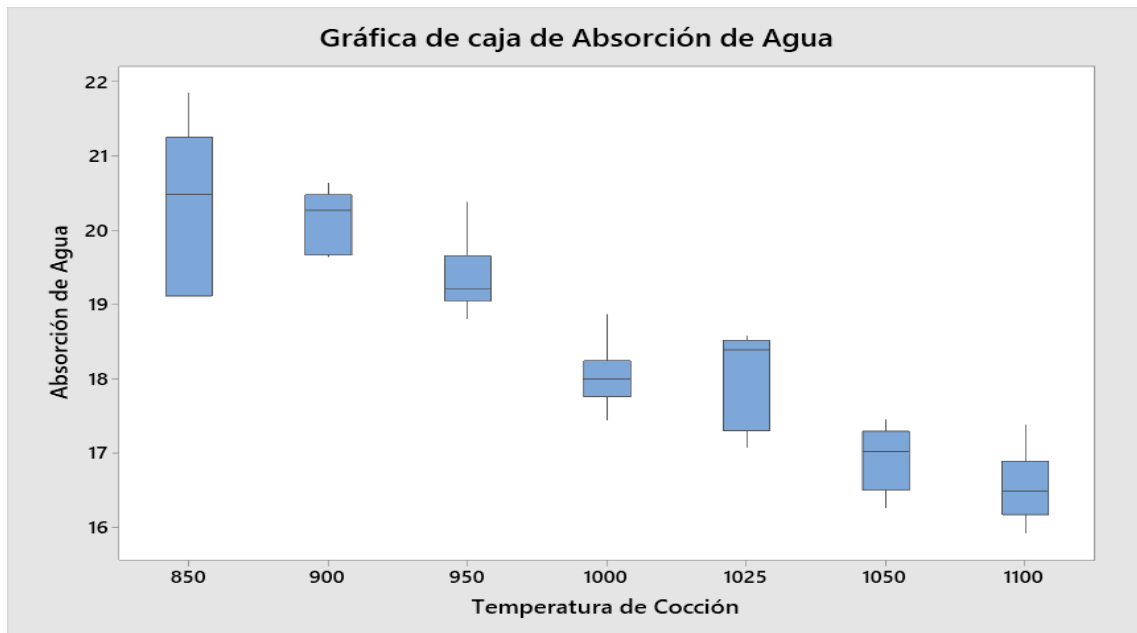


Figura 14. Gráfica de caja de Absorción de agua en ladrillos Macizos. Fuente: Elaboración propia

Mediante la Figura 15 se puede observar de mejor manera el comportamiento de los resultados de absorción de agua con respecto a la temperatura. En ella se revela que la absorción de agua disminuye conforme la temperatura aumenta, no obstante, no lo hace de manera lineal. Este fenómeno se puede explicar por la forma de este ladrillo, ya que, al ser una masa compacta gruesa, las temperaturas bajas no la cuecen adecuadamente en su interior y se requieren de rangos más altos de temperatura en las condiciones de trabajo actuales o tiempos de calentamiento más lentos para que el centro de la pieza alcance la temperatura suficiente para formar fases vítreas o para provocar sinterización que se refleje en los resultados de absorción de agua. Esto explica por qué entre 1000°C y 1025°C no existe cambio alguno en este parámetro, pero existe mayor desviación estándar y por qué cada 100°C existe un cambio significativo en la absorción de agua. Por otro lado, el descenso de absorción de agua a las temperaturas más altas se explica por la sinterización y la vitrificación del material ya que como se dijo anteriormente, debido a la forma compacta y gruesa del ladrillo, se requiere de temperaturas más elevadas para

que el centro del mismo alcance las propiedades requeridas, es por eso que desde los 950°C se empieza a observar una disminución considerable de la absorción del agua.

Finalmente, como se puede apreciar, a partir a de los 1050°C se cumple con el 17% de absorción de agua que establece la norma INEN 3049 parte 3, ya que su media es de 16,93% y su Intervalo de confianza está entre 16,64% y 17,23%.

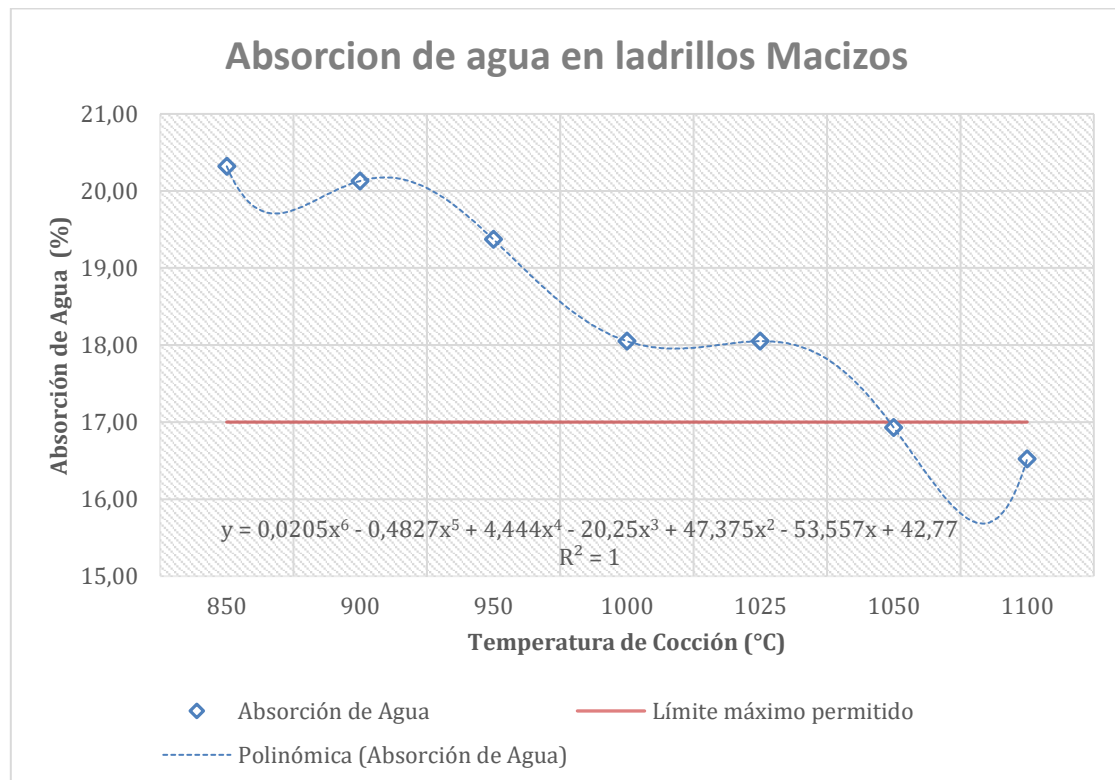


Figura 15. Gráfica de Absorción de Agua en ladrillos Macizos. Fuente: Elaboración propia



5.5. Resistencia Mecánica

A continuación, se detallan los resultados de los ensayos de resistencia a la flexión para las tejas y la resistencia a la compresión en el caso de los ladrillos. En todos los casos se hace un análisis estadístico, empezando por las tejas planas y culminando por las tejas curva, y de la misma manera se desarrolla el análisis para los ladrillos de perforación horizontal y ladrillos macizos. Algo que cabe destacar es que los ensayos de resistencia mecánica de ambos productos (tejas y ladrillos) no se hicieron por duplicado, debido a que dichos ensayos se ejecutaron en laboratorios ajenos a la Facultad de Ciencias Químicas, ya que requerían de equipos especializados y de técnicos entendidos en la ejecución de los mismos, además de que el volumen de muestras era considerable, por lo que se decidió hacerlo en una sola corrida.

5.5.1. Resistencia a la flexión en Tejas

Para la resistencia a la flexión en tejas se analizó desde dos puntos de vista, en el primero se tomó como variable de salida el módulo de rotura para determinar el cumplimiento de los requisitos que establece la norma INEN 990 , y en el segundo, se utilizó la carga máxima para el análisis estadístico y se la comparó con los valores establecidos en la norma UNE EN 538 ya que al analizar los resultados en función del módulo de rotura se encontró demasiada variabilidad y esto podría incurrir en un análisis erróneo del comportamiento de este producto en función de la temperatura.



5.5.1.1. *Tejas tipo plana Sin Vidriar*

De la teja tipo plana sin vidriar, denominada teja tipo B por la norma INEN 990, se analizaron 6 temperaturas de cocción, que van desde los 650°C hasta los 900°C, cuyos resultados se detallan en la Tabla 16 conjuntamente con su análisis estadístico y en el **Anexo 12** se muestran los resultados a detalle.

Tabla 16. Análisis de Resultados de Resistencia a la Flexión en tejas tipo B. Fuente: Elaboración propia

Temperatura (°C)	Mínimo	Máximo	Rango	Desviación estándar	Módulo de Rotura (Kgf/cm ²)	Carga máxima (Kgf)	Intervalo de Confianza de 95%
650	87	122	35	14,943	483,15	101,6	(83,0;120,2)
700	94	155	61	27,743	560,46	129,8	(95,4;164,2)
750	80	121	41	14,933	436,65	101	(82,5;119,5)
800	103	116	13	5,762	484,69	112,2	(105,0;119,4)
850	104	142	38	16,208	492,07	117,2	(97,1;137,3)
900	117	135	18	6,943	552,07	124,8	(116,2;133,4)

Los valores que presenta la tabla indican que en general tanto la resistencia a la flexión (módulo de rotura) como la carga máxima empleada aumentan conforme la temperatura se eleva, no obstante, al analizar la desviación estándar en función de la carga máxima, se encuentra que ocurre todo lo contrario, esta disminuye a medida que se aumenta la temperatura. Esto se debe netamente al equipo de resistencia mecánica empleado y a la forma de las tejas, ya que al momento de ejecutar los ensayos se percató que las tejas no encajaban bien sobre los soportes de acero del equipo sobre los cuales descansan, por lo que quedaban inestables, además, el lomo de las tejas no era completamente plano, por lo que el punto de apoyo que ejerce la carga sobre el lomo de la teja tampoco quedaba sobre una superficie fija, esto debido a la forma irregular de las muestras, puesto que no todas poseen las mismas dimensiones, esto a causa de las contracciones del secado y de la cocción como bien menciona (Barranzuela, 2014), las reacciones reversibles como la inversión del cuarzo, o por defecto de la extrusora en el proceso de moldeo de la pasta, todo ello provoca que el producto presente variaciones en forma y tamaño, lo que dificulta los ensayos.

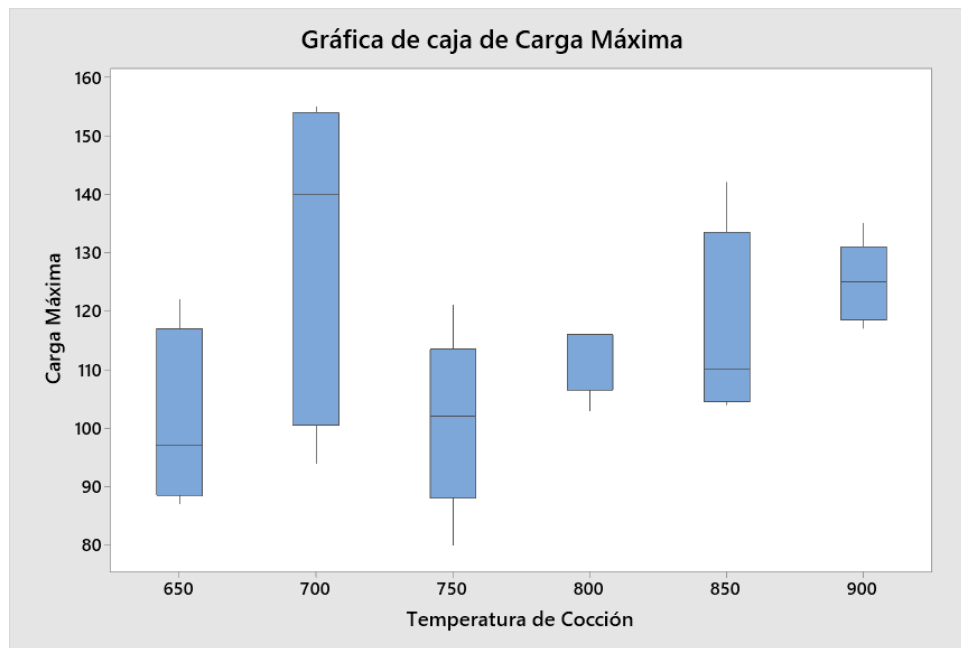


Figura 16. Gráfica de caja de Carga máxima soportada por tejas tipo B. Fuente: Elaboración propia

Para el análisis de datos de poco peso estadístico para este estudio y para el comportamiento de medias y cuartiles, se realizó una gráfica de caja como se observa en la Figura 16, en ella se demuestra, en primera instancia, que no existen valores atípicos en los ensayos para cada temperatura, y al enfocarse en la temperatura de 650°C se verifica que el valor mínimo hallado es de 87kgf, y el tercer cuartil presenta un valor de 117, es decir, el 75% de los valores encontrados demuestran que a esta temperatura ya se cumplen con los requisitos de la norma UNE EN 538.

En la gráfica presentada en la Figura 17 se muestra el comportamiento de la resistencia a la flexión con relación a la temperatura de cocción. La tendencia de esta curva podría deberse a la liberación de gases provocados por los carbonatos de calcio, magnesio y hierro que podrían estar presentes en la pasta, los mismo que provocan mayor porosidad que se refleja en los resultados de la resistencia mecánica (Barba et al., 2002) y que explicarían por qué a pesar de aumentar la temperatura no existe una diferencia significativa de este parámetro entre cada ensayo.

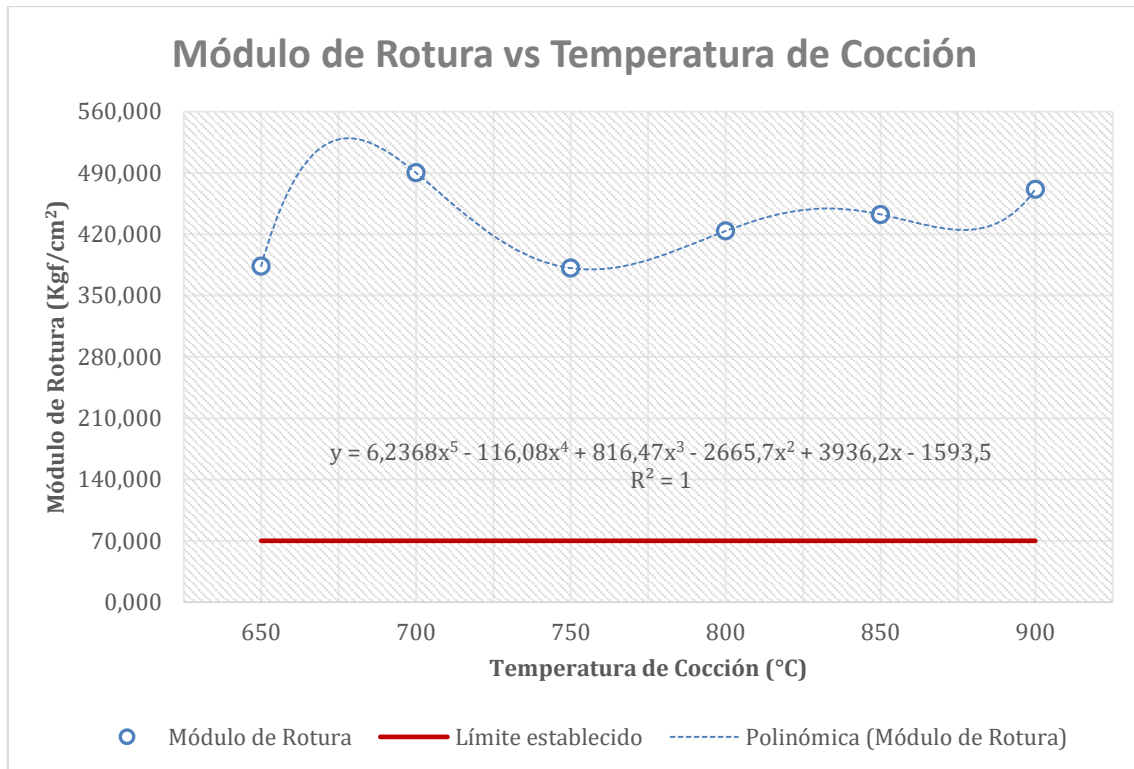


Figura 17. Gráfica de Módulo de Rotura vs Temperaturas de Cocción en tejas tipo plana B. Fuente: Elaboración propia

En general, y tal cual se puede apreciar en la Figura 17, existe un menor rango de variación de resultados conforme se aumenta la temperatura de cocción de las tejas, por otro lado, al partir de los requisitos que establece la norma se puede argumentar que todas las tejas empleadas cumplen con el requisito de resistencia mecánica a la flexión, pues en todos los casos, el módulo de rotura es mayor a los 70kgf/cm² que establece la norma, ya que se obtuvo 383,6570kgf/cm² al cocerlas a los 650°C la cual fue la temperatura más baja. Asimismo, al compararlas con los valores propuestos por la norma UNE EN 538, encontramos que desde los 650°C también nos hallamos con valores superiores a los 61,18kgf que establece dicha norma.

5.5.1.2. *Tejas tipo plana Vidriadas*

Los resultados obtenidos de resistencia a la flexión, conjuntamente con su análisis estadístico, de las tejas tipo D (según la clasificación de la norma INEN 990) se pueden observar en la Tabla 17 y en el **Anexo 13** se muestra los resultados obtenidos a detalle.



Tabla 17. Análisis de resultados de Resistencia a la flexión en tejas tipo plana vidriadas. Fuente: Elaboración propia

<i>Temperatura (°C)</i>	Mínimo	Máximo	Rango	Desviación estándar	Módulo de rotura (Kgf/cm²)	Carga máxima (Kgf)	Intervalo de Confianza de 95%
750	96	160	64	24,864	500,14	120,2	(89,3;151,1)
800	99	146	47	21,331	533,94	122	(95,5;148,5)
850	78	94	16	6,907	396,11	89,2	(80,6; 97,8)
900	102	142	40	15,460	608,14	117	(97,8;136,2)
950	57	100	43	18,913	365,20	79,8	(56,3;103,3)
1000	69	110	41	14,923	363,81	90,8	(72,3;109,3)
1025	111	131	20	9,576	557,96	120,2	(108,3;132,1)
1050	79	105	26	12,083	462,47	93	(78,0;108,0)
1100	77	152	75	26,967	586,65	110,2	(76,7;143,7)

Como se muestra en la tabla, los resultados de los ensayos de resistencia a la flexión no presentan un patrón de comportamiento acorde a lo que se esperaría y más bien simulan un comportamiento sinusoidal cuyos valores máximos ocurren a 750°C y 1025°C en donde las desviaciones estándar muestran valores completamente diferentes. A su vez, al examinar la gráfica de caja de este tipo de teja, se encuentra que no existen valores atípicos y que a 1100°C se encuentra la mayor variabilidad de resultados, que van desde los 77kgf hasta los 152kgf. Esto se puede atribuir a la forma y tamaños variables de la teja, provocados por la contracción de secado y de cocción lo que se confirma en lo hallado por (Barranzuela, 2014), además de que, al estar vidriadas con una capa no uniforme, existen partes de la teja con mayor espesor, provocando que el equipo de ensayo de resistencia a la flexión genere errores en la ejecución del ensayo.

Por este motivo, es de esperarse que tampoco exista una correlación con el modelo polinomial presentado, ya que los resultados no presentan un comportamiento que se pueda predecir, ya que al parecer la temperatura no presenta relación con la resistencia a la flexión en este tipo de teja.

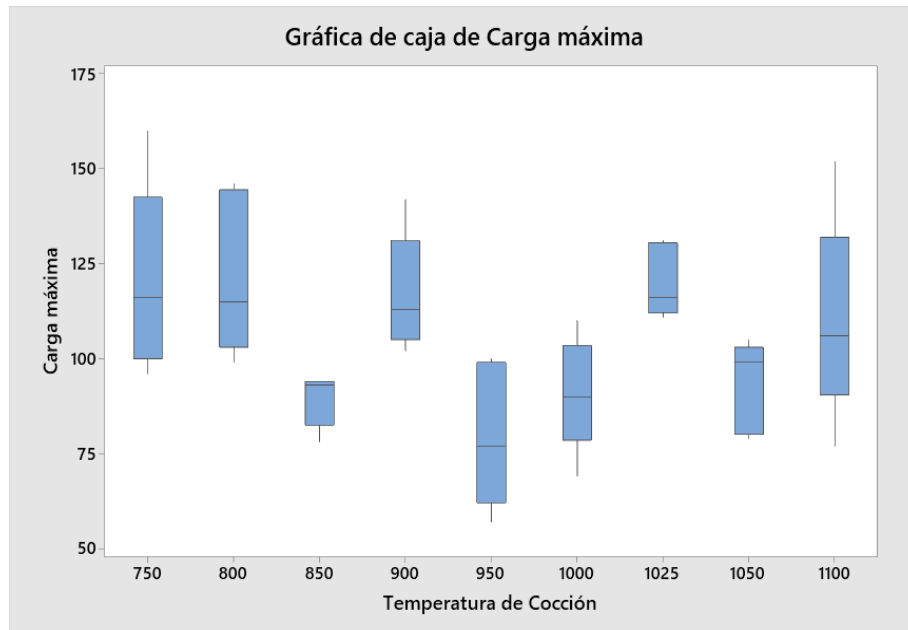


Figura 18. Gráfica de caja de Carga máxima empleada en tejas tipo D. Fuente: Elaboración propia

Al enfocarse en la temperatura más baja, 750°C, encontramos que su valor mínimo es de 96Kgf y su máximo es de 160Kgf, al mismo tiempo, mediante la gráfica de caja podemos observar que su media y mediana son muy parecidas, 120Kgf y 116Kgf respectivamente, así como también que el 75% de los datos son superiores a 100Kgf, por lo que a esta temperatura ya se cumple con los requisitos de la norma UNE EN 538 pues su media o promedio, supera los 91,77kgf.

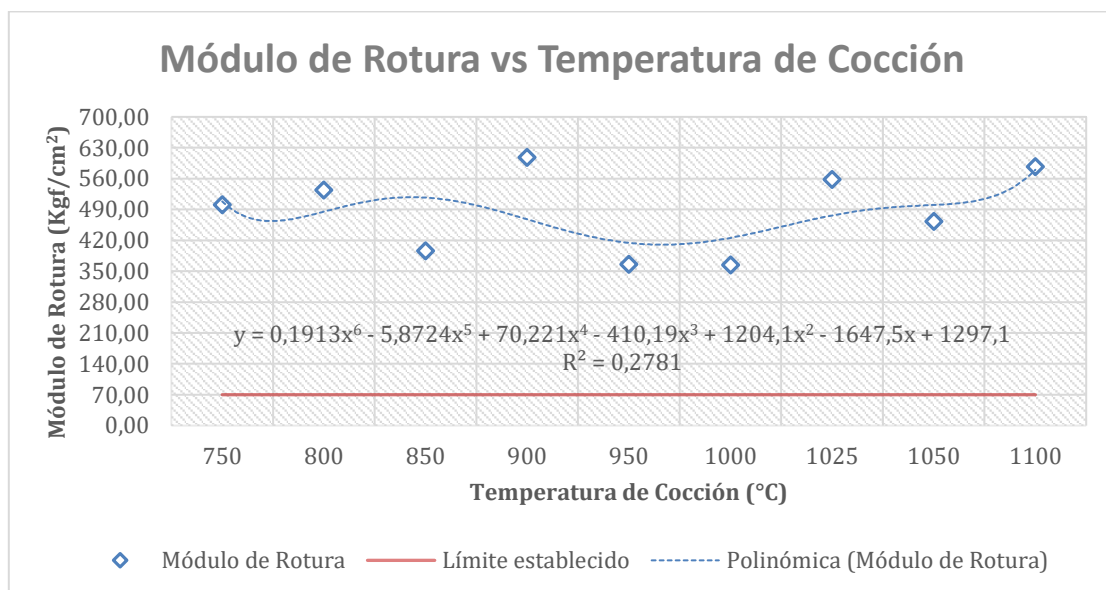


Figura 19. Gráfica de Módulo de Rotura vs Temperatura de Cocción de tejas tipo D. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 19 se observa que el comportamiento de la resistencia a la flexión respecto a la temperatura de cocción no sigue una tendencia clara esto se debe, a que como se dijo anteriormente, el producto terminado presenta fallas en sus dimensiones, ya que a medida que aumenta la temperatura, los especímenes se vuelven menos uniformes ya que tienden a torcerse provocando inestabilidad al apoyarse en el soporte de acero y esto a su vez provoca que el equipo incurra en errores de medición lo que se demuestra con la dispersión de datos presentada en el gráfico de cajas.

En general, para tejas tipo D, se puede cocer desde 750°C para que cumpla con las especificaciones de resistencia mecánica, sin embargo, a esta temperatura existe mayor variación de resultados, por lo que, si se desean mejores resistencias mecánicas, con un mejor intervalo de confianza, es decir, resultados con menor dispersión, se debe cocer a 900°C. En el caso del módulo de rotura se encuentra algo muy similar, la temperatura a la cual se cumple con el requisito de 70 kgf/cm² establecido en la norma INEN 900 es 750°C, cuyo resultado obtenido es de 500,14 kgf/cm²

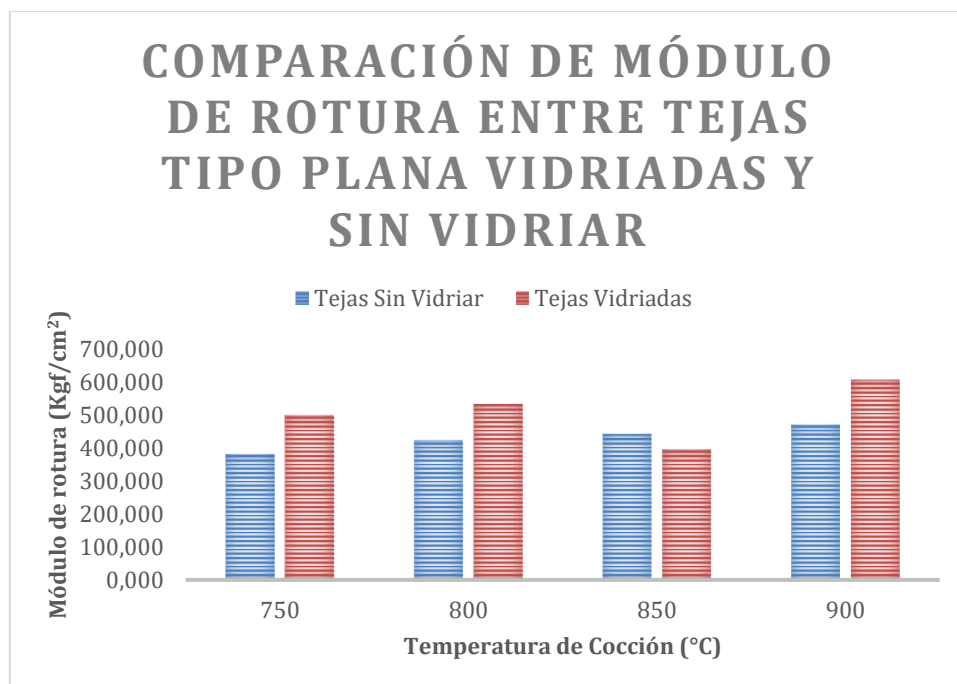


Figura 20. Comparación de resistencia a la flexión entre tejas tipo plana. Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, al comparar los resultados de resistencia a la flexión de la Figura 20 se encuentra algo peculiar, ya que a 850°C el módulo de resistencia promedio de las tejas



sin vidriar, es mayor a las tejas vidriadas, si bien solamente es superior en un 10%, se podría atribuir a un error en el vidriado o a un defecto en la teja como alguna fisura interna no perceptible o a una burbuja en el vidriado.

5.5.1.3. *Tejas Tipo Curva sin Vidriar*

Los resultados de la carga máxima empleada en el análisis de resistencia a la flexión en tejas se muestran en la Tabla 18, donde se detalla además el análisis estadístico de los resultados de cada temperatura. En ella se observa que cumplen con los requisitos de resistencia mecánica desde los 650°C basándose en la normativa ecuatoriana que establece 100 kgf/cm², pues la carga otorgada por el equipo es 59,2kgf, equivalente a 253,8 kgf/cm², sin embargo, al comparar con la normativa española, se encuentra que cumple a los 800°C ya que el promedio se encuentra en 118kgf equivalente a 329,9kgf/cm², el cual es mayor a los 101,97kgf que indica la norma extranjera.

Tabla 18. Análisis de Resultados de Resistencia a la flexión en tejas tipo Curva sin vidriar. Fuente: Elaboración propia

<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>	<i>Desviación estándar</i>	<i>Módulo de rotura (Kgf/cm²)</i>	<i>Carga máxima (Kgf)</i>	<i>Intervalo de Confianza de 95%</i>
650	45	75	30	11,6	253,08	59,2	(44,8; 73,6)
700	44	95	51	18,5	299,81	73,4	(50,4; 96,4)
750	84	106	22	10,2	329,90	95,2	(82,6; 107,8)
800	94	136	42	16,7	392,57	118	(97,3; 138,7)
850	126	164	38	14,9	534,19	149,6	(131,1; 168,1)
900	83	155	72	27,9	563,62	128,6	(93,9; 163,3)
950	72	135	63	25,4	420,82	113,4	(81,9; 144,9)
1000	115	177	62	23,0	606,86	150,4	(121,8; 179,0)

Cabe mencionar que los resultados completos a detalle de este material cerámico se muestran en el **Anexo 14**.

Como se puede observar en la Figura 21, no existen valores atípicos, es decir, de poco peso estadístico para este estudio, algo interesante es que el rango de los valores hallados para cada temperatura aumenta en las temperaturas más altas, además se observa que a 950°C se obtienen valores más bajos de carga máxima en comparación a los 900°C. Como se mencionó anteriormente, los requisitos de la norma ecuatoriana se cumplen a los

650°C, ya que el valor mínimo calculado por el equipo de resistencia a la flexión fue de 45Kgf y el intervalo de confianza para esta temperatura está entre los 44,8 y 73,6Kgf, por lo que la media se encuentra en 59,2Kgf, cumpliendo de esta manera lo establecido en la norma.

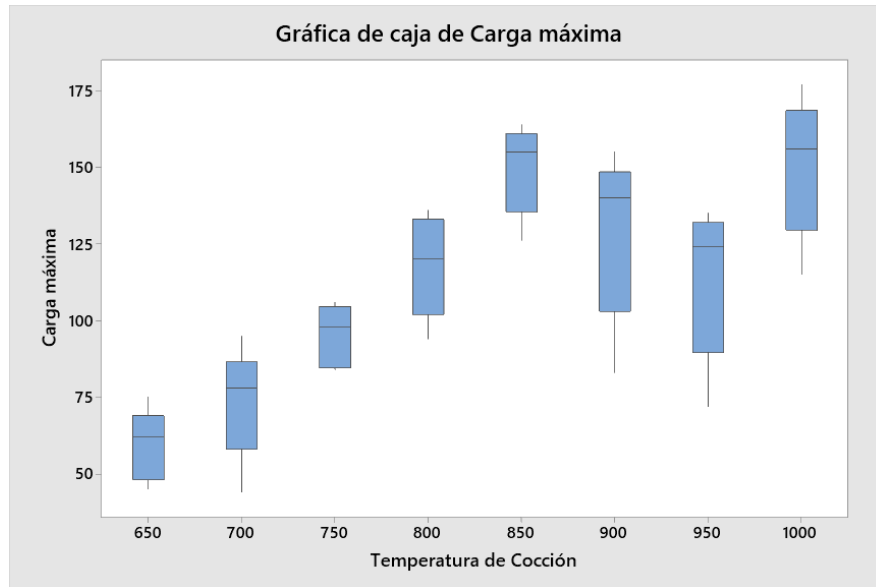


Figura 21. Gráfica de caja de Carga máxima a la flexión en tejas tipo A. Fuente: Elaboración propia

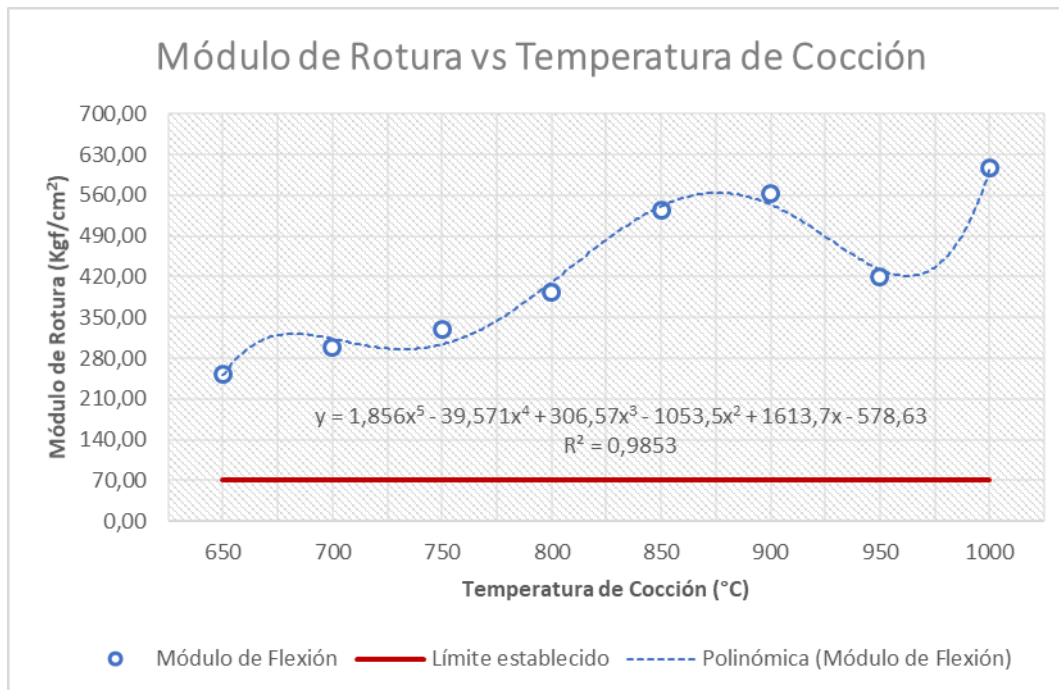


Figura 22. Gráfico de Modulo de Rotura vs temperatura de cocción de tejas tipo A. Fuente: Elaboración propia



Por otro lado, en la Figura 22 se observa el comportamiento de las tejas tipo A en función de la temperatura. Por otra parte, se observa que a los 950°C existe un desplome de la tendencia de crecimiento del módulo de rotura, esto podría deberse a la presencia de carbonatos de calcio y magnesio que reaccionan provocando emisiones de gases que a su vez provocan un aumento del tamaño de porosidad del material, haciendo que la resistencia decaiga lo que concuerda con lo que establece (Barba et al., 2002) sobre la descomposición de compuestos que contienen oxígeno, con el aumento de temperatura se observa un repunte en el módulo de rotura, debido a la sinterización del material.

5.5.1.4. *Tejas Tipo Curva Vidriadas*

El resumen de los resultados obtenidos de resistencia a la flexión, conjuntamente con su análisis estadístico, de las tejas tipo C (según la clasificación de la norma INEN 990) se pueden observar en la Tabla 19 y en el **Anexo 15** se muestran los resultados completos a detalle.

Tabla 19. Análisis de resultados de Resistencia a la flexión en tejas tipo curva vidriadas. Fuente: Elaboración propia

<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>	<i>Desviación estándar</i>	<i>Módulo de Rotura (Kgf/cm²)</i>	<i>Carga máxima (Kgf)</i>	<i>Intervalo de Confianza de 95%</i>
750	112	140	28	11,9	479,63	128	(113,2; 142,8)
800	95	152	57	23,5	667,49	135,8	(106,6; 165,0)
850	110	152	42	18,7	491,71	131,4	(108,2; 154,6)
900	98	142	44	17,2	491,94	114	(92,6; 135,4)
950	138	173	35	13,9	607,20	158,8	(141,6; 176,0)
1000	125	135	10	5,0	479,10	131,4	(125,2; 137,6)
1050	118	155	37	15,2	509,24	132	(113,2; 150,8)
1100	105	145	40	15,4	473,79	130	(110,9; 149,1)
1150	153	179	26	10,6	644,78	160,6	(147,4; 173,8)

Como se muestra en la tabla, los rangos de variación difieren entre las temperaturas de cocción; y la tendencia de la resistencia mecánica no es clara conforme aumenta la temperatura ya que los valores máximos encontrados son similares en las temperaturas más altas y en las temperaturas medias, tal cual ocurría en el caso de las tejas vidriadas planas.

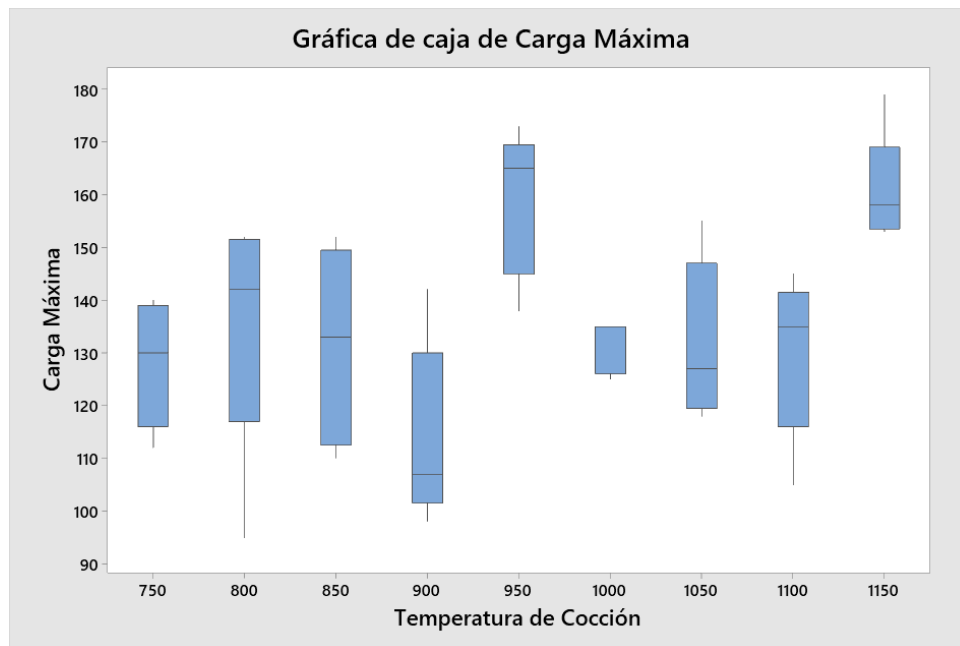


Figura 23. Gráfica de Resistencia a la Flexión y porcentaje de vidrio empleado vs temperatura de Cocción en tejas tipo Curva Vidriadas. Fuente: Elaboración propia

Al analizar la gráfica de caja de este material de construcción, se encuentra que no existen valores que alteren la dispersión de datos y que a 800°C se encuentra la mayor variabilidad de resultados, que van desde los 95kgf hasta los 152kgf, sin embargo, esta temperatura no es la única que presenta una variación tan marcada, ya que como se puede observar, todas las temperaturas abarcan un rango importante de resultados, en otras palabras, presentan una dispersión alta, con la excepción de la temperatura a 1000°C y 1150°C, así también cabe mencionar que en la mayoría de casos, la tendencia central es mayor a la media con excepciones a los 900, 1050 y 1150°C. Asimismo, como en el caso de las tejas tipo D, esto se puede atribuir a la forma y tamaños variables de la teja, provocados por la contracción de cocción o por defectos de formación y contracción de secado lo que coincide con lo que menciona (Barranzuela, 2014), además de que, al contar con vidriado, este acentúa las deformidades que pudiera haber tenido la teja en su inicio, provocando que el equipo de ensayo de resistencia a la flexión genere errores en la ejecución del ensayo.

Al enfocarse en la temperatura más baja, 750°C, encontramos que su valor mínimo es de 112Kgf y su máximo es de 140Kgf, al mismo tiempo, mediante la gráfica de caja podemos observar que su media y mediana son muy parecidas, 128Kgf y 130Kgf respectivamente,

por lo que a esta temperatura ya se cumple con los requisitos de la norma INEN pues su media o promedio, supera los 100 kgf/cm² que indica la norma.

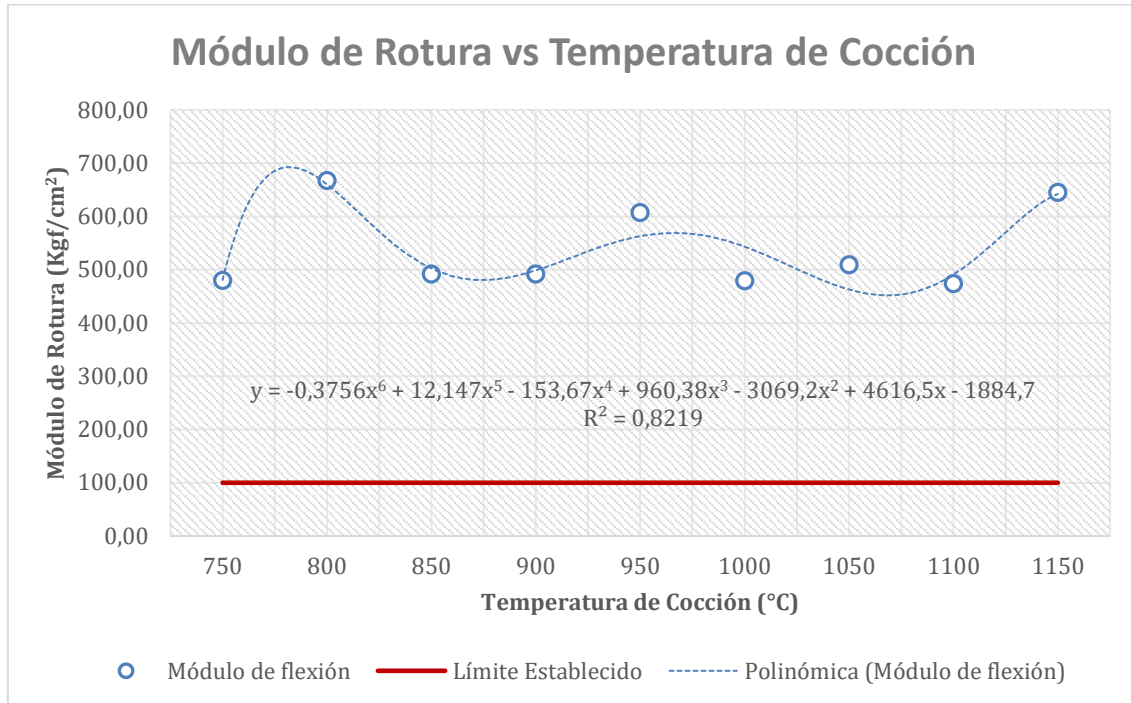


Figura 24. Gráfica de intervalos de módulo de rotura vs temperatura de Cocción en tejas tipo C. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 24 se puede percatar el comportamiento del módulo de rotura a distintas temperaturas, es así que se distingue un mínimo a 1100°C, por lo que los peores resultados de resistencia ocurren a esta temperatura. Por el contrario, observamos que se obtienen los mejores resultados a 800°C y que se obtienen resultados similares a 1150°C, por lo que no es necesario cocer este tipo de teja a mayor temperatura, ya que según el gráfico obtendríamos resultados similares entre 1000 y 1100°C, por lo que visto desde el punto de vista técnico y económico no es viable. Este comportamiento, a más del explicado anteriormente, se puede deber a la emisión de gases provocados por los carbonatos presentes en la pasta como menciona (Barba et al., 2002), ya que el carbonato férrico emite gases dióxido de carbono a los 800°C provocando poros que disminuyen la resistencia mecánica, esto explicaría por qué desde esta temperatura hay una disminución en el módulo de rotura la cual mejora a los 950°C después de lo cual ocurre otra caída producida por la emisión de gas esta vez atribuido al carbonato de calcio, lo que generaría

nuevamente poros que retardan el proceso de sinterización que no se acentúa hasta los 1150°C.

Sin embargo, en base a los resultados obtenidos de cada temperatura y el comportamiento sinusoidal que estos demuestran en función de la temperatura, es difícil tomar una decisión sobre una temperatura óptima pues no existe una tendencia entre los resultados. Esto se evidencia con el bajo coeficiente de determinación presentado en el modelo polinomial de sexto orden.

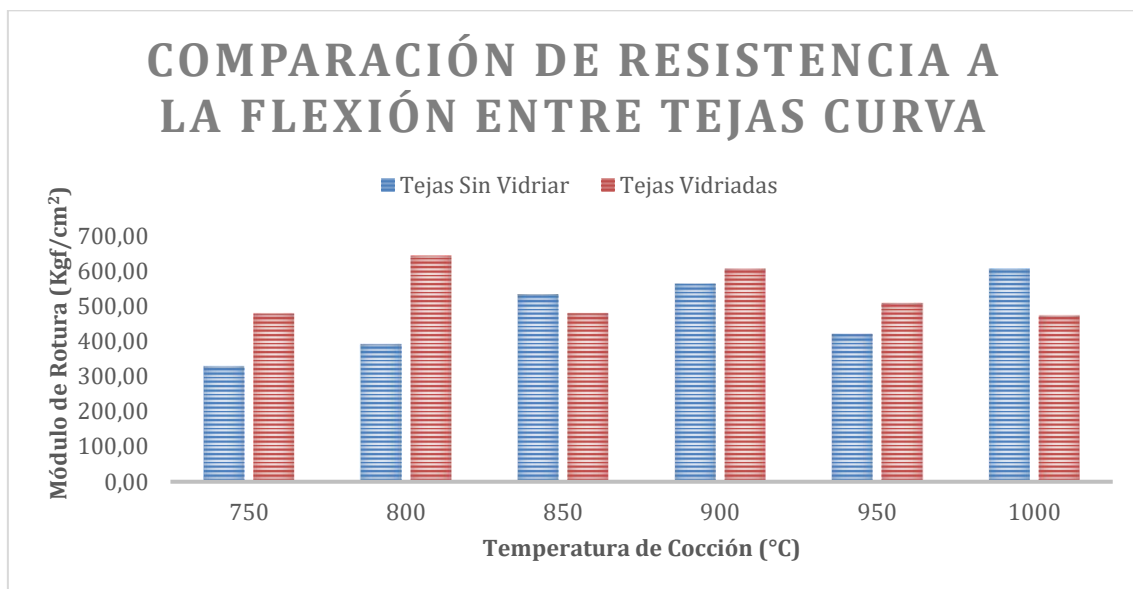


Figura 25. Comparación de resistencia a la flexión entre tejas tipo curva. Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, al hacer una comparación entre las tejas vidriadas y sin vidriar de tipo curva, encontramos que en general la resistencia ofrecida por las tejas vidriadas es mejor a las que no cuentan con vidrio, como se observa en la Figura 25, sin embargo, existen dos excepciones, puesto que a 850°C y 1000°C, en primera instancia esto podría deberse a un exceso de humedad en las tejas vidriadas debido a un mal secado en la estufa, o también por la formación de irregularidades en la superficie de la teja por un proceso de vidriado deficiente que provocó un punto de apoyo que disminuyó la carga normal de rotura de la teja.



5.5.2. Resistencia a la compresión en Ladrillos

5.5.2.1. Ladrillos de perforación Horizontal

Los resultados de resistencia a la compresión de los ladrillos de perforación horizontal (PH) se detallan en la Tabla 20, en ella se incluye el análisis estadístico de los mismos y en el **Anexo 16** se muestran los resultados completos de este ensayo.

Tabla 20. Análisis de resultados de Resistencia a la Compresión en ladrillos de perforación horizontal. Fuente: Elaboración propia

Temperatura (°C)	Mínimo	Máximo	Rango	Desviación Estándar	Módulo de rotura (Kgf/cm ²)	Intervalo de Confianza de 95%
650	1,37	2,23	0,86	0,352	1,87	(1,43; 2,31)
700	1,72	3,2	1,48	0,562	2,43	(1,72; 3,12)
750	2,31	3,46	1,14	0,502	2,82	(2,2; 3,45)
800	2,33	2,68	0,35	0,137	2,49	(2,32; 2,66)
850	2,48	2,95	0,47	0,196	2,67	(2,43; 2,92)
900	2,63	3,06	0,43	0,169	2,78	(2,55; 3,09)
950	2,54	3,02	0,48	0,183	2,71	(2,47; 3,04)
1000	2,89	3,6	0,7	0,297	3,17	(2,79; 3,53)

Al analizar la tabla de resultados se observa que la resistencia a la compresión aumenta conforme la temperatura se eleva, además de que la desviación estándar disminuye conforme se desarrolla la temperatura, no obstante, a los 1000°C se halla que el rango de variación crece provocando que su desviación también lo haga, por lo que se puede argumentar que a esta temperatura las muestras poseen mayor resistencia, pero con resultados más variables.

En la Figura 26, se aprecia de manera gráfica el comportamiento de la dispersión de resultados con respecto a la temperatura de cocción, como se mencionó anteriormente el rango de resultados de cada temperatura decrece conforme la temperatura aumenta y no se observa que existan valores de poco peso estadístico que influyan en los resultados obtenidos.

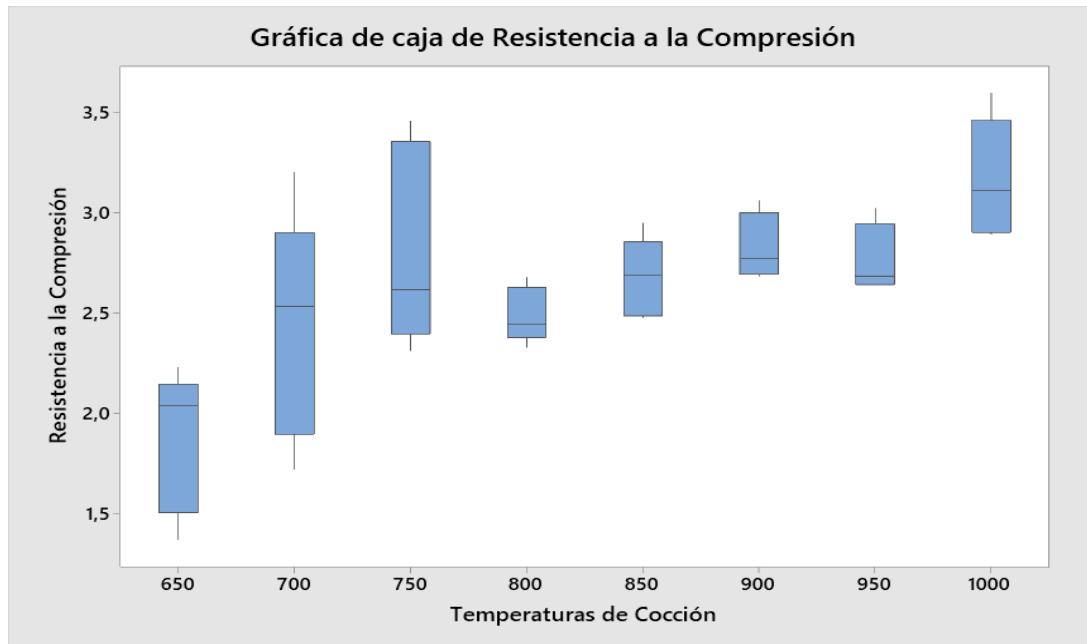


Figura 26. Gráfica de caja de resistencia a la Compresión de ladrillos de PH. Fuente: Elaboración propia

Al analizar el diagrama de caja a 1000°C se observa que tanto la mediana como la media superan los 3MPa que establece como requisito la norma INEN 3049 parte 3, además, si comparamos estos datos con el intervalo de confianza, se tiene que se sobrepasa el límite propuesto para un espécimen individual de este tipo de ladrillo ya que según la norma es de 2Mpa, por lo que esta temperatura es la adecuada para asegurar el cumplimiento de este requerimiento, esto se evidencia en la Figura 27 en donde se presenta el comportamiento de la resistencia a la compresión en función de la temperatura. A rasgos generales, la resistencia a la compresión aumenta a medida que se aumenta la temperatura, aunque esta tendencia de crecimiento no es significativa desde los 750°C, ya que, al variar 250°C desde ese punto, apenas se logra aumentar en 0,5MPa la resistencia mecánica de este material de construcción, no obstante, se logra mejorar el intervalo de confianza al disminuir el rango de variación, es decir, se obtiene menor dispersión de resultados, esto debido a la sinterización del material, el cual inicia desde los 850°C (Asociación Española de Técnicos Cerámicos & SACMI, 2004) y explicaría el repunte de la resistencia mecánica en el último tramo de la gráfica.

En general, el comportamiento de la tendencia de la resistencia mecánica también puede deberse a la naturaleza del ladrillo, ya que, por su forma hueca, es normal esperar que no presente una diferencia marcada de resistencia entre cada ensayo, ya que su estructura

posee mayor cantidad de vértices en donde se concentra la humedad que provoca disminución de la resistencia debido a que se puede producir una mayor cantidad de rajaduras, grietas, microgrietas y deformaciones según lo establece (Nascimento et al., 2006)

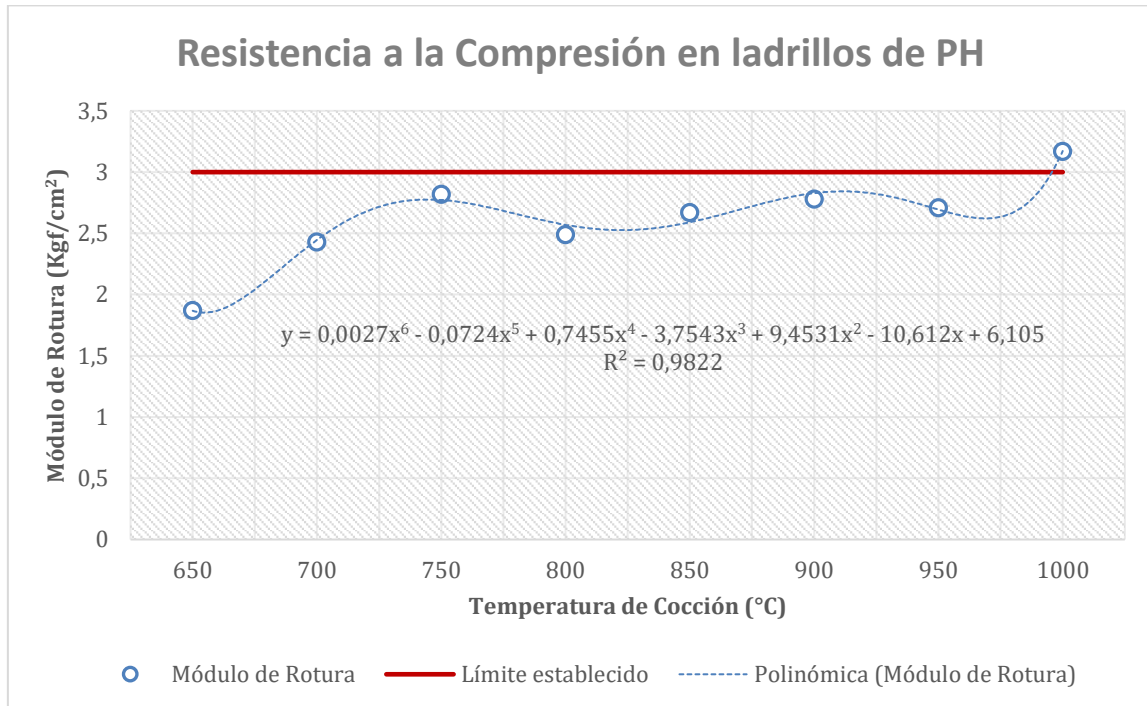


Figura 27. Resistencia a la compresión en ladrillos de perforación horizontal. Fuente: Elaboración propia

5.5.2.2. **Ladrillos Macizos**

El resumen de resultados obtenidos de resistencia a la compresión, conjuntamente con su análisis estadístico, de los ladrillos macizos (según la clasificación de la norma INEN 3049) se pueden observar en la Tabla 21 y los resultados detallados se muestran en el **Anexo 17**.

Tabla 21. Análisis de resultados de Resistencia a la Compresión en ladrillos Macizos

Temperatura (°C)	Mínimo	Máximo	Rango	Desviación Estándar	Módulo de Rotura (Kgf/cm²)	Intervalo de confianza de 95%
850	8,53	11,43	2,9	1,41	10,13	(8,38; 11,88)
900	2,48	11,1	8,62	4,04	7,1	(2,08; 12,12)
950	6,83	10,75	3,92	1,57	9,07	(7,12; 11,02)
1000	4,2	13,77	9,57	3,64	10,42	(5,90; 14,95)
1025	3,94	13,53	9,59	4,18	7,42	(2,22; 12,61)
1050	7,23	13,35	6,12	2,02	11,43	(9,46; 13,40)
1100	12,58	13,99	1,41	0,62	13,25	(12,48; 14,03)
1150	13,39	13,85	0,46	0,18	13,54	(13,32; 13,76)
1200	11,86	13,79	1,93	0,79	13,26	(12,27; 14,25)

Como se puede observar en la tabla, existe una tendencia general de crecimiento de la resistencia a la compresión conforme la temperatura aumenta, salvo por dos casos en los cuales se nota un decaimiento de la misma a los 900°C y 1025°C. Como se indica en dicha tabla, en estas temperaturas se presentan los valores más altos de desviación estándar, por lo que este comportamiento podría deberse a una cocción inadecuada de las muestras de ensayo, ya que precisamente entre los 850°C y 1050°C se encontraron muestras que no estaban completamente cocidas en su interior al ser destruidas por el equipo, y fueron las que menor resistencia a la compresión presentaron, esto debido a la forma del ladrillo, pues al ser de tipo macizo requiere de mayores temperaturas para cocerse completamente y es debido a esta parte “cruda” del material que existe tan marcada desviación de resultados que disminuye conforme se aumenta la temperatura.

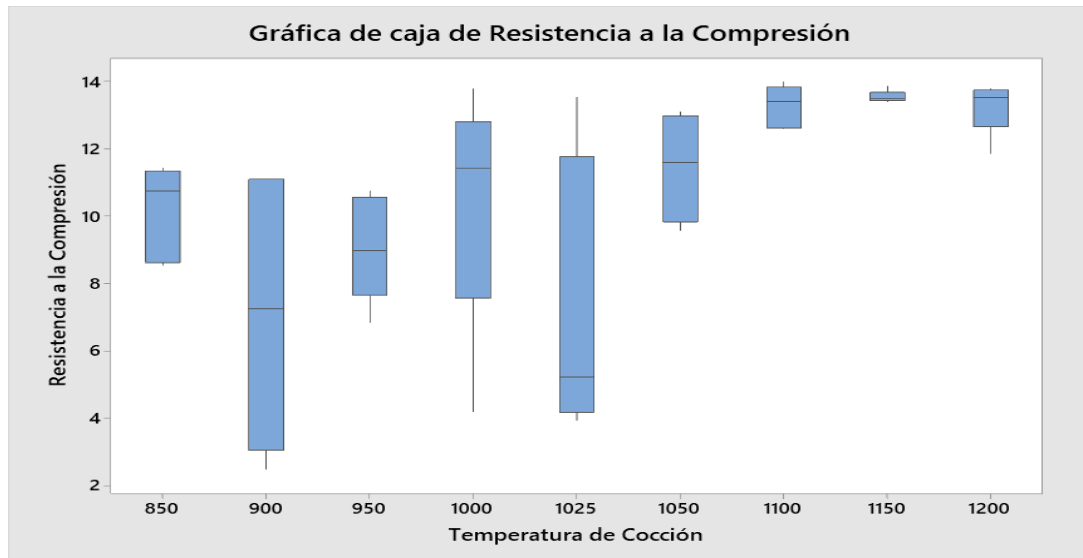


Figura 28. Gráfica de Caja de resistencia a la Compresión en ladrillos Macizos. Fuente: Elaboración propia

Por su parte, en la gráfica de caja presentada en la Figura 28 se aprecia de forma más detallada la distribución de los resultados, además se verifica que no existen datos de poco peso estadístico (datos atípicos) que influyan en la tendencia de los resultados.

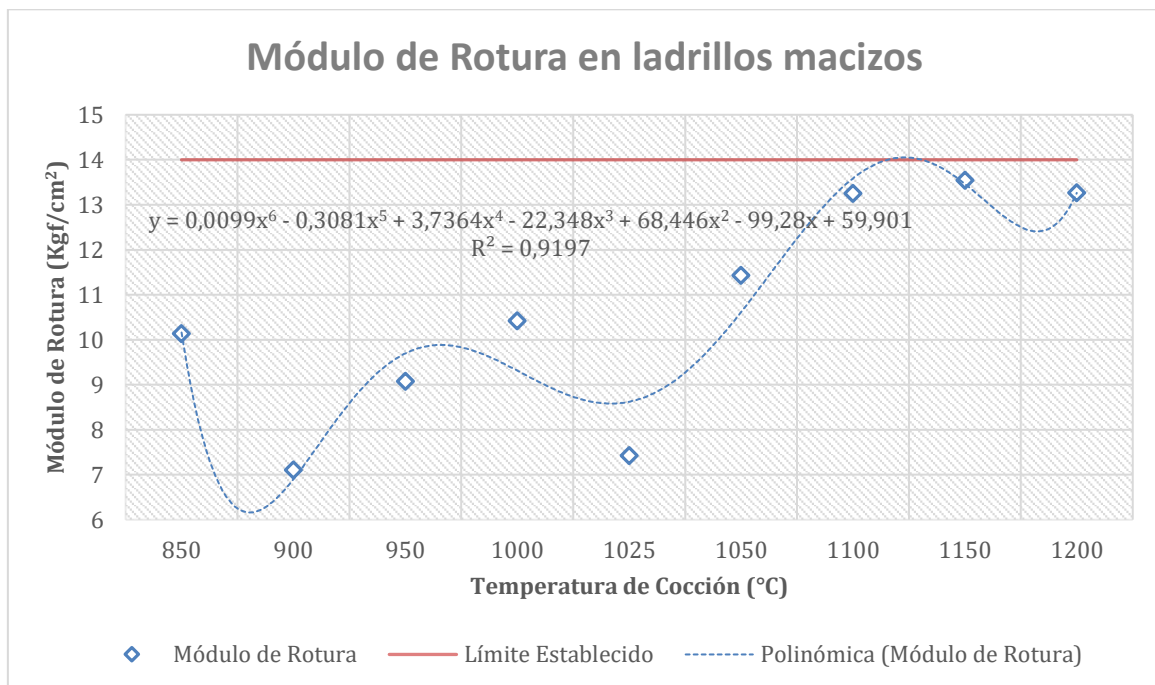


Figura 29. Gráfica de resistencia a la compresión vs temperatura de cocción en ladrillos macizos. Fuente: Elaboración propia



Finalmente, mediante la Figura 29 se puede observar el comportamiento de la resistencia a la compresión en función de la temperatura de cocción. Como se mencionó anteriormente, este comportamiento se puede deber a la cocción incompleta del material, pero además se podría adjudicar al tiempo de secado y la compacidad del producto, ya que si el primero no se llevó a cabo de manera adecuada, es de esperar que su resistencia no sea la deseada lo que concuerda con (Barranzuela, 2014) y que la cocción no se lleve a cabo apropiadamente generando fisuras; en cuanto a la compacidad seguramente influyó el tamaño de grano con el que se trabajó y el tipo de arcilla que se utilizó, esto explicaría por qué a partir de los 1100°C existe un aumento de la variable de salida, pero no tan marcado provocando que la sinterización no se acentúe.

5.6. Resumen del capítulo

Tabla 22. Resumen de los resultados de Absorción de agua y de resistencia mecánica. Fuente: Elaboración propia

Tipo de material Cerámico	Producto cerámico	Absorción de Agua	Resistencia Mecánica
		Temperatura	Temperatura
Tejas	Teja Plana sin Vidriar	650°C	650°C
	Teja Plana vidriada	1025°C	750°C
	Teja Curva sin vidriar	650°C	650°C
	Teja Curva vidriada	1150°C	750°C
Ladrillos	Ladrillos de perforación horizontal	1025°C	1000°C
	Ladrillos macizos	1050°C	>1200°C

Los resultados específicos de las tejas tipo plana, establecen que tanto para absorción de agua como para resistencia a la flexión se debe cocer desde la misma temperatura, 650°C, ya que es desde esta temperatura en la que ya se cumplen con los requisitos de absorción de agua y resistencia a la flexión. Al analizar el comportamiento de la curva de absorción de agua (Figura 3) y resistencia a la flexión (Figura 17) se observó que existen fluctuaciones, si bien la absorción de agua tiende a disminuir con el aumento de temperatura, existen picos en donde esta aumenta, esto podría deberse a la formación y expulsión de gases provocados por los carbonatos de calcio, magnesio y hierro presentes en la muestra, que a su vez dan lugar a poros abiertos que influyen en la absorción de agua y por ende en la resistencia mecánica. Estos gases se forman precisamente en el



rango de temperaturas en el que ocurren las fluctuaciones mencionadas como señala (Barba et al., 2002).

En cuanto a las tejas tipo D (teja vidriada plana) los resultados de absorción de agua manifestaron que se debe cocer a los 1025°C, sin embargo, los resultados de resistencia mecánica indican que se debe cocer desde los 750°C, por lo que se establece que este tipo de teja debe cocerse por encima de los 1025°C para asegurar el cumplimiento de ambos requisitos que establece la norma INEN 990 para este tipo de teja.

En la curva de absorción de agua (Figura 5) se demuestra la tendencia de disminuir la absorción conforme la temperatura aumenta, Además se observa que no existen impurezas que liberen una cantidad importante de gases que generen porosidad, además, la sinterización progresiva disminuye dicha porosidad, lo que, a su vez genera resultados cada vez más bajos de absorción de agua. Asimismo, al analizar su curva de resistencia a la flexión (Figura 19) se encontró un comportamiento no esperado, y esto se debe a que el producto terminado presenta fallas en sus dimensiones, ya que a medida que aumenta la temperatura, los especímenes se vuelven menos uniformes porque tienden a torcerse provocando inestabilidad al apoyarse en el soporte de acero y esto a la vez provoca que el equipo incurra en errores de medición lo que se demuestra con la fluctuación de resultados presentada en el gráfico.

En el caso de las tejas tipo curva, específicamente en las de tipo A (teja común curva) los resultados de absorción de agua y resistencia mecánica indican que se deben cocer desde los 650°C, ya que en ambos casos coinciden en dicho valor. Por otra parte, al analizar el comportamiento de la curva de absorción de agua (Figura 7) y de resistencia a la flexión (Figura 22) se encontró que entre 850°C y 1000°C existe una variación inesperada de la tendencia que siguen dichas curvas. En primer lugar, cabe suponer que los carbonatos presentes en la pasta, están liberando gases que provocan poros abiertos y que estos a su vez influyen en los resultados de los análisis para luego, mediante la sinterización se mejore la resistencia mecánica y en la absorción de agua razón por la cual la curva se estaría comportando de esa manera.

En referencia a las tejas tipo Curva Vidriadas, es decir, tipo C según la norma INEN 990, se encontró que los resultados obtenidos de absorción de agua indican que se deben cocer a 1150°C, mientras que los resultados de resistencia mecánica revelan que se debe cocer



a 750°C, por lo que para cumplir con ambos requisitos establecidos en la norma INEN 990 se debe cocer por encima a los 1150°C. Como se observó en las curvas de absorción de agua (Figura 9) y resistencia a la flexión (Figura 24), el comportamiento de estas difiere entre sí, y a primera vista no presentan relación alguna como en casos anteriores. Al enfocarse en la curva de absorción de agua se verificó que sigue un comportamiento normal, es decir, la absorción de agua disminuye conforme la temperatura de cocción aumenta, que es lo que se espera, sin embargo, su porosidad es lo suficientemente grande como para tener que cocer la teja a más de 1100°C para cumplir con el requisito de absorción de agua, por esta razón es necesaria una revisión de la dosificación de materia prima para mejorar este aspecto, por ello se recomienda perfeccionar la compacidad del producto con la adición de un desengrasante, como por ejemplo una arcilla con mayor contenido de arena o controlando la distribución de tamaños de grano de la materia prima (Uribe et al., 2021), pues al verificar la curva de resistencia a la flexión, no se obtienen cambios importantes al aumentar la temperatura y esto se debe a: las variaciones de compacidad en las piezas de un mismo lote, las cuales producen descuadres, espesores diferentes (calibres), curvaturas indeseables (Barba et al., 2002); a un secado inadecuado, que también produce descuadres y curvaturas indeseadas provocadas por la contracción del secado (Barranzuela, 2014) y, por la emisión de gases durante la cocción ocasionados por los carbonatos presentes en la pasta, que influyen en el comportamiento de la curva de resistencia a la flexión.

Por todo lo anteriormente mencionado, los resultados obtenidos para cada tipo de teja, demuestran que la hipótesis planteada al inicio de este trabajo de titulación, en lo que a tejas vidriadas se refiere, no se cumple, ya que se ha demostrado que se deben cocer a temperaturas superiores a los 1000°C. Por otro lado, en el caso de las tejas sin vidriar, quedó confirmado que no existe inconvenientes al cocerlas por debajo de los 900°C por lo que se cumple la hipótesis planteada para este tipo de tejas.

En base a los resultados encontrados para los ladrillos huecos (de perforación horizontal, PH), se debe cocer a 1025°C para cumplir con los requisitos de absorción de agua y para cumplir con los requisitos de resistencia mecánica se debe cocer a 1000°C, por lo que para cumplir con ambos requisitos se recomienda ejecutar la cocción de este producto por encima de los 1025°C y así asegurar la calidad del mismo.



Al tomar en cuenta la curva de absorción de agua en ladrillos de perforación horizontal (Figura 13), se encontró que su comportamiento respecto a la temperatura sigue un patrón descendente, es decir, a medida que aumenta la temperatura, este parámetro disminuye ya que la sinterización y la formación de fase vítrea del material disminuye la porosidad conforme aumenta la temperatura. Además, se observa claramente una marcada disminución de este parámetro desde los 800°C, ya que el óxido de hierro actúa como fundente y favorece la formación de fase vítrea del material, lo que a su vez contribuye a la reducción de porosidad del producto, y esto sumado a la sinterización del mismo a partir de los 850°C (Asociación española de Técnicos Cerámicos & SACMI, 2004) provoca esta disminución tan marcada en el comportamiento de la curva.

Por otra parte, al analizar la curva de resistencia a la compresión (Figura 27) de este producto cerámico, se halló que la resistencia aumenta conforme la temperatura crece, lo que es de esperarse, ya que a medida que se van cerrando los poros, es normal que la resistencia aumente, dando como resultado un mejor desempeño en este parámetro.

Finalmente, los ladrillos macizos cumplen con los requisitos de absorción de agua a los 1050°C, sin embargo, a esta temperatura la resistencia mecánica es de 11,43MPa por lo que no es suficiente para alcanzar el requisito de resistencia a la compresión, es así que al aumentar la temperatura hasta los 1200°C tampoco se logra llegar al objetivo de 14MPa, es por ello que en vez de tratar de superar esta temperatura, que no es económicamente viable y tampoco técnicamente posible de alcanzar por los hornos monitoreados, es necesario cambiar la composición de la pasta para poder establecer un rango de temperatura óptimo que sea económicamente viable, amigable con el medio ambiente y sobre todo, técnicamente posible de alcanzar en las condiciones de los hornos monitoreados.

Al considerar el parámetro de absorción de agua (Figura 15) se observa una disminución de porosidad que se mantiene a medida que se aumenta la temperatura, no obstante, no presenta un cambio apreciable entre 1000°C y 1025°C y es en esta última que se pudo notar un comportamiento anormal en la resistencia mecánica (Figura 29), ya que aquí ocurre un mínimo y además hay una marcada dispersión de resultados. La primera causa puede deberse a que el material no pudo cocerse correctamente, posiblemente por la disposición de los ladrillos crudos dentro del horno. Otra causa a tener en cuenta es la dosificación con la que se fabricó el ladrillo, no obstante, esto se puede solucionar con



aumentar el contenido de una arcilla rica en anastasa y hematita que contribuya a la resistencia mecánica como lo establece (G. Gómez et al., 2017) en su investigación sobre la caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos, en la cual obtuvo resultados favorables o por el contrario, disminuir el exceso de material desengrasante, arenoso, que influye en la porosidad del material provocando resultados bajos en absorción de agua y resistencia mecánica como establece (V. J. García et al., 2016). Además, se puede argumentar que, debido a la forma compacta del producto, el secado no se realizó adecuadamente provocando grietas y fisuras en sus vértices por acumulación de humedad induciendo a un mal desempeño en los ensayos como menciona (Nascimento et al., 2006). Aunque, al sobrepasar los 1025°C la tendencia de resistencia mecánica empieza a aumentar por efecto de la sinterización.

En general, tanto para ladrillos macizos como para ladrillos de perforación horizontal, se encontró que deben ser cocidos a temperaturas entre los 1000°C y 1050°C para que cumplan con los requisitos establecidos en la norma INEN 3049 parte 3 por lo que la hipótesis planteada para los ladrillos, no se cumple.



6. CONCLUSIONES

El objetivo general de este estudio fue determinar el rango de temperatura en el cual, los materiales cerámicos para la construcción cumplieran con lo establecido con la normativa Nacional vigente, es así que se estableció lo siguiente:

- En el caso de las tejas tipo A, frecuentemente denominadas teja curva sin vidriar, se halló que deben cocerse a 650°C, ya que desde esta temperatura se cumplen con los requisitos establecidos en la norma INEN 990.
- Por su parte, las tejas tipo B, generalmente llamadas tejas planas sin vidriar, deben quemarse desde los 650°C, puesto que tanto los ensayos de resistencia a la flexión, como los ensayos de absorción de agua, indicaron que se cumple con los requisitos que la norma INEN 990 indica para este tipo de material.
- En las tejas tipo C, ordinariamente llamadas tejas curvas vidriadas, deben cocerse a 750°C para que cumplan con los requisitos de resistencia mecánica y a 1150°C, para cumplir con los requisitos de absorción de agua que establece la norma INEN 990, por lo tanto, se deben cocer a 1150°C o a partir de esta temperatura para cumplir con ambos requisitos.
- Finalmente, en las tejas tipo D, usualmente conocidas como tejas planas vidriadas, se determinó que cumplieron con el requisito de absorción de agua a los 1025°C y con el requisito de resistencia a la flexión a los 750°C, aunque se obtuvieron resultados similares a los 1025°C también, por lo que se cumplen los requisitos de la norma INEN 990 a 1025°C y es desde esta temperatura desde la cual es seguro cocer este material.
- En el caso de los ladrillos no estructurales de perforación horizontal, comúnmente llamados tochanos o huecos, al hacer los respectivos ensayos de absorción de agua y de resistencia mecánica a la compresión, se halló que deben cocerse a 1025°C, siguiendo el modelo del ciclo de cocción planteado en este trabajo para que se cumplan los requisitos mínimos establecidos en la norma INEN 3049 parte 3.
- Para los ladrillos no estructurales macizos, comúnmente denominados ladrillos panelones, deben cocerse desde los 1050°C para cumplir con el requisito de absorción de agua de la norma INEN 3049 parte 3, cabe mencionar que, si bien a los 1200°C no se alcanzó el requisito de resistencia a la compresión, por lo que



posiblemente haya que cocer los ladrillos a una temperatura mayor, esta no es económicamente viable por el artesano y tampoco es una temperatura que los hornos monitoreados alcancen.



7. RECOMENDACIONES

- En el caso de las tejas sin vidriar, se recomienda cocerlas de manera vertical, con un espacio de separación entre ellas, puesto que, si se cuecen apiladas, estas presentan fisuras notables en su lomo, viéndose afectada la resistencia a la flexión.
- En el caso de las tejas vidriadas en general, se recomienda estandarizar un procedimiento en el cual la cantidad de vidrio empleado sea el mismo para todos los especímenes, ya que este acabado influye en la resistencia mecánica del material, y si no es empleado de manera correcta, contribuye a que el ensayo de resistencia sea inconsistente.
- En el caso de los ladrillos de perforación horizontal, se recomienda usar soportes de acero lo suficientemente grandes para evitar errores en el ensayo de resistencia a la compresión, además de que no pase demasiado tiempo al aire libre, pues la absorción de humedad del ambiente disminuye la resistencia mecánica del material.
- Para los ladrillos macizos, se recomienda cocerlos en posición vertical, ya que, de lo contrario, se encontró que no se transfiere de manera correcta el calor al interior del material, dejándolo parcialmente “crudo” y, al igual que en el caso anterior, el material ha demostrado disminuir su resistencia mecánica al absorber humedad del ambiente.
- Debido a que, en ninguna parte se cuecen ladrillos macizos por encima de los 1150°C, se recomienda estudiar una nueva composición de la pasta o disminuir el tamaño de grano para poder cumplir con el requisito de la norma INEN 3049 parte 3.



8. BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

- Albarracín, M., Bautista, W., Laurencio, H., Retidado, Y., & Torres, E. (2020). *Caracterización de las propiedades mecánicas de las arcillas para tejas de barro producidas por alfareros de la parroquia la victoria, catón Pujilí.*
- Álvarez, C., Sánchez, J., & Rozo, S. (2014). *Propiedades físico mecánicas de bloques H10 fabricados en el área Metropolitana de Cúcuta.*
<https://www.redalyc.org/pdf/911/91131484004.pdf>
- Álvarez, F. (2014). *Optimización del proceso de mezcla de arcilla para la producción de ladrillos, en el sector artesanal.*
- Álvarez, N., & Chacho, G. (2015). *Sustitución del vidrio crudo a base de óxido de plomo por uno fritado en la elaboración de tejas en el sector San José de Balzay y Racar.*
- Aparicio, P., & Galán, E. (2006). *Materias primas para la industria cerámica.* Universidad de Sevilla.
http://www.ehu.eus/sem/seminario_pdf/SEMINARIO_SEM_2_031.pdf
- ArchDaily. (2022). *Cubiertas de Tejas*.
<https://www.archdaily.mx/catalog/mx/products/7949/cubiertas-de-tejas-macere>
- Arévalo, M. R., & Cumbe Novillo, J. C. (2021). *Propuesta de mejora de la eficiencia energética de un horno artesanal para la quema de ladrillos y tejas - cámara de cocción y de combustión.* <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21414>
- Ariza, M. (2007). *Absorción de agua a presión atmosférica y por capilaridad en materiales cerámicos de construcción.*
- UNE-EN 538: *tejas de arcilla cocida, ensayo de resistencia a la flexión*, (1995) (testimony of Asociación Española de Normalización y Certificación).
http://conarquitectura.co/wp-content/uploads/2013/09/HISPALYT_CAT_tejas.pdf
- Asociación española de Técnicos Cerámicos, & SACMI. (2004). *Tecnología Cerámica Aplicada: Vol. I.*
- Asociación Española de Técnicos Cerámicos, & SACMI. (2004). *Tecnología cerámica aplicada Volumen II.*



- Aucapiña Guamán, A. S., & Ortiz Matailo, Á. M. (2021). *Propuesta de mejora de la eficiencia energética de un horno artesanal para la quema de ladrillos y tejas - cámara de secado para leña, tejas o ladrillos*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21411>
- Barba, A., Beltrán, V., Feliú, C., García, J., Ginés, F., Sánchez, E., & Sanz, V. (2002). *Materias Primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas* (Segunda).
- Barranzuela, J. (2014). *Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la Región Piura*. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1755/ICI_199.pdf
- Bedoya Castaño, S. (2019). *Reformulación de una pasta cerámica de materiales tipo aventino como plan de contingencia en caso de escasez de la materia prima*. <http://tesis.udea.edu.co/handle/10495/13759>
- Cabrera, A., & Faicán, R. (2019). *Análisis de las emisiones ambientales y de la eficiencia energética de los hornos de las ladrilleras de Cuenca. Propuesta de límites referenciales de emisiones ambientales*. [http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/33391/1/Trabajo-de-titulaci% c3% b3n.pdf](http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/33391/1/Trabajo-de-titulaci%c3%b3n.pdf)
- Cáceres, V. I., Chaparro, A., & Sánchez Molina, J. (2021). *Caracterización de materiales arcillosos y su potencial aplicación en la industria cerámica*. Universidad de Pamplona. <https://dspace-ufps.metabuscador.org/handle/ufps/6398>
- Chapoñan Peche, C. E., & Rojas Pérez, J. C. (2019). *Diseño de una máquina extrusora de ladrillos con una capacidad de 1000 unidades/hora para la fábrica "ladrillos lark."*
- Collado, P., & Nuño, D. (2006). *Supervisión de ejecución de acabados, revestimientos y cubiertas - Pablo Collado Trabanco, David Nuño Peña - Google Libros*. <https://books.google.com.ec/books?id=4KPnP9iOh9kC&pg=PA295&dq=absorcio n+de+agua+cer% C3% A1mica&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjVlt76lsL2AhVDlmoFHBz-Cz8Q6AF6BAgEEAI#v=onepage&q&f=false>
- Cruz, A., Nava, O., Moreno, A., & Vargas, M. (2007). *Caracterización de Fundentes para Molde de Colada Continua de Acero*.



- Espinosa, L., Guevara, R., & López, J. (2014). *Estudio de la resistencia mecánica a la compresión de ladrillos elaborados a partir de mezclas arcilla roja-cemento Portland*. 27(02), 90–98. <https://doi.org/10.5377/nexo.v27i02.xxxx>
- Ferrero, J. (2021). *Tecnología Cerámica*. <https://ceramica.name/ceramica>
- Frías Torres, A. X., & Romero Coyago, J. A. (2021). *Determinación de la resistencia a compresión de ladrillos macizos fabricados con diferentes tipos de arcilla del cantón Pastaza y su comparación con el ladrillo común*. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/33092>
- Galindo, R. (2020). *Porosidad, compacidad y densidad aparente*. http://rafagalindoceramica.com/wp-content/uploads/2021/11/Porosidad_compacidad.pdf
- García, A. (2018). *Algunos conceptos Básicos de la cocción rápida*.
- García, A. (2019). *Mejora del proceso de fabricación de tejas de barro y/o arcilla en la parroquia La Victoria*.
- García, G., & Pañi, L. (2013). *Optimización de la eficiencia energética de la leña (Eucalyptus Globulus) como combustible en un modelo de Horno de ladrillo artesanal, a través del análisis y modificación de las características del Combustible*.
- García, N. (2019). *La Teja Cerámica*. [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/131914/García - La teja cerámica. Origenes%2C análisis y estudios constructivos en Euskadi y la Comunidad V....pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/131914/García%20Origenes%20análisis%20y%20estudios%20constructivos%20en%20Euskadi%20y%20la%20Comunidad%20V...pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Gómez, A., Jiménez, I., Ávila, O., & Reséndiz, C. (2016). *Mejoramiento de la eficiencia térmica de un horno convencional para fabricar ladrillo artesanal*. *Artículo Revista Tecnología e Innovación Diciembre*, 3, 85–94. www.ecorfan.org/bolivia
- Gómez, G., Blanco, E., Acevedo, S., & Guillermo, H. (2017). *Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barichara, Santander*.



- Heeren, V., Hornsby, J., & Miller, C. (2005). *Matemática: Razonamiento Y Aplicaciones* 10/e (10ma ed.).
<https://books.google.com.ec/books?id=uapEWymIU6kC&pg=PA759&dq=diagrama+de+cajas+y+bigotes&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwi377PA sun0AhUiTjABHSWaBesQ6AF6BAgLEAI#v=onepage&q=diagrama%20de%20cajas%20y%20bigotes&f=false>
- Huaccha Holguín, A. L. (2021). *Influencia de la relación caolín/cuarzo/feldespató y temperatura de sinterización sobre la absorción, resistencia a la compresión diametral y densificación de porcelanas*.
<https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/18220/Huaccha%20Holguin.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Instituto de promoción cerámica. (2007). *Expansión por humedad*.
http://www.ipc.org.es/guia_colocacion/info_tec_colocacion/los_materiales/baldosas/caract_fis_qui/expansion_humedad.html
- Llano, E. (2017). *Síntesis y caracterización de cementos activados alcalinamente base metacaolín-escoria granulada de alto horno con adiciones de nanopartículas de TiO₂*.
- Llinas, H., & Rojas, C. (2015). *Estadística descriptiva y distribuciones de probabilidad*.
<https://books.google.com.ec/books?id=43haDwAAQBAJ&pg=PT121&dq=diagrama+de+cajas+y+bigotes&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwi377PA sun0AhUiTjABHSWaBesQ6AF6BAgFEAI#v=onepage&q=diagrama%20de%20cajas%20y%20bigotes&f=true>
- Lujan, M. (2015). *Diseño, Construcción y Evaluación de un Horno (MK3) para la Cocción de Ladrillos Artesanales*.
https://www.researchgate.net/publication/317529334_Disen%C3%B3_Construcci%C3%B3n_y_Evaluaci%C3%B3n_de_un_Horno_MK3_para_la_Coccion_de_Ladrillos_Artesanales
- Molina Martínez, C. (2019). *Caracterización de las materias primas utilizadas en los soportes de baldosas cerámicas en la empresa Eurocerámica S.A.*
http://tesis.udea.edu.co/bitstream/10495/16088/1/MolinaCamilo_2020_CaracterizacionMateriasPrimas.pdf



- Muñoz, J., Muñoz, R., Mancill, P., & Páez, J. (2007). *Estudio del procesamiento cerámico de las arcillas de la vereda “La Codicia” (Guapi, Colombia) para potencializar su uso en la elaboración de piezas cerámicas.*
- Muñoz Molina, D. (2021). *Desarrollo de pasta de china vitrificada con materia prima nacional.* www.udea.edu.co
- Nascimento, J. J. S., de Lima, A. G. B., Teruel, B. J., & Belo, F. A. (2006). Transmisión de Calor y Materia con Reducción de Volumen Durante el Secado de Ladrillos de Cerámica. *Información Tecnológica*, 17(6), 125–132. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642006000600019>
- NTE INEN 986. (1981). *Tejas Cerámicas. Definiciones. Clasificación Y Condiciones Generales.* https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_986.pdf
- NTE INEN 990. (1982). *Tejas cerámicas. Requisitos.* 1–2.
- NTE INEN 3049 Parte 1. (2018). *Ladrillos cerámicos. Parte 1: términos y definiciones, clasificación y requisitos de las dimensiones modulares. 1991*(Adoptado 1991).
- NTE INEN 3049 Parte 3. (2018). *Ladrillos cerámicos. Parte 3: Unidades de mampostería no estructural requisitos. NTE INEN, 1991*(Adoptado 1991).
- Peña, Daniel. (2014). *Fundamentos de estadística.* 688. https://books.google.com/books/about/Fundamentos_de_Estad%C3%ADstica.html?id=z0mUBQAAQBAJ
- Rivera, D. (2019). *Caracterización físico-mecánica de un composite metal cerámico.* <https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/20356/TFM%20DANIEL%20RIVERA.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Rojas, M. (2016). *Secado.* <https://docplayer.es/6674876-Las-variaciones-que-se-producen-durante-el-secado-y-que-son-susceptibles-de-ser-observadas-ocurren-sobre-los-siguientes-parametros.html>
- Singer, F., & Singer, S. (1979). *Cerámica Industrial.* <https://www.casadellibro.com/libro-ceramica-industrial-parte-1/9788431404154/203634>
- Teijeira, T. (2015). *Fiabilidad y sistemas de control en la fabricación de pastas y de productos cerámicos conformados.*



https://www.editorialelearning.com/catalogo/media/iverve/uploadpdf/1526028740_MF0668_3_demo.pdf

Toro, F., Gordillo, M., Delvasto, S., & Savastano, J. H. (2014). Modelación del módulo de la resistencia a la flexión de un material compuesto cementicio a partir de propiedades en estado fresco. *Revista Ingeniería de Construcción*, 29(1), 115–127. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732014000100008>

Uribe, R., Camillo, F., & Lascano, L. (2021). *Minerales arcillosos protocolo especializado de categorización cerámica: una revisión*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8270036>

Vasić, M. v., Pezo, L., Vasić, M. R., Mijatović, N., Mitrić, M., & Radojević, Z. (2020). What is the most relevant method for water absorption determination in ceramic tiles produced by illitic-kaolinitic clays? The mystery behind the gresification diagram. *Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. <https://doi.org/10.1016/J.BSECV.2020.11.006>

Vázquez, E. del C. (2005). *Materiales cerámicos: propiedades, aplicaciones y elaboración*. Universidad Autónoma de México. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ar6MRNYWEsUC&oi=fnd&pg=IA7&dq=vidriado+de+tejas+y+temperatura&ots=vsH-b9Em81&sig=YIchbxE_6ceK4ONaYxlfLSQdyTQ#v=onepage&q&f=true

Verduch, A. G. (1966). *Resistencia mecánica de los áridos ligeros de arcilla*. <http://boletines.secv.es/upload/196605531.pdf>

Villaquirán Caicedo, M. A., Hernández Rengifo, E., Agudelo, K., Arias, J., Viera, M. C. ., Carvajal, D., Villaquirán-Caicedo, M. A., Hernández-Rengifo, E., Agudelo, K., Arias, J., Viera, M. C. ., & Carvajal, D. (2021). Evaluación del desempeño térmico de ladrillos ecoamigables con incorporación de residuos de mullita. *Ingeniería y Desarrollo*, 39(1), 25–43. <https://doi.org/10.14482/INDE.39.1.624.181>

Zambrano Becilla, A. G. (2021). *Diseño de horno a gas para quema de ladrillo, para minimizar la utilización de madera del bosque en el cantón Catamayo, provincia de Loja*. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/53464>



5. ANEXOS

Anexo 1. Método de Absorción de Agua en tejas

Preparación de las muestras:

- La muestra para el ensayo de absorción constará, al menos de cinco tejas enteras, o tres fragmentos representativos de cada una de las cinco. La masa de cada pieza no debe ser menor de 250 g.
- Las tejas enteras o las piezas representativas se desecarán en estufa a 110°C hasta obtener masa constante. Luego se enfriarán a la temperatura ambiente y se volverán a pesar. Si se observa un aumento de masa mayor del 1%, se repetirá la operación.

Procedimiento

Dentro del laboratorio se tomaron muestras de 10 tejas tipo curva y 10 del tipo plana respectivamente para ser cocidas a temperaturas desde los 650°C hasta 1100°C o más, esto en función de alcanzar una temperatura en la cual se puedan cumplir los parámetros de absorción de agua. Cabe mencionar que se hicieron ensayos por duplicado para cada tipo de teja y cada temperatura de cocción.

Una vez preparadas las muestras y anotada su masa constante, se sumergió en agua destilada o de lluvia, cuya temperatura se llevará hasta la ebullición, la cual se mantendrá durante una hora. Dejar enfriar el agua a la temperatura ambiental.

Sacar las muestras del agua y dejar escurrir esta durante un tiempo no mayor a un minuto.

Volver a pesar las muestras húmedas anotando el valor de su masa.



Anexo 2. Método de Absorción de Agua en ladrillos

Preparación, preservación de muestras de ensayos y piezas ensayadas

- Los especímenes para el ensayo de absorción deben estar compuestos por cinco (5) unidades o tres (3) partes o fragmentos representativos de cada una de ellas. Si se usan partes o fragmentos, se toman dos (2) de las paredes y una (1) del núcleo.
- El peso de cada fragmento no debe ser inferior a 250 g.
- Los bordes de los especímenes deben estar libres de partículas sueltas; si se han tomado de especímenes que se han sometido a ensayos de resistencia a la compresión, estos deben estar libres de grietas debidas a fallas durante la compresión.

Procedimiento

Se coció 10 ladrillos por ciclo de cocción, la misma que variaba desde los 650°C hasta los 1100°C en el caso de los ladrillos huecos y, desde los 800°C hasta los 1100°C en el caso de los ladrillos macizos para luego ser ensayados por duplicado (5 unidades por ensayo).

Los especímenes se secan entre 110 °C y 115 °C, en un horno durante 24 h, hasta que en dos pesajes sucesivos a intervalos de 2 h no se presente una pérdida de masa superior al 0,2 % del último peso del espécimen determinado previamente.

Para los ensayos que requieran unidades secas, no se deben utilizar especímenes notablemente calientes al tacto.

Se pesa cada espécimen

Saturación

Se sumergen los especímenes secos y fríos, sin inmersión parcial preliminar, en agua limpia (blanda, destilada o de lluvia) entre 15,5 °C y 30 °C durante 24 h. Se retira el espécimen, se seca el exceso de agua con un paño húmedo y se pesa. El pesaje de cada espécimen se debe hacer antes de que pasen 300 s de retirado del agua.

Expresión de resultados e informe de ensayo



La absorción de cada espécimen se calcula de la siguiente forma:

$$\% \text{ absorción} = \frac{W_{SS} - W_S}{W_{SS}} \times 100$$

donde

W_S es la masa seca del espécimen antes de la inmersión, en g

W_{SS} es la masa sumergida en agua del espécimen saturado luego de inmersión en agua fría, en g.

Se reporta la absorción en agua fría de cada espécimen, con una aproximación del 0,1 %.



Anexo 3. Método de determinación de resistencia mecánica en tejas

Preparación de las muestras:

Se someterán al ensayo por lo menos cinco tejas enteras, desecadas en una estufa entre 110°C y 115°C hasta obtener masa constante.

Sobre el lomo o en la parte central de la muestra se preparará una superficie de 6 x 6 cm, con una capa plana de mortero de yeso calcinado para la aplicación de la carga.

Procedimiento:

Se coloca la muestra de ensayo, con el lomo hacia arriba, centrada sobre cuatro puntos de apoyo, dos en cada extremo o boca.

Se colocan 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.

Se aplica la carga sobre la superficie preparada a la velocidad de 40 a 50 kg/min.

Expresión de resultados

Para obtener el módulo de rotura se aplica la siguiente expresión:

$$MOR = \frac{3 \times P \times L}{2 \times H^2 \times b}$$

Donde P: carga máxima aplicada

L: distancia entre los apoyos

H: es el espesor mínimo de la muestra

B: ancho de la muestra correspondiente al módulo de rotura (Toro et al., 2014).



Anexo 4. Método de determinación de resistencia mecánica en ladrillos.

Procedimiento

Se ensayan los especímenes en una posición tal que la carga sea aplicada en la dirección en que van a estar puestos en servicio.

Los especímenes se centran bajo el soporte esférico superior con una tolerancia de 1,6mm.

Requerimientos para ensayo a la compresión:

- La máquina de ensayos debe cumplir con lo establecido en ISO 7500-1 para Clase
- La máquina de ensayo debe tener una precisión de $\pm 1,0\%$ sobre el rango provisto de carga, el soporte superior debe estar provisto de una rótula esférica con un bloque de metal endurecido, firmemente fijado al centro de la cabeza superior de la máquina. El centro de la esfera debe descansar en el centro de la superficie del bloque metálico en contacto con el espécimen. Este bloque debe ser sostenido lo más cerca posible en el asiento esférico, pero debe estar libre para bascular en un ángulo de aproximadamente 3° en cualquier dirección para permitir especímenes cuyas superficies no sean exactamente paralelas,
- La máquina de ensayo debe estar equipada con una rótula cuyo diámetro debe ser al menos 125 mm
- Las superficies de los bloques de carga que estarán en contacto con el espécimen deben tener una dureza mayor o igual a 55 HRC.
- Si las superficies que servirán para aplicar la carga durante el ensayo de compresión presentan salientes o reentrantes, estas se deben rellenar con morteros compuestos por una parte en peso de cemento de endurecimiento rápido de acuerdo con los requisitos para cemento de NTE INEN 152, NTE INEN 490 o NTE INEN 2380 y dos partes por peso de arena.

Velocidad de aplicación de la carga

Se debe aplicar la carga con una velocidad adecuada hasta la mitad de la máxima esperada de acuerdo con el estimativo previsto para el producto o en su defecto con base en el requisito de resistencia propio de él, acorde a la norma respectiva.



Luego de aplicada esta carga inicial, se deben ajustar los controles de la máquina de tal forma que la carga faltante se aplique a una velocidad uniforme en no menos de 60 s ni más de 120 s.

5.2.4 Expresión de resultados e informe de ensayo

Se debe calcular la resistencia a la compresión de cada espécimen como se indica a continuación

$$\text{Resistencia a la Compresión} = \frac{W}{A}$$

Donde : W: es la carga máxima aplicada

A: es el promedio de las áreas brutas de las superficies superior e inferior del espécimen (Norma NTE INEN 3049 Parte 3, 2018).



Anexo 5. Registro fotográfico de análisis de humedad



**Anexo 6. Resultados de absorción de tejas planas Tipo B**

TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN	PESO DE ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	PROMEDIO DE ABSORCION
650	1.1	844,5	986	16,76	16,35	16,41
	1.2	857,4	994,9	16,04		
	1.3	863,1	1002,9	16,20		
	1.4	860,8	1002,8	16,50		
	1.5	874,1	1016,1	16,25		
	2.1	858,9	999,8	16,40	16,48	
	2.2	873,4	1014,5	16,16		
	2.3	859,6	1002,5	16,62		
	2.4	867,3	1009,2	16,36		
	2.5	866	1012,1	16,87		
700	1.1	869,4	1018,6	17,16	16,94	16,77
	1.2	864,6	1013,8	17,26		
	1.3	868,3	1012,6	16,62		
	1.4	854	995,8	16,60		
	1.5	864,6	1012,2	17,07		
	2.1	868,1	1009,9	16,33	16,59	
	2.2	855,8	1001,3	17,00		
	2.3	883,5	1025,5	16,07		



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN	PESO DE ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	PROMEDIO DE ABSORCION
	2.4	858	1000,8	16,64		
	2.5	859	1004,1	16,89		
750	1.1	886	1030,9	16,35	16,16	15,92
	1.2	871,9	1013,0	16,18		
	1.3	886,7	1033,3	16,53		
	1.4	871,7	1012,6	16,16		
	1.5	862,3	996,6	15,57	15,69	
	2.1	870,2	1003,6	15,33		
	2.2	883,1	1021,6	15,68		
	2.3	885,9	1025,5	15,76		
	2.4	888,5	1028,3	15,73		
	2.5	886,9	1028,2	15,93		
800	1.1	877,7	1017,4	15,92	15,66	15,75
	1.2	857,3	989,8	15,46		
	1.3	888,5	1028,6	15,77		
	1.4	868,3	1003,3	15,55		
	1.5	868	1003,5	15,61	15,84	
	2.1	866,7	1002,1	15,62		
	2.2	890	1032,1	15,97		



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN	PESO DE ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	PROMEDIO DE ABSORCION
	2.3	869,7	1008,3	15,94		
	2.4	885,2	1027,7	16,10		
	2.5	873,7	1010,0	15,60		
850	1.1	851	985,5	15,80	15,65	15,86
	1.2	869,3	1004,7	15,58		
	1.3	850,1	982,5	15,57		
	1.4	866,5	1002,5	15,70		
	1.5	851,8	984,5	15,58	16,07	
	2.1	868	1004,8	15,76		
	2.2	870,3	1010,4	16,10		
	2.3	885,4	1029,3	16,25		
	2.4	874,7	1015	16,04		
	2.5	887,1	1030,7	16,19		
900	1.1	853,4	985,7	15,50	16,65	16,29
	1.2	826,6	998,4	20,78		
	1.3	855,6	989	15,59		
	1.4	859,4	992,8	15,52		
	1.5	868,2	1005,8	15,85		
	2.1	868,2	1004,7	15,72	15,94	



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN	PESO DE ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	PROMEDIO DE ABSORCION
	2.2	882,6	1024,8	16,11		
	2.3	882,8	1025,1	16,12		
	2.4	877,1	1015,8	15,81		
	2.5	869,3	1007,8	15,93		
950	1.1	845,8	980,9	15,97	15,92	15,95
	1.2	847,6	981,3	15,77		
	1.3	859	995,2	15,86		
	1.4	861,6	998,2	15,85		
	1.5	859,9	998,7	16,14	15,98	
	2.1	869,9	1012,5	16,39		
	2.2	862,2	1000,1	15,99		
	2.3	851,3	985,8	15,80		
	2.4	856	992,7	15,97		
	2.5	848,4	981,9	15,74		
1000	1.1	897,5	1037,7	15,62	15,29	15,60
	1.2	889,5	1027,5	15,51		
	1.3	862,7	995,7	15,42		
	1.4	882,7	1012,1	14,66		
	1.5	849,3	978,7	15,24		



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN	PESO DE ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	PROMEDIO DE ABSORCION
	2.1	856,9	987,5	15,24	15,92	
	2.2	894,1	1038,5	16,15		
	2.3	848,8	981,5	15,63		
	2.4	868,6	1010,5	16,34		
	2.5	861,3	1001,0	16,22		

**Anexo 7. Resultados obtenidos de tejas plana vidriadas tipo D**

TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN DE VIDRIADO	PESO DE ABSORCIÓN DE TEJA VIDRIADA	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN PROMEDIO	PROMEDIO DE ABSORCIÓN
750	1.1	893,7	1028	15,03	15,02	15,62
	1.2	878,3	1006,0	14,54		
	1.3	926	1066,2	15,14		
	1.4	906,4	1045,2	15,31		
	1.5	887,2	1021,1	15,09		
	2.1	892,2	1038,8	16,43	16,21	
	2.2	887,4	1036,5	16,80		
	2.3	870,7	1011,3	16,15		
	2.4	878,6	1016,5	15,70		
	2.5	892,2	1034,6	15,96		
800	1.1	890,8	1035,9	16,29	16,28	15,95
	1.2	862,8	1001,2	16,04		
	1.3	895,5	1044	16,58		
	1.4	874,4	1016,4	16,24		
	1.5	878,7	1021,4	16,24		
	2.1	877,9	1014	15,50	15,61	
	2.2	900,5	1043,5	15,88		



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN DE VIDRIADO	PESO DE ABSORCIÓN DE TEJADA VIDRIADA	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN PROMEDIO	PROMEDIO DE ABSORCIÓN
	2.3	882	1019,1	15,54		
	2.4	896,9	1038,6	15,80		
	2.5	883,7	1019,2	15,33		
850	1.1	865,2	1000,1	15,59	15,47	15,59
	1.2	883,8	1020,1	15,42		
	1.3	862,5	995,3	15,40		
	1.4	881	1017,7	15,52		
	1.5	863,7	996,9	15,42	15,71	
	2.1	880,5	1018,1	15,63		
	2.2	884,3	1024,1	15,81		
	2.3	873,6	1010,9	15,72		
	2.4	887,9	1026,2	15,58		
	2.5	901,5	1044,3	15,84		
900	1.1	872,3	1005,6	15,28	15,46	15,54
	1.2	877,7	1014,5	15,59		
	1.3	872,3	1007,1	15,45		
	1.4	876,2	1010,7	15,35		



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN DE VIDRIADO	PESO DE ABSORCIÓN DE TEJA VIDRIADA	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN PROMEDIO	PROMEDIO DE ABSORCIÓN
	1.5	887,3	1026	15,63	15,61	
	2.1	887,6	1025,7	15,56		
	2.2	903,8	1045,4	15,67		
	2.3	904,3	1048	15,89		
	2.4	898,4	1038,1	15,55		
	2.5	888,5	1025,4	15,41		
950	1.1	891,7	1022,5	14,67	14,96	14,78
	1.2	873,5	1003,4	14,87		
	1.3	891,6	1025,8	15,05		
	1.4	891	1025,2	15,06		
	1.5	899,1	1035,5	15,17		
	2.1	914	1052,7	15,18	14,59	
	2.2	913,4	1045,2	14,43		
	2.3	895,1	1025,1	14,52		
	2.4	902,2	1032,9	14,49		
	2.5	897,3	1026	14,34		
1000	1.1	959,6	1095,4	14,15	14,15	



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN DE VIDRIADO	PESO DE ABSORCIÓN DE TEJADA VIDRIADA	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN PROMEDIO	PROMEDIO DE ABSORCIÓN
	1.2	951,8	1086,2	14,12	14,57	14,36
	1.3	929,7	1059,1	13,92		
	1.4	898,2	1025	14,12		
	1.5	871,8	997,8	14,45		
	2.1	911,5	1036,8	13,75		
	2.2	954,4	1091,8	14,40		
	2.3	905	1036,4	14,52		
	2.4	924,7	1065,7	15,25		
	2.5	926,8	1065,2	14,93		
	1025	1.1	907,5	1018,8		
1.2		899,4	1012,6	12,59		
1.3		887,6	1007,6	13,52		
1.4		890	1012,3	13,74		
1.5		900,2	1023,3	13,67		
2.1		868,4	987,4	13,70		
2.2		897,7	1024,4	14,11		
2.3		878,2	996,2	13,44		



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN DE VIDRIADO	PESO DE ABSORCIÓN DE TEJA VIDRIADA	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN PROMEDIO	PROMEDIO DE ABSORCIÓN
	2.4	866,6	981,5	13,26		
	2.5	874,5	990,7	13,29		
1050	1.1	903,3	1032,3	14,28	13,38	12,90
	1.2	878,2	996,4	13,46		
	1.3	862,9	976,6	13,18		
	1.4	867,6	981,4	13,12		
	1.5	902,8	1018,8	12,85		
	2.1	890,2	997,4	12,04	12,43	
	2.2	869	981,0	12,89		
	2.3	879,9	993,9	12,96		
	2.4	890	981,4	10,27		
	2.5	878,2	1001,1	13,99		
1100	1.1	886,8	996,6	12,38	11,42	11,49
	1.2	891	985,5	10,61		
	1.3	886,2	989,4	11,65		
	1.4	880,7	980,9	11,38		
	1.5	878,4	976	11,11		



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN DE VIDRIADO	PESO DE ABSORCIÓN DE TEJA VIDRIADA	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN PROMEDIO	PROMEDIO DE ABSORCIÓN
	2.1	859,2	957,3	11,42	11,55	
	2.2	863,6	962,1	11,41		
	2.3	879	978,6	11,33		
	2.4	870	973	11,84		
	2.5	864,8	966,6	11,77		
1150	1.1	874,7	968,1	10,68	10,76	10,84
	1.2	881,4	974,9	10,61		
	1.3	867,6	960,7	10,73		
	1.4	883,5	979,1	10,82		
	1.5	890,1	987,7	10,97		
	2.1	875,5	972,4	11,07	10,91	
	2.2	870,4	969,0	11,33		
	2.3	880,5	969,5	10,11		
	2.4	890,1	986,2	10,80		
	2.5	876,6	975,3	11,26		

**Anexo 8. Resultados de Absorción de Agua para tejas tipo curva Tipo A**

TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN	PESO DE ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	PROMEDIO DE ABSORCIÓN
650	1.1	830,5	966,9	16,42	16,57	16,52
	1.2	838,8	975,6	16,31		
	1.3	846	982,7	16,16		
	1.4	926,7	1081,9	16,75		
	1.5	944,6	1107,4	17,23		
	2.1	834,2	969,8	16,26	16,46	
	2.2	840,4	980,1	16,62		
	2.3	839,1	977,6	16,51		
	2.4	820,8	957,6	16,67		
	2.5	837,1	973	16,23		
700	1.1	838,9	982,7	17,14	16,17	16,33
	1.2	828,1	960,0	15,93		
	1.3	837,4	970	15,83		
	1.4	825,5	956,5	15,87		
	1.5	824,8	957,4	16,08		
	2.1	832,6	969,7	16,47	16,48	
	2.2	843,4	980,6	16,27		
	2.3	837,4	972,9	16,18		



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN	PESO DE ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	PROMEDIO DE ABSORCIÓN
	2.4	826	964,6	16,78		
	2.5	843,3	984,2	16,71		
750	1.1	940,4	1090,2	15,93	16,11	16,08
	1.2	837,9	973,7	16,21		
	1.3	947,2	1098,7	15,99		
	1.4	825,7	960,3	16,30		
	1.5	953,4	1101,3		16,06	
	2.1	950,9	1102,7	15,96		
	2.2	934,2	1084,7	16,11		
	2.3	936,3	1087,7	16,17		
	2.4	937,9	1089,1	16,12		
	2.5	932,2	1080,6	15,92		
800	1.1	968,4	1123,5	16,02	16,52	16,60
	1.2	942,8	1093,6	15,99		
	1.3	937,2	1093	16,62		
	1.4	932,9	1089,2	16,75		
	1.5	822,1	963,6	17,21		
	2.1	944,4	1095,6	16,01	16,69	
	2.2	846,3	988,1	16,76		



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN	PESO DE ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	PROMEDIO DE ABSORCIÓN
	2.3	822	964,6	17,35		
	2.4	830,7	970	16,77		
	2.5	835,4	973,6	16,54		
850	1.1	845,5	980	15,91	15,44	15,43
	1.2	824,6	956,8	16,03		
	1.3	849,1	976,9	15,05		
	1.4	937,1	1077,8	15,01		
	1.5	935,9	1078,3	15,22	15,42	
	2.1	948,9	1094	15,29		
	2.2	829,8	961,0	15,81		
	2.3	838,6	965,6	15,14		
	2.4	924,4	1066,7	15,39		
	2.5	923,6	1066,3	15,45		
900	1.1	911,7	1053,6	15,56	15,56	15,90
	1.2	828,5	957,0	15,51		
	1.3	824,5	957	16,07		
	1.4	923,6	1067,5	15,58		
	1.5	938,8	1080,4	15,08		
	2.1	939,3	1091,7	16,22	16,23	



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN	PESO DE ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	PROMEDIO DE ABSORCIÓN
	2.2	940,1	1092,0	16,16		
	2.3	928,7	1078,4	16,12		
	2.4	928,4	1082,9	16,64		
	2.5	905,1	1050,1	16,02		
950	1.1	929,3	1083,4	16,58	16,33	16,16
	1.2	912,0	1058,9	16,11		
	1.3	916,2	1067,3	16,49		
	1.4	916,7	1066,8	16,37		
	1.5	918,6	1066,4	16,09		
	2.1	909	1055,2	16,08	16,00	
	2.2	825,8	965,2	16,88		
	2.3	836,8	969,3	15,83		
	2.4	924,1	1067,8	15,55		
	2.5	926,1	1071,0	15,65		
1000	1.1	936,4	1077,2	15,04	15,22	15,22
	1.2	955,1	1097,7	14,93		
	1.3	926,4	1068,2	15,31		
	1.4	932,6	1075,8	15,35		
	1.5	934,3	1078,7	15,46		



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN	PESO DE ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	PROMEDIO DE ABSORCIÓN
	2.1	944,5	1090,2	15,43	15,23	
	2.2	919,8	1062,3	15,49		
	2.3	931,5	1074,9	15,39		
	2.4	942,2	1083,2	14,96		
	2.5	940,3	1080,0	14,86		

**Anexo 9. Resultados de absorción de agua para tejas curva vidriadas tipo C**

TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN DE VIDRIADO	PESO DE ABSORCIÓN DE TEJA VIDRIADA	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN PROMEDIO	PROMEDIO DE ABSORCIÓN
750	1.1	948,4	1099,2	15,90	15,85	15,95
	1.2	846,1	979,5	15,77		
	1.3	955,9	1107,3	15,84		
	1.4	833,7	968	16,11		
	1.5	960,5	1110,8	15,65		
	2.1	957,6	1112,1	16,13	16,06	
	2.2	941,6	1092,8	16,06		
	2.3	945,4	1097,4	16,08		
	2.4	946,3	1098,5	16,08		
	2.5	939,5	1089,2	15,93		
800	1.1	976,3	1128,9	15,63	16,09	16,15
	1.2	951,3	1100,7	15,70		
	1.3	944,4	1098	16,26		
	1.4	940,9	1093,8	16,25		
	1.5	830,2	968	16,60		
	2.1	951,8	1098,9	15,45	16,21	
	2.2	853,2	991,8	16,24		



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN DE VIDRIADO	PESO DE ABSORCIÓN DE TEJADA VIDRIADA	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN PROMEDIO	PROMEDIO DE ABSORCIÓN
	2.3	829,2	969,9	16,97		
	2.4	844,4	981,4	16,22		
	2.5	841,6	977,7	16,17		
850	1.1	936,8	1085,7	15,89	15,73	15,73
	1.2	831,1	967,4	16,40		
	1.3	855,9	987,7	15,40		
	1.4	944,6	1088,9	15,28		
	1.5	943,3	1091	15,66	15,73	
	2.1	954,9	1103,2	15,53		
	2.2	836	971,1	16,16		
	2.3	846,5	977,1	15,43		
	2.4	930,3	1075,5	15,61		
	2.5	927,3	1075,1	15,94		
900	1.1	931,2	1075,2	15,46	15,48	15,44
	1.2	846,6	976,2	15,31		
	1.3	844,4	979,5	16,00		
	1.4	942,5	1088,4	15,48		



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN DE VIDRIADO	PESO DE ABSORCIÓN DE TEJA VIDRIADA	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN PROMEDIO	PROMEDIO DE ABSORCIÓN
	1.5	958,1	1103,4	15,17	15,40	
	2.1	965,2	1111,7	15,18		
	2.2	961,2	1108,3	15,30		
	2.3	950,5	1095,4	15,24		
	2.4	956,6	1109,3	15,96		
	2.5	925,4	1066,9	15,29		
950	1.1	967,6	1118,2	15,56	15,19	15,10
	1.2	948	1091,2	15,11		
	1.3	958,1	1104,2	15,25		
	1.4	955,4	1099,8	15,11		
	1.5	956,9	1099,7	14,92		
	2.1	948,1	1091,3	15,10	15,00	
	2.2	866,4	1004,4	15,93		
	2.3	875,9	1005,4	14,78		
	2.4	965,5	1106,3	14,58		
	2.5	967,1	1108,4	14,61		
1000	1.1	946,3	1084,5	14,60	14,68	14,57



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN DE VIDRIADO	PESO DE ABSORCIÓN DE TEJADA VIDRIADA	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN PROMEDIO	PROMEDIO DE ABSORCIÓN
	1.2	965	1104,0	14,40	14,46	
	1.3	934,9	1074,3	14,91		
	1.4	941,5	1079,6	14,67		
	1.5	944,8	1084,8	14,82		
	2.1	953,5	1093,2	14,65		
	2.2	930,5	1065,7	14,53		
	2.3	946	1083,6	14,55		
	2.4	954,4	1090,6	14,27		
	2.5	951,8	1088,1	14,32		
	1050	1.1	931,8	1057,5		
1.2		952,7	1084,7	13,86		
1.3		948,9	1083	14,13		
1.4		963,9	1094,3	13,53		
1.5		981,3	1117,1	13,84		
2.1		930,8	1053,8	13,21	13,53	
2.2		937	1059,0	13,02		
2.3		943,4	1069,1	13,32		



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN DE VIDRIADO	PESO DE ABSORCIÓN DE TEJADA VIDRIADA	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN PROMEDIO	PROMEDIO DE ABSORCIÓN
	2.4	931,6	1063,4	14,15		
	2.5	950,4	1082,7	13,92		
1100	1.1	960,9	1077,5	12,13	12,34	12,18
	1.2	950,4	1068,4	12,42		
	1.3	952,4	1072,4	12,60		
	1.4	959,4	1079,7	12,54		
	1.5	950,2	1064,3	12,01	12,02	
	2.1	948,3	1062,7	12,06		
	2.2	953,2	1070,6	12,32		
	2.3	941,7	1048,1	11,30		
	2.4	936,2	1050,1	12,17		
	2.5	949,8	1066,4	12,28		
1150	1.1	964,5	1075,6	11,52	11,17	11,21
	1.2	963	1075,2	11,65		
	1.3	953,4	1061,9	11,38		
	1.4	954,1	1055,9	10,67		
	1.5	947,5	1048,2	10,63		



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN DE VIDRIADO	PESO DE ABSORCIÓN DE TEJA VIDRIADA	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN PROMEDIO	PROMEDIO DE ABSORCIÓN
	2.1	938,2	1053,4	12,28	11,25	
	2.2	946,5	1047,8	10,70		
	2.3	938,8	1040	10,78		
	2.4	951,2	1053,6	10,77		
	2.5	963,3	1076	11,70		

**Anexo 10. Resultados obtenidos de absorción de Agua en ladrillos de perforación Horizontal**

TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN	PESO DE ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	PROMEDIO DE ABSORCION
650	1.1	4807,2	5709,5	18,77	18,83	18,81
	1.2	4776,8	5679,3	18,89		
	1.3	4804,2	5699,8	18,64		
	1.4	4828,1	5744,1	18,97		
	1.5	4831,1	5743,2	18,88		
	2.1	4842,1	5748,4	18,72	18,78	
	2.2	4778,7	5680,3	18,87		
	2.3	4808,8	5725,3	19,06		
	2.4	4827,3	5722	18,53		
	2.5	4806,9	5706,8	18,72		
700	1.1	4831,5	5731,9	18,64	18,66	18,70
	1.2	4792,5	5694,6	18,82		
	1.3	4802	5680,6	18,30		
	1.4	4722,7	5629	19,19		
	1.5	4828,3	5713,4	18,33		
	2.1	4719,5	5624	19,17	18,75	
	2.2	4811,1	5705,8	18,60		
	2.3	4718,8	5622,1	19,14		



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN	PESO DE ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	PROMEDIO DE ABSORCION
	2.4	4817,4	5705,9	18,44		
	2.5	4788,6	5669	18,39		
750	1.1	4752,8	5651,1	18,90	18,62	18,60
	1.2	4802,4	5684	18,36		
	1.3	4786,2	5670,6	18,48		
	1.4	4794,5	5695,9	18,80		
	1.5	4818,1	5712,9	18,57	18,57	
	2.1	4777,5	5654,8	18,36		
	2.2	4797	5682,2	18,45		
	2.3	4806,6	5703,3	18,66		
	2.4	4816,4	5724,7	18,86		
	2.5	4832,6	5728,5	18,54		
800	1.1	4840,3	5752	18,84	19,04	18,90
	1.2	4739,3	5659,4	19,41		
	1.3	4814,1	5717,7	18,77		
	1.4	4708,8	5621,1	19,37		
	1.5	4859,7	5773,8	18,81		
	2.1	4727,2	5645,6	19,43	18,76	
	2.2	4705	5588,1	18,77		
	2.3	4824,3	5719,8	18,56		



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN	PESO DE ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	PROMEDIO DE ABSORCION
	2.4	4794,1	5690,4	18,70		
	2.5	4835,1	5722,8	18,36		
850	1.1	4813,2	5706,6	18,56	18,78	18,78
	1.2	4798	5681,1	18,41		
	1.3	4687	5601,3	19,51		
	1.4	4821,5	5729,7	18,84		
	1.5	4799,3	5692,6	18,61	18,78	
	2.1	4628,4	5527,8	19,43		
	2.2	4821,5	5711,8	18,47		
	2.3	4780	5675,9	18,74		
	2.4	4793,7	5686,9	18,63		
	2.5	4785	5676	18,62		
900	1.1	4755,9	5626,3	18,30	18,29	18,33
	1.2	4769,5	5634,5	18,14		
	1.3	4796,8	5682,3	18,46		
	1.4	4792,7	5673,1	18,37		
	1.5	4763,1	5628,9	18,18	18,37	
	2.1	4758,5	5629,4	18,30		
	2.2	4765,3	5654,7	18,66		
	2.3	4756,8	5621,6	18,18		



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN	PESO DE ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	PROMEDIO DE ABSORCION
	2.4	4745,7	5614,1	18,30		
	2.5	4806,7	5690,9	18,40		
950	1.1	4755,8	5649,1	18,77	18,14	18,01
	1.2	4740,8	5579,4	17,69		
	1.3	4741,9	5589,3	17,87		
	1.4	4821,5	5676,3	17,73		
	1.5	4719,1	5597,7	18,62	17,88	
	2.1	4767,9	5635	18,19		
	2.2	4747,4	5592,1	17,79		
	2.3	4765,6	5609,5	17,71		
	2.4	4759,9	5609,3	17,84		
	2.5	4772,7	5626,1	17,88		
1000	1.1	4819,8	5645,7	17,14	17,25	17,37
	1.2	4770,4	5598,7	17,36		
	1.3	4735,6	5559,9	17,41		
	1.4	4788,9	5624,5	17,45		
	1.5	4754,2	5558,6	16,92		
	2.1	4811,2	5633,1	17,08	17,49	
	2.2	4697,2	5547,1	18,09		
	2.3	4781,2	5618	17,50		



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN	PESO DE ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	PROMEDIO DE ABSORCION
	2.4	4786,9	5619,4	17,39		
	2.5	4748,4	5574,2	17,39		
1025	1.1	4783,9	5567,4	16,38	16,72	16,73
	1.2	4784,0	5579,2	16,62		
	1.3	4761,8	5538,3	16,31		
	1.4	4741,9	5537,8	16,78		
	1.5	4690,3	5512,6	17,53		
	2.1	4749	5533,5	16,52	16,74	
	2.2	4720,5	5527,5	17,10		
	2.3	4768,9	5581,4	17,04		
	2.4	4790,3	5581,4	16,51		
	2.5	4774	5562,6	16,52		
1050	1.1	4742,5	5532,6	16,66	15,24	15,36
	1.2	4755,3	5474,2	15,12		
	1.3	4766	5478,5	14,95		
	1.4	4790,3	5468,8	14,16		
	1.5	4770,9	5500,2	15,29		
	2.1	4782,2	5524,7	15,53	15,49	
	2.2	4735,8	5474,6	15,60		
	2.3	4791,6	5545,4	15,73		



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN	PESO DE ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	PROMEDIO DE ABSORCION
	2.4	4760,6	5498	15,49		
	2.5	4738,2	5453,0	15,09		

**Anexo 11. Resultados obtenidos de Absorción de Agua de ladrillos macizos**

TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN	PESO DE ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	PROMEDIO DE ABSORCIÓN
850	1.1	3917,9	4773,9	21,8%	20,32%	20,32%
	1.2	3949,3	4704	19,1%		
	1.3	3803,4	4604	21,0%		
	1.4	3942,9	4750,4	20,5%		
	1.5	3747,6	4463,9	19,1%		
900	1.1	3930,7	4703,9	19,7%	20,13%	20,13%
	1.2	3928,3	4730,5	20,4%		
	1.3	3954,1	4770	20,6%		
	1.4	3806,7	4578,2	20,3%		
	1.5	3733,1	4466,3	19,6%		
950	1.1	3978	4788,5	20,4%	19,40%	19,37%
	1.2	3837,3	4589,7	19,6%		
	1.3	3795,8	4516	19,0%		
	1.4	3773,4	4482,9	18,8%		
	1.5	3788,3	4517,4	19,2%		
	2.1	3890,3	4648,2	19,5%	19,34%	
	2.2	3828,1	4561,4	19,2%		
	2.3	3806,6	4560,3	19,8%		



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN	PESO DE ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	PROMEDIO DE ABSORCIÓN
	2.4	3720	4429,7	19,1%		
	2.5	3773	4496,6	19,2%		
1000	1.1	3907,7	4602,7	17,8%	17,84%	18,05%
	1.2	3926,1	4611,1	17,4%		
	1.3	3885,4	4587,9	18,1%		
	1.4	3908,6	4608,9	17,9%		
	1.5	3765,9	4442,7	18,0%	18,3%	
	2.1	3798,9	4487,3	18,1%		
	2.2	3798,9	4487,3	18,9%		
	2.3	3798,9	4487,3	18,0%		
	2.4	3798,9	4487,3	18,6%		
	2.5	3798,9	4487,3	17,7%		
1025	1.1	3925,3	4651,8	18,5%	18,19%	18,05%
	1.2	3984,1	4706,3	18,1%		
	1.3	3850	4563,9	18,5%		
	1.4	3935,5	4660,5	18,4%		
	1.5	3867,9	4539,9	17,4%		
	2.1	3875,1	4587,9	18,4%	17,90%	
	2.2	3979,5	4710,9	18,4%		



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN	PESO DE ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	PROMEDIO DE ABSORCIÓN
	2.3	3877,4	4540	17,1%		
	2.4	3809,8	4517,5	18,6%		
	2.5	4046,9	4737,9	17,1%		
1050	1.1	3962,8	4646,7	17,3%	17,01%	16,93%
	1.2	3905,4	4570,4	17,0%		
	1.3	3970,5	4621,4	16,4%		
	1.4	3820,9	4470,3	17,0%		
	1.5	4026,7	4727,2	17,4%	16,85%	
	2.1	3838,2	4472,7	16,5%		
	2.2	3887,1	4548,6	17,0%		
	2.3	3804,1	4451,4	17,0%		
	2.4	3917,7	4601,2	17,4%		
	2.5	3826,1	4448,1	16,3%		
1100	1.1	3784,6	4425,9	16,9%	16,73%	16,52%
	1.2	3907,5	4553,4	16,5%		
	1.3	3777,7	4415	16,9%		
	1.4	3795,2	4399,3	15,9%		
	1.5	3768,3	4423,3	17,4%		
	2.1	3986,8	4622,1	15,9%	16,31%	



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	PESO DESPUES DE LA COCCIÓN	PESO DE ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	% ABSORCIÓN	PROMEDIO DE ABSORCIÓN
	2.2	3854,9	4491	16,5%		
	2.3	3866,2	4503,1	16,5%		
	2.4	3924,4	4567	16,4%		
	2.5	3852,7	4478,6	16,2%		

**Anexo 12. Resultados de resistencia mecánica de tejas planas sin vidriar tipo B**

TEMPERATURA	CODIGO	Fuerza máxima	Promedio de Carga en Kgf	Carga en KN	distancia entre apoyos en cm	Anchura de la Probeta	Espe sor de la mues tra	Espes or de la muest ra al cuadrado	RESISTENCIA A LA FLEXION En Kgf/cm2	Promedio
650	1.1	122	101,6	0,99	29	18	0,8	0,64	460,68	383,65
650	1.2	97			29	18	0,8	0,64	366,28	
650	1.3	87			29	18	0,8	0,64	328,52	
650	1.4	90			29	18	0,8	0,64	339,84	
650	1.5	112			29	18	0,8	0,64	422,92	
700	1.1	153	129,8	1,27	29	18	0,8	0,64	577,73	490,13
700	1.2	94			29	18	0,8	0,64	354,95	
700	1.3	155			29	18	0,8	0,64	585,29	
700	1.4	107			29	18	0,8	0,64	404,04	
700	1.5	140			29	18	0,8	0,64	528,65	
750	1.1	96	101	0,99	29	18	0,8	0,64	362,50	381,38
750	1.2	106			29	18	0,8	0,64	400,26	
750	1.3	121			29	18	0,8	0,64	456,90	
750	1.4	102			29	18	0,8	0,64	385,16	
750	1.5	80			29	18	0,8	0,64	302,08	
800	1.1	116	112,2		29	18	0,8	0,64	438,02	



800	1.2	110		1,1 0	29	18	0,8	0,64	415,36	423, 67
800	1.3	116			29	18	0,8	0,64	438,02	
800	1.4	116			29	18	0,8	0,64	438,02	
800	1.5	103			29	18	0,8	0,64	388,93	
850	1.1	104	117,2	1,1 4	29	18	0,8	0,64	392,71	442, 55
850	1.2	125			29	18	0,8	0,64	472,01	
850	1.3	142			29	18	0,8	0,64	536,20	
850	1.4	110			29	18	0,8	0,64	415,36	
850	1.5	105			29	18	0,8	0,64	396,48	
900	1.1	120	124,8	1,2 2	29	18	0,8	0,64	453,13	471, 25
900	1.2	135			29	18	0,8	0,64	509,77	
900	1.3	127			29	18	0,8	0,64	479,56	
900	1.4	117			29	18	0,8	0,64	441,80	
900	1.5	125			29	18	0,8	0,64	472,01	

**Anexo 13. Resultados de resistencia mecánica de tejas planas vidriadas tipo D**

TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	Carga Máxima empleada EN Kgf	Promedio de Carga en Kgf	Carga en KN	Distancia entre apoyos en cm	Ancho de la teja	Espesor de la muestra	Espesor de la muestra al cuadrado	RESISTENCIA A LA FLEXION En Kgf/cm2	Promedio
750	1.1	104	120,2	1,18	29	16,3	0,8	0,64	433,67	500,14
	1.2	160			29	16,3	0,8	0,64	667,18	
	1.3	116			29	16,4	0,8	0,64	480,75	
	1.4	125			29	16,3	0,8	0,64	521,23	
	1.5	96			29	16,4	0,8	0,64	397,87	
800	1.1	146	122	1,20	29	16,3	0,8	0,64	608,80	533,94
	1.2	99			29	16,2	0,7	0,49	542,52	
	1.3	115			29	16,3	0,8	0,64	479,53	
	1.4	107			29	16,3	0,8	0,64	446,18	
	1.5	143			29	16,4	0,8	0,64	592,65	



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	Carga Máxima empleada EN Kgf	Promedio de Carga en Kgf	Carga en KN	Distancia entre apoyos en cm	Ancoraje de la teja	Espesor de la muestra	Espesor de la muestra al cuadrado	RESISTENCIA A LA FLEXION En Kgf/cm2	Promedio
850	1.1	78	89,2	0,87	29	16,3	0,8	0,64	325,25	396,11
	1.2	93			29	16,4	0,8	0,64	385,43	
	1.3	87			29	16,3	0,8	0,64	362,78	
	1.4	94			29	16,2	0,7	0,49	515,12	
	1.5	94			29	16,3	0,8	0,64	391,97	
900	1.1	113	117	1,15	29	16,3	0,8	0,64	471,19	608,14
	1.2	108			29	16,2	0,7	0,49	591,84	
	1.3	142			29	16,4	0,6	0,36	1046,24	
	1.4	102			29	16,2	0,8	0,64	427,95	
	1.5	120			29	16,2	0,8	0,64	503,47	



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	Carga Máxima empleada EN Kgf	Promedio de Carga en Kgf	Carga en KN	Distancia entre apoyos en cm	Ancoraje de la teja	Espesor de la muestra	Espesor de la muestra al cuadrado	RESISTENCIA A LA FLEXION En Kgf/cm2	Promedio
950	1.1	67	79,8	0,78	29	16,3	0,7	0,49	364,91	365,20
	1.2	57			29	16,1	0,7	0,49	314,30	
	1.3	77			29	16,3	0,8	0,64	321,08	
	1.4	98			29	16,4	0,8	0,64	406,15	
	1.5	100			29	16,2	0,8	0,64	419,56	
1000	1.1	90	90,8	0,89	29	16,3	0,8	0,64	375,29	363,81
	1.2	97			29	16,4	0,8	0,64	402,01	
	1.3	69			29	16	0,8	0,64	293,12	
	1.4	110			29	16,3	0,8	0,64	458,68	
	1.5	88			29	16,3	0,9	0,81	289,93	
1025	1.1	130	120,2	1,18	29	16,5	0,8	0,64	535,51	



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	Carga Máxima empleada EN Kgf	Promedio de Carga en Kgf	Carga en KN	Distancia entre apoyos en cm	Ancoraje de la teja	Espesor de la muestra	Espesor de la muestra al cuadrado	RESISTENCIA A LA FLEXION En Kgf/cm2	Promedio
	1.2	113			29	16,4	0,8	0,64	468,32	557,96
	1.3	111			29	16,3	0,7	0,49	604,54	
	1.4	131			29	16,2	0,8	0,64	549,62	
	1.5	116			29	16,3	0,7	0,49	631,78	
1050	1.1	79	93	0,91	29	16	0,7	0,49	438,33	462,47
	1.2	99			29	16	0,7	0,49	549,30	
	1.3	81			29	15,8	0,7	0,49	455,11	
	1.4	105			29	16,2	0,8	0,64	440,54	
	1.5	101			29	16	0,8	0,64	429,05	
1100	1.1	112	110,2	1,08	29	16,2	0,7	0,49	613,76	586,65
	1.2	104			29	16,3	0,7	0,49	566,42	
	1.3	77			29	16	0,8	0,64	327,10	



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	Carga Máxima empleada EN Kgf	Promedio de Carga en Kgf	Carga en KN	Distancia entre apoyos en cm	Ancoraje de la teja	Espesor de la muestra	Espesor de la muestra al cuadrado	RESISTENCIA A LA FLEXION En Kgf/cm2	Promedio
	1.4	152			29	15,9	0,7	0,49	848,67	
	1.5	106			29	16,3	0,7	0,49	577,31	

**Anexo 14. Resultados de resistencia mecánica de tejas curva sin vidriar tipo A**

TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	Fuerza máxima	Promedio de Carga en Kgf	Carga en KN	distancia entre apoyos en cm	Anchura de la teja	Espesor de la muestra	Espesor de la muestra al cuadrado	RESISTENCIA A LA FLEXION En Kgf/cm ²	Promedio
650	1.1	51	59,2	0,580551	29	16,6	0,8	0,64	208,82	253,08
	1.2	45			29	16,7	0,7	0,49	239,22	
	1.3	62			29	16,7	0,8	0,64	252,34	
	1.4	63			29	16,6	0,8	0,64	257,95	
	1.5	75			29	16,6	0,8	0,64	307,09	
700	1.1	95	73,4	0,719804	29	16,8	0,8	0,64	384,35	299,81
	1.2	44			29	16,5	0,8	0,64	181,25	
	1.3	78			29	16,5	0,8	0,64	321,31	
	1.4	78			29	16,8	0,8	0,64	315,57	
	1.5	72			29	16,5	0,8	0,64	296,59	
750	1.1	84	95,2	0,933588	29	16,4	0,9	0,81	275,07	329,90
	1.2	98			29	16,5	0,9	0,81	318,97	
	1.3	103			29	16	0,8	0,64	437,55	
	1.4	106			29	16,6	0,9	0,81	342,93	
	1.5	85			29	16,6	0,9	0,81	274,99	
800	1.1	110	118		29	16,5	0,9	0,81	358,02	



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	Fuerza máxima	Promedio de Carga en Kgf	Carga en KN	distancia entre apoyos en cm	Anchura de la teja	Espesor de la muestra	Espesor de la muestra al cuadrado	RESISTENCIA A LA FLEXION En Kgf/cm ²	Promedio
	1.2	94		1,157 179	29	16,7	1	1	244,85	392,57
	1.3	130			29	16,6	0,9	0,81	420,57	
	1.4	120			29	16,7	0,9	0,81	385,89	
	1.5	136			29	16,7	0,8	0,64	553,52	
850	1.1	126	149,6	1,467 067	29	16,6	0,8	0,64	515,91	534,19
	1.2	155			29	16,5	0,8	0,64	638,49	
	1.3	158			29	16,6	0,9	0,81	511,16	
	1.4	164			29	16,6	0,9	0,81	530,57	
	1.5	145			29	16,4	0,9	0,81	474,82	
900	1.1	140	128,6	1,261 129	29	16,7	0,7	0,49	744,23	563,62
	1.2	123			29	16,5	0,8	0,64	506,68	
	1.3	155			29	16,4	0,8	0,64	642,39	
	1.4	142			29	16,5	0,8	0,64	584,94	
	1.5	83			29	16,6	0,8	0,64	339,84	
950	1.1	72	113,4	1,112 068	29	16,6	0,8	0,64	294,80	420,82
	1.2	135			29	16,6	0,8	0,64	552,76	
	1.3	107			29	16,6	0,8	0,64	438,11	



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	Fuerza máxima	Promedio de Carga en Kgf	Carga en KN	distancia entre apoyos en cm	Anchura de la teja	Espesor de la muestra	Espesor de la muestra al cuadrado	RESISTENCIA A LA FLEXION En Kgf/cm ²	Promedio
	1.4	129			29	16,7	0,9	0,81	414,84	
	1.5	124			29	16,5	0,9	0,81	403,59	
1000	1.1	115	150,4	1,474 913	29	16,3	0,8	0,64	479,53	606,86
	1.2	160			29	16,4	0,8	0,64	663,11	
	1.3	156			29	16,5	0,8	0,64	642,61	
	1.4	177			29	16,7	0,8	0,64	720,39	
	1.5	144			29	16,4	0,85	0,7225	528,65	

**Anexo 15. Resultados de resistencia mecánica de tejas curva vidriadas tipo C**

TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	Carga Máxima empleada EN Kgf	Promedio de Carga en Kgf	Carga en KN	distancia entre apoyos en cm	Anccho de la teja	Espesor de la muestra	Espesor de la muestra al cuadrado	RESISTENCIA A LA FLEXION EN Kgf/cm ²	Promedio
750	1.1	140	128	1,2552 448	29	16,4	0,9	0,81	458,45	479,63
	1.2	130			29	16,6	0,8	0,64	532,29	
	1.3	112			29	16,4	0,8	0,64	464,18	
	1.4	138			29	16,4	0,9	0,81	451,90	
	1.5	120			29	16,6	0,8	0,64	491,34	
800	1.1	139	135,8	1,3317 3628	29	16,4	0,7	0,49	752,43	667,49
	1.2	142			29	16,5	0,8	0,64	584,94	
	1.3	152			29	16,5	0,7	0,49	817,81	
	1.4	151			29	16,8	0,7	0,49	797,92	



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	Carga Máxima empleada EN Kgf	Promedio de Carga en Kgf	Carga en KN	distancia entre apoyos en cm	Anccho de la teja	Espesor de la muestra	Espesor de la muestra al cuadrado	RESISTENCIA A LA FLEXION En Kgf/cm ²	Promedio
	1.5	95			29	16,8	0,8	0,64	384,35	
850	1.1	133	131,4	1,2885 8724	29	16,2	0,8	0,64	558,02	491,71
	1.2	115			29	16,5	0,8	0,64	473,72	
	1.3	110			29	16,7	0,8	0,64	447,70	
	1.4	152			29	16,4	0,9	0,81	497,74	
	1.5	147			29	16,4	0,9	0,81	481,37	
900	1.1	107	114	1,1179 524	29	16,5	0,9	0,81	348,26	491,94
	1.2	98			29	16,4	0,7	0,49	530,49	
	1.3	105			29	16,4	0,8	0,64	435,17	
	1.4	118			29	16,4	0,9	0,81	386,40	



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	Carga Máxima empleada EN Kgf	Promedio de Carga en Kgf	Carga en KN	distancia entre apoyos en cm	Anccho de la teja	Espesor de la muestra	Espesor de la muestra al cuadrado	RESISTENCIA A LA FLEXION EN Kg/cm ²	Promedio
	1.5	142			29	16,6	0,7	0,49	759,40	
950	1.1	173	158,8	1,55728808	29	16,3	0,8	0,64	721,39	607,20
	1.2	152			29	16,3	0,8	0,64	633,82	
	1.3	165			29	16,3	0,8	0,64	688,03	
	1.4	166			29	16,4	0,9	0,81	543,59	
	1.5	138			29	16,5	0,9	0,81	449,16	
1000	1.1	135	131,4	1,28858724	29	16,5	1	1	355,91	479,10
	1.2	135			29	16,4	0,9	0,81	442,07	
	1.3	135			29	16,5	0,8	0,64	556,11	
	1.4	125			29	16,6	0,8	0,64	511,81	



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	Carga Máxima empleada EN Kgf	Promedio de Carga en Kgf	Carga en KN	distancia entre apoyos en cm	Anccho de la teja	Espe sor de la mue stra	Espes or de la mues tra al cuadr ado	RESISTENCIA A LA FLEXION En Kgf/cm ²	Promedio
	1.5	127			29	16,3	0,8	0,64	529,57	
1050	1.1	121	132	1,2944712	29	16,4	0,9	0,81	396,23	509,24
	1.2	139			29	16,3	0,8	0,64	579,61	
	1.3	155			29	16,3	0,8	0,64	646,33	
	1.4	127			29	16,2	0,8	0,64	532,84	
	1.5	118			29	16,2	0,9	0,81	391,18	
1100	1.1	127	130	1,274858	29	16,4	0,9	0,81	415,88	473,79
	1.2	138			29	16,1	0,9	0,81	460,32	
	1.3	105			29	16,3	0,8	0,64	437,84	
	1.4	135			29	16,1	0,9	0,81	450,31	



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	Carga Máxima empleada EN Kgf	Promedio de Carga en Kgf	Carga en KN	distancia entre apoyos en cm	Anccho de la teja	Espe sor de la mue stra	Espes or de la mues tra al cuadr ado	RESISTENCIA A LA FLEXION En Kgf/cm ²	Prom edio
	1.5	145			29	16,3	0,8	0,64	604,63	
1150	1.1	159	160,6	1,5749 3996	29	16,2	0,9	0,81	527,09	644,78
	1.2	158			29	16,2	0,8	0,64	662,91	
	1.3	153			29	16,1	0,8	0,64	645,91	
	1.4	154			29	16,2	0,8	0,64	646,12	
	1.5	179			29	16,4	0,8	0,64	741,85	

**Anexo 16. Resultados de resistencia mecánica de ladrillos de perforación horizontal**

TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	Peso Ladrillo desecado	Fuerza ejercida en KN	Resistencia a la compresión en Mpa	Tiempo	Promedio de Compresión en Mpa
650	1.1	4807,2	41,43	2,04	1,52	1,87
	1.2	4776,8	45,25	2,23	2,05	
	1.3	4804,2	41,88	1,64	2,02	
	1.4	4828,1	41,88	2,06	2,16	
	1.5	4831,1	35,79	1,37	1,35	
700	1.1	4831,5	63,60	3,20	2,37	2,43
	1.2	4792,5	35,00	1,72	2,03	
	1.3	4802	40,97	2,07	2,02	
	1.4	4722,7	51,89	2,60	50,67	
	1.5	4828,3	50,09	2,53	1,19	
750	1.1	4752,8	69,45	3,46	2,02	2,82
	1.2	4802,4	49,53	2,48	1,43	
	1.3	4786,2	52,57	2,62	1,46	
	1.4	4794,5	63,94	3,25	1,34	
	1.5	4818,1	45,47	2,31	1,23	
800	1.1	4840,3	52,91	2,68	1,22	2,49
	1.2	4739,3	49,08	2,43	1,09	
	1.3	4814,1	49,08	2,44	1,13	
	1.4	4708,8	52,45	2,58	1,42	



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	Peso Ladrillo desecado	Fuerza ejercida en KN	Resistencia a la compresión en Mpa	Tiempo	Promedio de Compresión en Mpa
	1.5	4859,7	45,47	2,33	1,18	
850	1.1	4813,2	49,75	2,48	1,33	2,67
	1.2	4798	59,21	2,95	1,28	
	1.3	4687	49,87	2,50	1,33	
	1.4	4821,5	54,37	2,76	1,32	
	1.5	4799,3	53,47	2,69	1,40	
900	1.1	4755,9	53,58	2,68	1,20	2,82
	1.2	4769,5	42,44	2,63	1,32	
	1.3	4796,8	55,83	2,82	1,30	
	1.4	4792,7	61,46	3,06	1,38	
	1.5	4763,1	54,71	2,72	1,27	
950	1.1	4755,80	51,445	2,64	1,30	2,76
	1.2	4740,8	49,418	2,54	1,62	
	1.3	4741,9	58,762	3,02	1,30	
	1.4	4821,5	51,445	2,64	1,21	
	1.5	4719,1	53,801	2,72	1,00	
1000	1.1	4811,2	56,62	2,91	1,29	3,17
	1.2	4697,2	64,62	3,32	1,07	
	1.3	4781,2	69,56	3,60	1,36	
	1.4	4786,9	57,19	2,89	1,24	



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	Peso Ladrillo desecado	Fuerza ejercida en KN	Resistencia a la compresión en Mpa	Tiempo	Promedio de Compresión en Mpa
	1.5	4748,4	61,13	3,11	1,17	

**Anexo 17. Resultados de resistencia mecánica de ladrillos macizos**

TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	Fuerza ejercida en KN	Resistencia a la compresión en Mpa	Promedio de Compresión en Mpa
850	1.1	178,42	8,53	10,13
	1.2	245,40	10,74	
	1.3	245,06	11,43	
	1.4	145,40	11,25	
	1.5	188,40	8,70	
900	1.1	75,08	3,61	7,10
	1.2	55,04	2,48	
	1.3	241,80	11,08	
	1.4	242,36	11,10	
	1.5	149,83	7,25	
950	1.1	127,99	6,83	9,07
	1.2	245,40	10,75	
	1.3	192,00	8,97	
	1.4	189,68	10,35	
	1.5	177,82	8,45	
1000	1.1	89,15	4,20	10,42
	1.2	245,29	11,82	
	1.3	242,14	10,92	
	1.4	242,14	11,41	



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	Fuerza ejercida en KN	Resistencia a la compresión en Mpa	Promedio de Compresión en Mpa
	1.5	246,42	13,77	
1025	1.1	101,88	5,22	7,42
	1.2	84,76	4,40	
	1.3	75,98	3,94	
	1.4	189,68	9,99	
	1.5	244,95	13,53	
1050	1.1	151,85	7,23	10,79
	1.2	245,40	11,93	
	1.3	245,74	11,94	
	1.4	245,60	11,24	
	1.5	245,93	11,59	
	2.1	155,35	8,54	12,08
	2.2	218,50	12,42	
	2.3	245,63	13,27	
	2.4	244,61	13,35	
	2.5	244,84	12,82	
1100	1.1	245,85	12,58	13,25
	1.2	245,99	12,64	
	1.3	146,19	13,99	
	1.4	246,79	13,40	



TEMPERATURA DE COCCIÓN	CODIGO	Fuerza ejercida en KN	Resistencia a la compresión en Mpa	Promedio de Compresión en Mpa
	1.5	246,19	13,66	
1150	1.1	246,07	13,48	13,54
	1.2	246,3	13,39	
	1.3	246,3	13,50	
	1.4	243,7	13,47	
	1.5	245,85	13,85	
1200	1.1	244,2	11,86	13,26
	1.2	245,966	13,69	
	1.3	245,29	13,44	
	1.4	246,08	13,79	
	1.5	246,19	13,52	



Anexo 18. Informe de actividades en laboratorio de la facultad de arquitectura



Cuenca, 18 de agosto de 2021

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Laboratorio de Construcciones y Aplicaciones Bioclimáticas

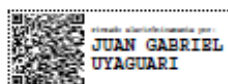
En referencia al oficio de fecha 22 de julio del 2021, solicitado por la Ing. Daniela Albuja Arias, docente de la Facultad de Ciencias Químicas el uso de Uso del Laboratorio de Construcciones al señor Decano de la Facultad de Arquitectura Arq. Alfredo Ordoñez C.

Informó.

Que el Sr. Christian Fernando Picón Sibri Cl. 0105368344 ha realizado los ensayos de rotura de muestras para el Proyecto: "Mejoramiento de la Eficiencia energética y reducción de contaminantes en hornos de ladrilleras artesanales del Cantón Cuenca", los días de ensayo corresponden al 26 de Julio de 2021 hasta el 13 de agosto de 2021, realizando un total de 170 muestras ensayadas con la máquina para ensayos de compresión y flexión ACCU-TEK touch 350, mediante las normas ASTM C-39 e INEN 988.

Es todo en cuanto puedo informar.

Atentamente.



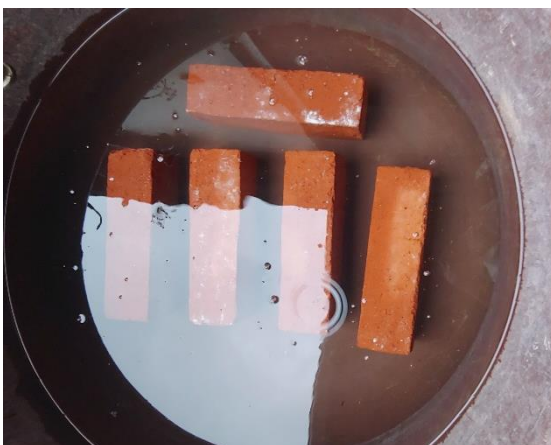
Arq. Juan Uyaguari D.

Registro 1007-08-861289

Técnico Docente FAUC.



Anexo 19. Registro fotográfico de ensayo de absorción de agua





Anexo 20. Registro fotográfico de ensayos de resistencia mecánica



**Anexo 21. Resultados de monitoreo de hornos artesanales.**

Resultados de monitoreo de un horno artesanal de ladrillos. Fuente: Proyecto “Mejoramiento de la Eficiencia energética y reducción de contaminantes en hornos de ladrilleras artesanales del Cantón Cuenca”

Tiempo min	R1 °C	R2 °C	R3 °C	R4 °C	R5 °C
0	16,4	16,6993	16,616	15,9421	17,3811
20	19,5	17,3609	17,1409	22,8587	29,122
40	119,4	38,4281	-----	73,3339	106,938
60	201	67,7381	42,2026	115,935	249,578
80	270,6	106,837	66,6867	175,436	458,45
100	345,5	153,427	94,0181	246,225	540,573
120	415,4	206,447	110,455	289,126	518,828
140	466	256,813	127,605	318,786	605,097
160	458,2	285,122	151,071	393,691	694,735
180	452,3	301,496	177,454	394,935	724,775
200	479,6	329,653	205,338	446,183	801,988
220	490,8	354,552	229,359	478,654	801,512
240	518,6	386,842	260,435	494,429	869,336
260	505,6	399,747	291,763	533,317	902,841
280	515,7	423,583	319,951	537,365	873,315
300	504,2	437,287	347,355	530,13	867,537
320	497,4	450,283	375,029	605,325	851,085
340	531,3	480,991	400,714	619,358	857,532
360	572,1	506,419	421,968	629,556	897,569
380	554,9	515,569	435,096	662,395	874,961
400	555,5	526,538	448,898	667,128	827,346
420	608,4	553,822	452,745	622,872	826,651
440	580,7	553,571	462,407	641,501	876,819
460	585,6	560,792	480,445	634,067	934,892
480	580,7	567,111	512	681,728	974,081
500	595,6	570,599	563,033	681,016	1004,14
520	607,7	585,375	578,667	697,985	898,247
540	657	604,582	582,162	705,784	940,804
560	645,3	610,828	597,426	719,749	953,479
580	713,4	662,248	612,233	712,537	985,073
600	684,6	651,282	613,582	685,251	942,75
620	672,6	641,343	622,032	724,353	1000,22
640	690,7	660,274	672,678	760,672	1046,04
660	713,9	680,594	689,593	710,654	1036,39
680	752,1	707,163	709,957	692,966	1004,89
700	820,6	741,741	721,864	696,355	970,141
720	848,1	767,796	722,143	726,254	964,895
740	829,1	771,348	728,415	768,342	968,075
760	821,9	775,942	725,64	746,588	934,759
780	805,2	776,382	721,123	759,907	947,613
800	740,9	755,856	709,639	803,155	888,783



Monitoreo de horno artesanal de tejas. Fuente: Proyecto "Mejoramiento de la Eficiencia energética y reducción de contaminantes en hornos de ladrilleras artesanales del Cantón Cuenca"

TIEMPO MIN	R1 °C	R2 °C	R3 °C	R4 °C	R5 °C
20	18,9	17,3033	16,223	18,0261	18,2558
40	18,8	17,184	16,3396	18,0586	18,3462
60	18,9	17,1726	16,3597	18,0763	18,3436
80	18,8	17,0598	16,2592	18,0735	18,3668
100	18,6	16,9643	16,1362	17,9955	18,2792
120	28,5	16,7147	21,4566	20,2295	20,0662
140	51,9	17,1392	44,8573	27,547	26,9302
160	191,6	24,1732	146,901	48,973	73,6785
180	434	34,334	255,548	86,0483	174,278
200	647,3	52,839	327,771	143,314	297,148
220	624,6	77,1379	336,049	151,568	352,671
240	609,3	100,953	382,171	173,957	374,121
260	667,3	124,876	436,026	197,94	427,339
280	719	146,379	453,164	224,756	465,296
300	818,9	171,57	490,006	252,34	537,418
320	854,7	204,365	514,094	295,629	600,3
340	734,5	240,192	505,458	332,923	581,532
360	736,8	266,893	480,16	376,036	574,015
380	825,2	285,457	507,045	384,732	613,361
400	839,9	316,89	548,528	388,943	649,92
420	824,6	349,137	529,984	397,958	661,27
440	867,8	370,991	526,31	429,565	679,027
460	898	404,935	559,224	444,117	718,718
480	851,2	429,504	557,07	464,3	712,391
500	889,3	448,67	616,225	471,549	734,106
520	892,2	464,661	617,367	522,63	736,421
540	912,8	489,462	668,11	569,63	757,055
560	960,7	511,049	756,301	596,645	777,202
580	952,1	532,65	782,393	627,205	793,226
600	954,2	546,14	759,854	654,623	791,647
620	968,2	566,151	802,979	646,872	812,518
640	943,5	577,669	787,374	680,456	814,066
660	1006,5	598,791	859,064	655,679	846,739
680	968,6	613,287	811,328	655,11	841,386
700	1027,8	646,084	838,404	707,558	899,079
720	1024,9	681,342	850,987	763,072	911,676
740	1026,4	698,792	855,354	783,81	914,859



TIEMPO MIN	R1 °C	R2 °C	R3 °C	R4 °C	R5 °C
760	968,6	709,147	900,466	782,011	898,155
780	917,9	706,658	855,018	767,617	873,447
800	1006,2	726,582	827,572	817,36	912,833
820	946,6	732,524	801,213	820,734	890,873
840	924,2	731,537	780,497	819,834	873,466
860	919,9	729,315	768,383	754,287	863,269
880	891,9	725,812	770,042	736,879	849,411