



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LAS INGENIERÍAS Y APLICADAS**  
**CARRERA INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**TEMA:**

---

**“CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA  
ARCILLA MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE VIDRIO MOLIDO  
PARA LA ELABORACIÓN DE TEJAS.”**

---

**Autores:**

Barreno Flores Jonathan Gonzalo

Caisa Ronquillo Jhonathan Stalin

**Tutor:**

Héctor Luis Laurencio Alfonso; Dr.C

**Latacunga – Ecuador**

Agosto-2022



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

“Nosotros, **BARRENO FLORES JONATHAN GONZALO** y **CAISA RONQUILLO JHONATHAN STALIN**, declaramos ser autores de la presente propuesta tecnológica: **“CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ARCILLA MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE VIDRIO MOLIDO PARA LA ELABORACIÓN DE TEJAS.”** siendo el Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso; MsC. Tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimiento y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Barreno Flores Jonathan Gonzalo

CI: 180513087-7

Caísa Ronquillo Jhonathan Stalin

CI: 050369927-4



## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de tutor de la propuesta tecnológica sobre el título “**CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ARCILLA MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE VIDRIO MOLIDO PARA LA ELABORACIÓN DE TEJAS.**”, de **BARRENO FLORES JONATHAN GONZALO** y **CAISA RONQUILLO JHONATHAN STALIN**, de la carrera d Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológico y aporte científico-técnicos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la FACULTAD de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Agosto del 2022

**Tutor**

.....  
**Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso; Dr.C.**

CC: 1758367252



## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueben el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, el o los postulantes: **BARRENO FLORES JONATHAN GONZALO** y **CAISA RONQUILLO JHONATHAN STALIN** con el título de titulación: **“CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ARCILLA MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE VIDRIO MOLIDO PARA LA ELABORACIÓN DE TEJAS.”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de proyecto. Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 26 de agosto de 2022

Para constancia firman:

**Lector 1 (Presidente)**  
**Ing. Mauro Darío Albarracín Álvarez**  
**MSc.**  
**CI: 050311373-0**

**Lector 2**  
**Ing. Luis Miguel Navarrete López**  
**MSc.**  
**CI: 180374728-4**

**Lector 3**  
**Ing. Segundo Ángel Cevallos Betún MSc.**  
**CI: 050178243-7**



## AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

Con el presente documento, se pone en constancia que los estudiantes; Barreno Flores Jonathan Gonzalo y Caisa Ronquillo Jhonathan Stalin, de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, han desarrollado el proyecto tecnológico “**CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ARCILLA MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE VIDRIO MOLIDO PARA LA ELABORACIÓN DE TEJAS**”.

Sin otro particular autorizo para que usen el presente documento para cualquier fin legal pertinente de la Universidad.

Latacunga, agosto del 2022

**DIRECTOR DE LA CARRERA**

**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

Ing. MSc. Cristian Fabian Gallardo Molina

CC: 050284769-2

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi gratitud a Dios que con su bendición me ha permitido alcanzar uno de mis grandes anhelos.

Mi profundo agradecimiento a quienes fueron mis docentes durante toda mi etapa académica los cuales impartieron de la mejor manera sus enseñanzas.

También agradecer a mis compañeros y amigos los mismos que me han brindado su apoyo para poder seguir y no decaer a pesar de las adversidades.

Finalmente, un eterno agradecimiento al Ing. Héctor Laurencio y al Ing. Jorge Villarroel quienes fueron los principales colaboradores para poder sacar adelante este proyecto, quienes con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

**Barreno Jonathan**

## **DEDICATORIA**

Esta tesis va dedicada a:

Mi padre Carlos, mi ángel, quien desde el cielo me ha guiado y me cuidado sé que estará orgulloso de esta meta cumplida y a mi madre Verónica quien con esfuerzo paciencia y dedicación siempre fue un apoyo en toda mi etapa académica.

A mi hermano Israel el cual siempre me apoyo y alentó a seguir y nunca rendirme también mi hermanita Emily por ser el motivo de mis alegrías.

También quiero dedicar este trabajo a una persona en especial que me ayudo me alentó y me brindo su amor y cariño infinito para no rendirme y que siempre me animo a seguir y que después de tantos años volvió alegrar mi existencia mi niña adorada.

Y por último y no menos importante también para mis abuelitos, tíos y tías quienes con su apoyo moral me han llenado de valor y energía en los momentos de flaqueza y así alcanzar uno de mis más grandes sueños.

**Barreno Jonathan**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por brindarme una vida llena de aprendizajes y sobre todo de salud para cumplir esta meta.

También quiero agradecer a mis padres, María Ronquillo y Luis Caisa por brindarme su apoyo en todo momento, por los valores que me han inculcado desde niño sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

A mis hermanos/as por ser una pieza muy importante en vida ya que siempre hemos estado en las buenas y en las malas siempre unidos, compartiendo sonrisas y experiencias, a mi novia por sus palabras de aliento para no rendirme en mi trayectoria universitaria.

Finalmente, agradezco al tutor Dr. Héctor Laurencio y al Ing. Jorge Villarroel quienes nos ayudaron y compartieron sus conocimientos para cumplir con el proyecto.

**Jhonathan Caisa**

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente proyecto a Dios por brindarme salud y vida para cumplir mi meta profesional.

A mis amados padres Maria Ronquillo y Luis Caisa por brindarme su apoyo incondicional, a mis hermanos/as durante el proceso de formación académica me motivaron para seguir adelante en especial a Miryam por ser la que me apoyó moral y económicamente a lo largo de mi carrera, a mi difunto hermano Diego por ser quien me inspiraba para no rendirme, a mis cuñados/as por brindarme palabras de motivación y experiencias, a mis sobrinos/as finalmente a mi novia por acompañarme y motivarme para no desmayar en los momentos difíciles que se presentaban a lo largo de mi trayectoria profesional gracias mil a toda mi querida familia.

**Jhonathan Caisa**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN.....	iii
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....	iv
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
DEDICATORIA.....	ix
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xvi
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xviii
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT .....	xx
INFORMACIÓN GENERAL .....	1
1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 Resumen.....	3
1.2 EL PROBLEMA.....	3
1.2.1 Planteamiento del problema .....	3
1.2.2 Formulación del problema.....	5
1.3 BENEFICIARIOS .....	5
1.3.1 Beneficiarios directos: .....	5
1.3.2 Beneficiarios indirectos: .....	5
1.4 JUSTIFICACIÓN .....	5
1.5 HIPÓTESIS .....	6
1.6 OBJETIVOS .....	6
1.6.1 General.....	6

1.6.2	Específicos:.....	6
1.7	ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	6
2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	8
2.1	ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS .....	8
2.1.1	Trabajos precedentes de resistencia de arcilla.....	9
2.2	MARCO REFERENCIAL.....	10
2.3	Origen de la arcilla.....	10
2.3.1	Propiedades físicas de la arcilla.....	11
2.3.2	Clasificación de arcillas.....	12
2.4	Teja como material de construcción .....	13
2.4.1	Procesos de fabricación: .....	14
2.4.2	Clasificación de las tejas cerámicas.....	15
2.5	Vidrio como material de construcción:.....	16
2.5.1	Componentes y fabricación del vidrio.....	16
2.5.2	Propiedades físicas del vidrio .....	17
2.5.3	Reciclaje del vidrio.....	18
2.6	Materia prima.....	18
2.6.1	Producción de tejas en la parroquia La Victoria.....	18
2.6.2	Arcilla de parroquia La Victoria.....	18
2.6.3	Proceso de fabricación de tejas en la parroquia La Victoria: .....	18
2.6.4	Granulometría obtenida de arcillas en la investigación de Bautista.....	20
2.6.5	Límites líquidos y plásticos de la parroquia La Victoria (investigación de Bautista).....	21
2.6.6	Parámetros de análisis de compresión .....	22
2.6.7	Ensayo de compresión .....	24
2.6.8	Pruebas de compresión de la parroquia La Victoria (investigación de Bautista).....	24
2.6.9	Pruebas a flexión de las tejas .....	25

2.6.10	Resistencia a la flexión de tejas .....	26
3	DESARROLLO DE LA PROPUESTA .....	29
3.1	Diseño experimental .....	29
3.2	Metodología .....	30
3.2.1	El muestreo .....	30
3.2.2	Limitación de ensayos y normativa .....	31
3.2.3	Obtención del vidrio reciclado molido .....	31
3.2.4	Triturado de vidrio molido y arcilla .....	34
3.2.5	Granulometría .....	41
3.2.6	Equipo para el tamizado de vidrio y arcilla .....	41
3.2.7	Fabricación de las probetas .....	45
3.2.8	Secado de probetas .....	46
3.2.9	Ensayo a compresión de probetas de arcilla .....	52
3.2.10	Ensayo de las tejas curvas sometidas a flexión .....	55
3.3	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	56
3.3.1	Vidrio molido granulometría por tamizado (ASTM E11) .....	57
3.3.2	Interpretación de la curva granulométrica de la arcilla .....	63
3.3.3	Parámetros característicos de una suspensión (tamaño de partícula y distribución) .....	69
3.3.4	Pruebas a compresión .....	71
3.3.5	Resistencia a la flexión de tejas .....	74
3.3.6	Conclusión de análisis granulométrico .....	76
3.3.7	Conclusión de pruebas a compresión de las probetas .....	77
3.4	EVALUACIÓN TÉCNICO, SOCIAL, AMBIENTAL Y/O ECONÓMICA ..	80
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	81
4.1	CONCLUSIONES .....	81
4.2	RECOMENDACIONES .....	82
5	BIBLIOGRAFÍA .....	83

ANEXOS ..... 88

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Objetivos y actividades .....	6
<b>Tabla 2:</b> Propiedades físicas de la arcilla [4].....	11
<b>Tabla 3:</b> Clasificación de arcillas [12].....	13
<b>Tabla 4:</b> Procesos de fabricación [14] [12].....	14
<b>Tabla 5:</b> Clasificación de las tejas cerámicas según INEN 990 [15].....	15
<b>Tabla 6:</b> Clasificación de las tejas cerámicas según INEN 990 [15].....	15
<b>Tabla 7:</b> Propiedades Físicas del vidrio [11] .....	17
<b>Tabla 8:</b> Composición química de las arcillas [1] .....	18
<b>Tabla 9:</b> Proceso de fabricación de tejas en La Victoria [1].....	19
<b>Tabla 10:</b> Granulometría [1] .....	20
<b>Tabla 11:</b> Límites líquidos y plásticos [1] .....	21
<b>Tabla 12:</b> Pruebas de compresión [1] .....	25
<b>Tabla 13:</b> Pruebas a flexión tejas comunes, según INEN 990. [1].....	26
<b>Tabla 14:</b> Norma INEN 990 resistencia a la flexión de las tejas [22] .....	26
<b>Tabla 15:</b> Metodos y técnicas .....	29
<b>Tabla 16:</b> Datos de la máquina trituradora y molienda del vidrio.....	34
<b>Tabla 17:</b> Cantidad y tiempo de material triturado de 6lb.....	40
<b>Tabla 18:</b> Cantidad y tiempo de material triturado de vidrio molido 6lb.....	40
<b>Tabla 19:</b> Cantidad y tiempo de material triturado de arcilla 3lb.....	40
<b>Tabla 20:</b> Factores de valoración para cada tamiz.....	42
<b>Tabla 21:</b> Datos de la máquina tamizadora .....	42
<b>Tabla 22:</b> Especificaciones de porcentajes utilizados en la elaboración de las probetas	48
<b>Tabla 23:</b> Especificación de los pesos de los recipientes utilizados.....	49
<b>Tabla 24:</b> Descripción de la maquina .....	54
<b>Tabla 25:</b> La norma técnica ecuatoriana INEN 988 [15] .....	55
<b>Tabla 26:</b> Análisis granulométrico del vidrio molido en un tiempo de 10 min.....	57
<b>Tabla 27:</b> Análisis granulométrico del vidrio molido en un tiempo de 20 min.....	59
<b>Tabla 28:</b> Análisis granulométrico del vidrio molido en un tiempo de 30 min.....	61
<b>Tabla 29:</b> Análisis granulométrico de la arcilla en un tiempo de 20 min muestra m4 ..	63
<b>Tabla 30:</b> Análisis granulométrico de la arcilla en un tiempo de 15 min muestra m5 ..	65
<b>Tabla 31:</b> Análisis granulométrico de la arcilla en un tiempo de 10 min muestra m6 ..	67
<b>Tabla 32:</b> Análisis del 85% de partículas de vidrio que tiene cada malla. ....	69
<b>Tabla 33:</b> Análisis del 85% de partículas de arcilla que tiene cada malla.....	70

<b>Tabla 34:</b> Datos técnicos y resultados .....	71
<b>Tabla 35:</b> Datos de fuerza y esfuerzo .....	73
<b>Tabla 36:</b> Tabla comparativa de ensayo de flexión .....	74
<b>Tabla 37:</b> Datos de las ecuaciones para determinar a, b.....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Esquema de la estructura mecánica básica de una maquina universal electromecánica. [20].....	22
<b>Figura 2:</b> Diagrama esfuerzo ( $\sigma$ ) - deformación ( $\epsilon$ ) unitarios. [20].....	23
<b>Figura 3:</b> ASTM C-1167 disposición de apoyos para ensayos a flexión [1].....	28
<b>Figura 4:</b> Disposición para aplicación de fuerza de ensayos a flexión [1].....	28
<b>Figura 5:</b> Disposición de la fuerza de ensayos a flexión .....	28
<b>Figura 6:</b> Requisitos de resistencia transversal de ruptura norma ASTM C-1127 [1]..	29
<b>Figura 7:</b> Recolección de restos de vidrio .....	32
<b>Figura 8:</b> Limpieza de vidrio.....	32
<b>Figura 9:</b> Remoción de impurezas con una espátula .....	33
<b>Figura 10:</b> Secado de la arcilla. ....	33
<b>Figura 11:</b> Arcilla seca, lista para el proceso de molienda. ....	34
<b>Figura 12:</b> Molino de bolas .....	35
<b>Figura 13:</b> Molida de vidrios.....	35
<b>Figura 14:</b> Molida de vidrios.....	36
<b>Figura 15:</b> Puesta en marcha del sistema del molino .....	36
<b>Figura 16:</b> Molino de bolas .....	37
<b>Figura 17:</b> Pesaje del vidrio molido .....	37
<b>Figura 18:</b> Pesaje del vidrio molido .....	38
<b>Figura 19:</b> Arcilla pasada para el ingreso al molino de bolas. ....	38
<b>Figura 20:</b> Obtención de la arcilla triturada en el molino de bolas. ....	39
<b>Figura 21:</b> Tamices utilizados para el análisis granulométrico según norma ASTM E11 Tamiz #6, Tamiz #12, Tamiz #40, Tamiz #50, Tamiz #100, Tamiz #140, Tamiz #200.	41
<b>Figura 22:</b> Selección de la máquina tamizadora.....	43
<b>Figura 23:</b> Granulometría del vidrio molido. ....	43
<b>Figura 24:</b> Granulometría del vidrio molido mediante el proceso de tamizado.....	44
<b>Figura 25:</b> Granulometría del vidrio.....	44
<b>Figura 26:</b> Cilíndricas de 4 cm de diámetro y 4 cm de altura [28].....	46
<b>Figura 27:</b> Corte a medida de los moldes para elaboración de probetas .....	47
<b>Figura 28:</b> Acondicionamiento del tubo PVC para elaboración de las probetas.....	47
<b>Figura 29:</b> Verificación de medidas de los moldes para las probetas .....	48
<b>Figura 30:</b> Porcentajes de vidrio 38gr .....	49
<b>Figura 31:</b> Porcentajes arcilla 83gr.....	50

<b>Figura 32:</b> Porcentaje de agua utilizada para mezclar la arcilla y el polvo de vidrio para obtener una mezcla completamente plástica. ....	50
<b>Figura 33:</b> Mezcla de los materiales de acuerdo a los porcentajes pesados para su elaboración de probetas. ....	51
<b>Figura 34:</b> Resultado del proceso de mezclado.....	52
<b>Figura 35:</b> Ensayo a compresión de probetas de arcilla.....	52
<b>Figura 36:</b> Medición.....	53
<b>Figura 37:</b> Máquina Tinius Olsen.....	54
<b>Figura 38:</b> Placa del motor de la máquina.....	55
<b>Figura 39:</b> Determinación del tamaño de partículas de vidrio molido (M1).....	57
<b>Figura 40:</b> Determinación de la curva granulométrica.....	58
<b>Figura 41:</b> Determinación del tamaño de partículas de vidrio molido (M2).....	59
<b>Figura 42:</b> Determinación de la curva granulométrica (M2),.....	60
<b>Figura 43:</b> Determinación del tamaño de partículas de vidrio molido (M3).....	61
<b>Figura 44:</b> Determinación de la curva granulométrica.....	62
<b>Figura 45:</b> Determinación del tamaño de partículas de arcilla (M4).....	63
<b>Figura 46:</b> Determinación de la curva granulométrica.....	64
<b>Figura 47:</b> Determinación del tamaño de partículas de arcilla (M5).....	65
<b>Figura 48:</b> Determinación de la curva granulométrica.....	66
<b>Figura 49:</b> Determinación del tamaño de partículas de arcilla (M6).....	67
<b>Figura 50:</b> Determinación de la curva granulométrica.....	68
<b>Figura 51:</b> Determinación del 85% en el análisis granulométrico del vidrio molido. ..	69
<b>Figura 52:</b> Determinación del 85% en el análisis granulométrico de la arcilla.....	70
<b>Figura 53:</b> Determinación de la fuerza.....	73
<b>Figura 54:</b> Determinación del esfuerzo.....	74
<b>Figura 55:</b> Valores de entrada correspondientes al porcentaje de vidrio C, con respecto al tiempo. ....	77
<b>Figura 56:</b> Valores de entrada correspondientes al porcentaje de vidrio C, con respecto al tiempo. ....	78
<b>Figura 57:</b> Valores de entrada correspondientes al porcentaje de vidrio C, con respecto al tiempo. ....	78

## ÍNDICE DE ECUACIONES

$Cu = d60d10$ (3-1).....	45
$Cc = (D30)^2(D10 * D60)$ (3-2) .....	45
$s = 3Wl^2 - xbd^2$ (3-3) .....	75
$S = a * cb$ (3-4) .....	77



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LAS INGENIERÍAS Y APLICADAS**  
**CARRERA INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**Authors:**

Barreno Flores Jonathan Gonzalo

Caisa Ronquillo Jhonathan Stalin

**RESUMEN**

**TEMA:** “CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ARCILLA MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE VIDRIO MOLIDO PARA LA ELABORACIÓN DE TEJAS.”

La influencia del uso de vidrio molido como agregado no convencional en la preparación de mezcla a base de arcilla permitió la elaboración de tejas. Esta investigación identificó la estructura, características y propiedades mecánicas de esta teja con la finalidad de verificar la dureza y la resistencia del material, gracias a esto se podrá fabricar tejas con una mayor resistencia para lograr una aceptación y demanda en el mercado.

Como parte de la metodología el vidrio se procesó con el molino de bolas, se desarrolló el análisis granulométrico que permite identificar el mejor grano para incorporar a la teja y medir su resistencia, comparando una teja elaborada en la parroquia La Victoria con otra que contenía una nueva mezcla con porcentajes de vidrio molido. La granulometría concluye que al aumentar el tiempo de molienda se obtiene una mayor finura del material y esto evita distribuciones granulométricas poco uniformes.

La investigación determinó a través del análisis granulométrico la molienda adecuada que fue de 3 lb en un tiempo de 30 minutos obteniendo un módulo de finura del vidrio molido de 2,30, que se encuentra en un límite aceptable de arenas finas. El análisis de comprensión de las probetas con vidrio molido dedujo que el agregado de polvo de vidrio en la muestra C3 genera mayor resistencia a las pruebas a compresión con una fuerza de 6867,10 N y un esfuerzo de 5,46 MPa. Los cálculos para determinar el valor del esfuerzo de las tejas se basó en la norma ASTM C67-03a y se comprobó que hay un mejoramiento en las propiedades mecánicas de la teja y de acuerdo a la norma INEN 990 la teja con la nueva mezcla si cumplió con los valores requeridos, está generó un valor de resistencia a la flexión de 86,40 kgf/cm<sup>2</sup>, mientras que la teja elaborada en la parroquia La Victoria no cumplió con la norma establecida pues obtuvo un valor de resistencia a la flexión de 47,21 kgf/cm<sup>2</sup>.

**Palabras clave:** Granulometría, vidrio molido, tejas, propiedades mecánicas.

**COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY**  
**SCIENCES AND ENGINEERING APPLIED FACULTY**

**TOPIC:** “CLAY MECHANICAL PROPERTIES CHARACTERIZATION, THROUGH THE GROUND GLASS IMPLEMENTATION FOR THE TILES PRODUCTION”.

**Authors:**

Barreno Flores Jonathan Gonsalo  
Caisa Ronquillo Jhonathan Stalin

**ABSTRACT**

The ground glass use influence as an unconventional aggregate in the clay-based mixture preparation allowed the roof tiles production. This research identified the structure, characteristics and mechanical properties this tile, in order to verify the material hardness and resistance, thanks to this, it will be possible to manufacture tiles with greater resistance to achieve an acceptance and demand in the market. As part of methodology, it was processed the glass with the ball mill, it was developed a granulometric analysis, which allows identifying the best grain to incorporate into the tile and measuring its resistance, comparing a made tile in the La Victoria parish with another, what contained a new mixture with ground glass percentages. The granulometry concludes, what by increasing the grinding time was got a material greater fineness and this avoids non-uniform granulometric distributions. The research determined, through granulometric analysis, the adequate grinding, which it was 3 lb in a 30 minutes time, getting a 2.30 ground glass fineness modulus, which is found within a fine sand acceptable limit. The specimen's compression analysis with ground glass deduced, what the glass powder addition in sample C3 generates greater resistance to compression tests with a 6867.10 N force and a 5.46 MPa effort. The calculations to determine the tiles stress value are based on the ASTM C67-03a standard and it was found, what there is an improvement in the tile mechanical properties and according to the INEN 990 standard, the tile with the new mixture did meet with the required values, this generated a 86.40 kgf/cm<sup>2</sup> flexural strength value, while the made tile in the La Victoria parish did not comply with the established standard, since it got a 47, 21kgf/cm<sup>2</sup> flexural strength value.

**Keywords:** Granulometry, ground glass, roof tiles, mechanical properties.

## *AVAL DE TRADUCCIÓN*

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del trabajo de titulación cuyo título versa: **“CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ARCILLA MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE VIDRIO MOLIDO PARA LA ELABORACIÓN DE TEJAS”** presentado por: **Barreno Flores Jonathan Gonsalo y Caisa Ronquillo Jhonathan Stalin**, estudiantes de la carrera de: **Ingeniería en Electromecánica**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, agosto del 2022

Atentamente,



Mg. Marco Beltrán



CENTRO  
DE IDIOMAS

**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC**  
**CI: 0502666514**

## INFORMACIÓN GENERAL

**Título:**

“CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ARCILLA MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE VIDRIO MOLIDO PARA LA ELABORACIÓN DE TEJAS”

**Fecha de inicio:**

07 de marzo 2022.

**Fecha de finalización:**

Agosto 2022

**Lugar de ejecución:**

Región: Sierra

**Provincia:** Cotopaxi

**Cantón:** Pujilí

**Parroquia:** La Victoria

**Facultad que auspicia:**

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

**Carrera que auspicia:**

Ingeniería Electromecánica

**Proyecto de investigación vinculado:**

Sector comunitario y productivo (industrial) de la provincia de Cotopaxi, cantón Pujilí, Parroquia La Victoria.

**Equipo de trabajo:**

Barreno Flores Jonathan Gonzalo

Caisa Ronquillo Jhonathan Stalin

**Área de conocimiento:****Campo amplio:**

- 07 ingeniería, industria y construcción

**Campo específico:**

- 071 industria y producción

**Campo detallado:**

- 0711 ingeniería y procesos químicos
- 0722 materiales (vidrio, papel, plástico y madera)

**Línea de investigación:**

Procesos Industriales.

**Sub líneas de investigación de la carrera:**

Diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos.

## 1 INTRODUCCIÓN

El propósito del presente proyecto identifica la estructura, características y propiedades mecánicas de la arcilla y la incorporación del vidrio molido para la elaboración de tejas, con la finalidad de verificar la dureza y resistencia del material, y a la vez lograr obtener un mejor acabado en la superficie del producto final; gracias a esto se podrá para fabricar tejas de mayor calidad para lograr una aceptación y demanda en el mercado.

Este proyecto se lleva a cabo a través de un análisis metodológico aplicado por medio de ensayos que consienten en medir la resistencia de la teja y estudios granulométricos que permiten comparar la resistencia de una teja común de La Victoria a otra realizada en la investigación que contenga porcentajes de vidrio molido.

## **1.1 Resumen**

La influencia del uso de vidrio molido como agregado no convencional en la preparación de mezcla a base de arcilla permitió la elaboración de tejas. Esta investigación identificó la estructura, características y propiedades mecánicas de esta teja con la finalidad de verificar la dureza y la resistencia del material, gracias a esto se podrá fabricar tejas con una mayor resistencia para lograr una aceptación y demanda en el mercado.

Como parte de la metodología el vidrio se procesó con el molino de bolas, se desarrolló el análisis granulométrico que permite identificar el mejor grano para incorporar a la teja y medir su resistencia, comparando una teja elaborada en la parroquia La Victoria con otra que contenía una nueva mezcla con porcentajes de vidrio molido. La granulometría concluye que al aumentar el tiempo de molienda se obtiene una mayor finura del material y esto evita distribuciones granulométricas poco uniformes.

La investigación determinó a través del análisis granulométrico la molienda adecuada que fue de 3 lb en un tiempo de 30 minutos obteniendo un módulo de finura del vidrio molido de 2,30, que se encuentra en un límite aceptable de arenas finas. El análisis de comprensión de las probetas con vidrio molido dedujo que el agregado de polvo de vidrio en la muestra C3 genera mayor resistencia a las pruebas a compresión con una fuerza de 6867,10 N y un esfuerzo de 5,46 MPa. Los cálculos para determinar el valor del esfuerzo de las tejas se basó en la norma ASTM C67-03a y se comprobó que hay un mejoramiento en las propiedades mecánicas de la teja y de acuerdo a la norma INEN 990 la teja con la nueva mezcla si cumplió con los valores requeridos, está generó un valor de resistencia a la flexión de 86,40 kgf/cm<sup>2</sup>, mientras que la teja elaborada en la parroquia La Victoria no cumplió con la norma establecida pues obtuvo un valor de resistencia a la flexión de 47,21 kgf/cm<sup>2</sup>.

## **1.2 EL PROBLEMA**

### **1.2.1 Planteamiento del problema**

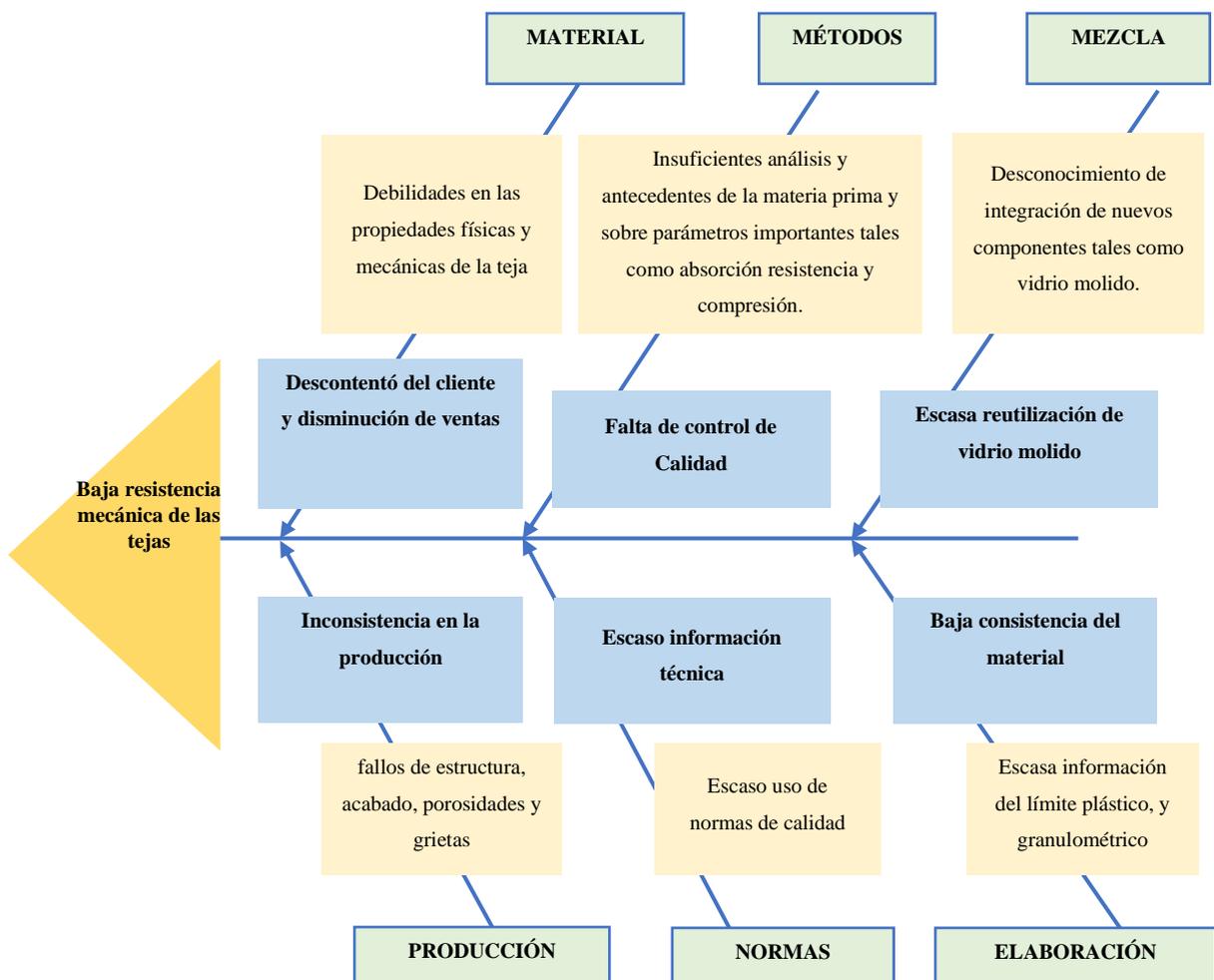
Las tejas artesanales cocidas elaboradas con barro y piedra, iniciaron su uso cuando llegaron a suplir a los materiales tales como: la paja y las hojas; con este avance inmediatamente cambio y mejoró la manera de proteger las viviendas, gracias a sus cualidades impermeables; casi de inmediato se extendió por el mediterráneo en donde los principales usuarios fueron griegos y romanos, con el transcurso del tiempo avanzó al

continente europeo en donde también fue utilizado gracias su estética, dando a los hogares una sensación de buen gusto; al pasar el tiempo se fueron produciendo tejas de diferentes formas y estilos lo cual hizo que fuese un material de construcción muy utilizado hasta la actualidad. [1]

En el Ecuador en la actualidad se usan estas piezas en los acabados de la construcción. El proceso de fabricación de tejas comenzó en Loja en la época colonial [2] posteriormente la reseña histórica nos indica que se extendió por las provincias aledañas.

La investigación se orientará en los talleres artesanales, en contexto en la provincia de Cotopaxi la fabricación de teja gruesa se ubica en las ciudades de Latacunga, Salcedo y Pujilí, pero la fabricación de teja fina está ubicada en el sector La Victoria en donde son elaboradas figuras de manera artesanal, en esta localidad se encuentran los yacimientos de piedra pómez y arcilla del Ecuador.

**Ilustración 1: Matriz causa y efecto basado en el Diagrama de Ishikawa.**



### **1.2.2 Formulación del problema**

Baja resistencia mecánica de las tejas que dificulta cumplir las normas INEN, la misma que tiene un valor de fuerza ultima de 134,43N.

## **1.3 BENEFICIARIOS**

### **1.3.1 Beneficiarios directos:**

Asociación de Productores Artesanales La Victoria (APAV).

Tesistas (Investigadores)

### **1.3.2 Beneficiarios indirectos:**

Se beneficiará de manera indirecta, las constructoras civiles, vendedores de tejas, también a los moradores de la parroquia La Victoria, fabricantes dedicados a la producción de tejas, empresas que manejen desechos de vidrios.

## **1.4 JUSTIFICACIÓN**

El presente proyecto tiene como finalidad la caracterización de las propiedades mecánicas de tejas elaboradas con arcilla como una composición alternativa a la tradicional, empleando vidrio molido.

En la actualidad la cantidad excesiva de diversos desechos generados por la actividad humana se ha convertido en un problema ambiental, estos desechos son recursos materiales que en varias ocasiones están siendo desperdiciados en vez de ser reutilizados o reciclados.

Este se enfoca en el análisis del uso del vidrio molido como sustituto se pretende obtener mejores características tanto físicas como mecánicas en su fabricación, garantizando un producto de buena resistencia.

Como aportes de la investigación se logró un impacto en la producción, pues se conseguirá tener tejas resistentes que sean comercialmente aceptables. El proyecto también precede el ámbito socio ambiental; se aplicará como materia prima los desechados de vidrio estos pueden ser reciclados al 100% [1].

El proyecto también se orientará en comparar la resistencia a flexión de las tejas de La Victoria con el producto obtenido en la investigación, para determinar cuál teja es más resistente y con menos fallas mecánicas.

## 1.5 HIPÓTESIS

Mediante la adición de vidrio molido a la mezcla de arcilla, en el proceso de elaboración de tejas, se podrá mejorar la resistencia mecánica obteniendo las relaciones estequiométricas adecuadas.

## 1.6 OBJETIVOS

### 1.6.1 General

Aumentar la resistencia mecánica de las tejas mediante la adición de vidrio molido en la mezcla de arcilla para obtener un producto de mejor calidad.

### 1.6.2 Específicos:

- Investigar la problemática que se genera en el proceso de elaboración de las tejas de manera artesanal.
- Clasificación de los componentes granulométricos de la materia prima según el proceso de molienda y preparación de mezcla.
- Determinar el porcentaje de vidrio molido adecuado en la mezcla de arcilla para alcanzar una mayor resistencia en las tejas mejorando la producción bajo normas establecidas para su comercialización.

## 1.7 ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

**Tabla 1:** Objetivos y actividades

<b>OBJETIVO ESPECÍFICO</b>	<b>ACTIVIDAD (TAREAS)</b>	<b>RESULTADO DE LA ACTIVIDAD</b>	<b>MEDIO DE VERIFICACIÓN</b>
<b>Investigar la problemática que se genera en el proceso de</b>	Estudio de la manufactura e Identificación de materiales.	Establece los pasos del proceso de la manufactura.	Fichas bibliográficas Investigación experimental

<b>OBJETIVO ESPECÍFICO</b>	<b>ACTIVIDAD (TAREAS)</b>	<b>RESULTADO DE LA ACTIVIDAD</b>	<b>MEDIO DE VERIFICACIÓN</b>
<b>elaboración de las tejas de manera artesanal.</b>	Obtención del Material	Clasificación de arcillas	Planilla de caracterización de tejas
	Parámetros de composición de la materia prima.	Dosificación de la materia prima.	Análisis de información basado en el proyecto de investigación [1]
<b>Clasificación de los componentes granulométricos de la materia prima según el proceso de molienda y preparación de mezcla.</b>	Preparación y evaluación de las cerámicas	Caracterización física y mecánicamente, mediante la determinación de la absorción de agua y la densidad aparente	Norma ASTM C20 y norma ASTM C674-88 - mediante la determinación del módulo de ruptura.
	Análisis físico de muestras (peso, elasticidad y área de absorción)	Clasificación de muestras. Toma de muestras	Planilla de caracterización de tejas
<b>Determinar el porcentaje de vidrio molido en la mezcla de arcilla para alcanzar una mayor resistencia en las tejas mejorando la producción bajo normas establecidas para su comercialización.</b>	Estudio Granulométrico	Propiedades estequiométricas de las tejas con diversas cantidades de vidrio	Manual de proceso basado en Curvas y determinación Granulométricas
	Pruebas de resistencia y flexibilidad.	Índices de resistencia	Evaluación de procesos en base a Manual de procesos

## 2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Se considera como antecedentes investigativos, proyectos que analicen la arcilla en el proceso de elaboración de tejas y también referentes donde se evidencie el uso de vidrio molido, a continuación, se mencionan las siguientes investigaciones:

El primer estudio de tejas donde se enfoca como materia prima la arcilla es la tesis de García [4] en esta se analizó como “Mejorar el proceso de fabricación de tejas de barro y arcilla en la parroquia La Victoria”, como resultado de la investigación: se evidenció que en la elaboración de teja se desconoce el tiempo óptimo de molienda, así como de tamizado de arcilla, escasa limpieza de moldes, lo que da como resultado productos deformes, por eso se recomendó mecanizar los procesos de triturado y el asesoramiento técnico.

El segundo proyecto es la tesis de Barranzuela, (2014) con el tema: “Ladrillos de arcilla producidos en la región Piura” donde se pudo identificar los procesos de producción para incrementar la calidad del material, y como conclusiones se demostró que el inadecuado amasado y la conformación de la mezcla produce unidades deformadas, lo que aumenta la porosidad del producto final. [3]

Otra investigación es la realizada a nivel internacional en Perú, por el investigador Fernández, (2019) con el tema: “Evaluación de las propiedades físicas - mecánicas de las tejas cerámicas artesanales y mecanizadas manufacturadas en Piñipampa – Cusco, 2018, según parámetros de las normas NTE INEN” se basó en la estandarización del proceso mediante parámetros ecuatorianos normas NTE INEN, se obtuvo datos referentes a la magnitud de absorción del agua, la resistencia a la flexión. Por lo tanto, los estándares ecuatorianos y normas de regularización de las tejas son de alta calidad y serán referentes en esta investigación. [4]

En cuanto a la utilización de Vidrio molido, se pudo encontrar proyectos relacionados con la incorporación de este material en la capa asfáltica en la tesis de Freire, (2018) con el tema: “Uso de vidrio molido en las mezclas asfálticas, con el propósito de reducir la contaminación” este menciona las cualidades del vidrio molido, y el proceso de molienda, granulado y tamizado, hasta obtener un tamaño nominal adecuado para su uso, esto se

basó en las siguientes normas: ASTM C 136-09, AASHTO T-27, INEN 696 y como conclusión el vidrio molido permitió obtener una masa asfáltica resistente y duradera. [5]

Para finalizar se toma como referente la investigación de Bautista, (2019) que menciona: “Caracterización de las propiedades mecánicas de las tejas de barro producidas por alfareros de la parroquia La Victoria, cantón Pujilí”, se usaron los datos obtenidos en la tesis, como son las características físicas para la clasificación de las tejas, basándose en normas INEN 990, recordando que se identificó que la arcilla de La Victoria tiene un pH Alcalino que limita la absorción de líquido, con estos datos se procederá a mejorar su estructura mediante la incorporación de vidrio molido. [1]

Luego de analizar los proyectos relacionados a la hipótesis a investigar se procede a fundamentar teóricamente la investigación.

### **2.1.1 Trabajos precedentes de resistencia de arcilla**

A continuación, se enlista trabajos relacionados con la resistencia de arcilla, en estos se concluyó lo siguiente:

En el proyecto *comparación de parámetros de resistencia determinados por ensayos de laboratorio y campo en suelos de la formación sabana del occidente de Bogotá* [6] Antiguamente, en el estudio del suelo no se tenía en cuenta uno de sus aspectos importantes: la capacidad portante evita problemas de asentamientos, para identificar la resistencia de la arcilla se analizó la metodología de Albert Atterberg que definió seis “límites de consistencia” para los suelos finos: el límite superior del flujo viscoso, el límite líquido, el límite de pegajosidad, el límite de cohesión, el límite plástico y el límite de contracción. [6]

Según el artículo *valuación de los Resultados de las Pruebas de Resistencia* [7]. La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal de la arcilla. Es la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en  $\text{kg/cm}^2$  [7].

Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión se dan a partir de la elaboración de cilindros, sometidos a ensayo de aceptación y control de calidad, según la norma ASTM C31 práctica estándar para elaborar y curar probetas de ensayo de concreto en campo/ NTP 339.033; para estimar la resistencia del concreto in situ, la norma ASTM

C31 fórmula procedimientos para las pruebas de curado en campo [7]. Las probetas cilíndricas se someten a ensayo de acuerdo con la ASTM C39, método estándar de prueba de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto / NTP 339.034. [7]

El presente artículo *Resistencia de concreto con agregado de bloque de arcilla triturado como reemplazo de agregado grueso*. Hace una revisión sobre la resistencia de concretos con el uso de bloque de arcilla triturado como sustitución total del agregado grueso, se ha analizado el material con las siguientes características: la durabilidad, resistencia a la compresión, la porosidad, el módulo de elasticidad, la tensión indirecta del concreto. La comprobación muestra que son insuficientes los resultados anunciados sobre el efecto neto del uso de triturado de bloque de arcilla como agregado grueso en las diferentes propiedades del concreto, tanto en su estado fresco como endurecido. También se establece que los concretos derivados con agregados reciclados y presentan menor resistencia a la compresión que las mezclas tradicionales. [8]

El artículo científico [9] analizó la caracterización de las propiedades mecánicas de las tejas de barro producidas en la parroquia La Victoria ahí se detalló la composición química, granulometría, límites líquidos y el límite plástico. Las pruebas de compresión se realizaron con normas ASTM C-42, las pruebas a flexión bajo normas ecuatorianas INEN 990. Se determinó que la arcilla del sector el Tingo tiene mejores valores tanto en del índice plástico, el límite líquido y de textura teniendo mayor resistencia a la flexión, teniendo como resultado 471 N. [9]

## **2.2 MARCO REFERENCIAL**

### **2.3 Origen de la arcilla**

Las arcillas son rocas llamadas sedimentarias que presentan diferentes coloraciones que van desde la blanca a la anaranjada, que al exponer al fuego se endurece y se usa para producir ladrillos, vasijas, tejas, platos, entre otros. En referencia a [3] “La arcilla es un silicato de aluminio hidratado, en forma de roca plástica, impermeable al agua y bajo la acción del calor se deshidrata, endureciéndose mucho” (p.15).

Las arcillas se utilizan en varios procesos industriales, son un componente principal de materia prima en la construcción y como estas se forman por la unión de minerales, puede ser moldeable cuando se mezcla con agua. Aunque su estructura está conformada por formaciones rocosas y sedimentarias en referencia a [10] “sus características físicas,

químicas y mineralógicas varían ampliamente, incluso en un mismo depósito arcilloso. Por tanto, el control de la calidad de los productos empieza por la caracterización y control de la calidad de sus arcillas” (p.50).

Las arcillas se caracterizan por su plasticidad, sin embargo, poseen otras características físicas y mecánicas [10] “Una de las características más importantes a evaluar en las arcillas es la composición química y mineralógica, dado que ella influye directamente en las propiedades de los cerámicos obtenidos” (p.50).

La arcilla es una materia prima que se origina de la desintegración de rocas arcillosas que contienen silicatos de aluminio hidratado, aunque existen gran variedad de arcillas, todas están formadas por rocas sedimentarias y después de ser cosida se endurece. A continuación, se menciona las propiedades físicas de la arcilla.

### 2.3.1 Propiedades físicas de la arcilla

Las propiedades físicas de las arcillas permiten al producto ser resistente, las propiedades que se destacan son las siguientes:

**Tabla 2:**Propiedades físicas de la arcilla [4]

PROPIEDAD	CARACTERÍSTICA
<b>La absorción</b>	La absorción se relaciona con su impermeabilidad, en base a la resistencia mecánica del producto final. La absorción de agua es la máxima cantidad de agua que puede ingresar a los huecos o porosidades accesibles; la absorción normal es la cantidad de agua absorbida hasta saturación por un material a presión y temperatura ambiente [4].
<b>La plasticidad</b>	Es la capacidad de modificar la forma por acción de una fuerza exterior; gracias a esta cualidad se puede mantener cualquier forma que se le dé.
<b>Resistencia a flexión</b>	Es el esfuerzo máximo en la resistencia a la tensión del material, la falla ocurre en la carga máxima, donde la resistencia a la tensión y la resistencia a la ruptura son iguales. La falla ocurre en

PROPIEDAD	CARACTERÍSTICA
	la carga máxima, donde la resistencia a la tensión y la resistencia a la ruptura son iguales [4] [11].
<b>Variabilidad dimensional</b>	Los límites son lo suficientemente cerrados para permitir el funcionamiento de las partes ensambladas y amplios como lo permita la funcionalidad [4] [11].
<b>Refractariedad:</b>	Se refiere a la resistencia a los aumentos de temperatura. Todas las arcillas tienen esta propiedad, pero algunas presentan un mayor grado de refractariedad esto se debe al contenido químico de alúmina y sílice.
<b>Porosidad</b>	La porosidad de las arcillas varía de un tipo a otro. Esta propiedad depende mucho del tamaño de grano que tenga la arcilla. Si la arcilla tiene un tamaño de grano grande la porosidad será mayor que la de una arcilla con un tamaño de grano pequeño las arcillas con granos pequeños quedan más unidas unas con otras Esto evita que se acumule tanta agua entre ellas y al momento de que se cueza la pieza, disminuyen las cavidades provocadas por la evaporación del agua.

Estas propiedades permiten facilitar su trabajo, se moldea con facilidad y permite la creación de diferentes objetos sea de uso cotidiano, o de construcción, sin embargo, para trabajar estos componentes se debe conocer qué tipo de arcilla es, esto se analizará a continuación.

### 2.3.2 Clasificación de arcillas

Para la clasificación de las arcillas se especifica lo siguiente:

**Tabla 3:** Clasificación de arcillas [12]

<b>TIPOS DE ARCILLA</b>	<b>CONCEPTO</b>
<b>Arcillas plásticas</b>	Se caracteriza por estar conformada por partículas finas, plásticas fácil de manipular y con un alto elevado grado de contracción.
<b>Arcillas refractarias</b>	Estas tienen resistencia a temperatura elevada de 1500 grados centígrados [12].
<b>Caolín</b>	Son arcillas medio plásticas y por el tamaño de partículas suelen perder la plasticidad cuando se funden a 1800 grados centígrados [12].
<b>Arcilla de alfarería</b>	Arcilla roja: La pasta tiene mayor índice de facilidad de moldear. Arcilla Azul: Es un material con un alto nivel de plasticidad por lo que hacen menos aceptadas para hacer tejas y ladrillos [12].

Las arcillas que se usan en la elaboración de las tejas es la roja de alfarería, usada usualmente en La Victoria, para conocer de mejor forma el campo de estudio se analiza la variable de las tejas, en especial las de La Victoria.

#### **2.4 Teja como material de construcción**

La teja es un material usado en la construcción de viviendas y edificios, empleado por su bajo costo y durabilidad; al buscar su conceptualización se analizó el manual de Albañilería de Juan Villanueva, donde se menciona a la teja como una plancha de barro que permite cubrir la construcción gracias a los planos inclinados de las armaduras y cubiertos de las edificaciones, se destacan por su ligereza y tamaño ideal para ser manejada y remplazada con facilidad. [13]

Las tejas por su gran versatilidad contribuyen a la obtención de diversas formas, estas se logran gracias a un proceso de prensado, extrusión, secado y cocción. Su principal objetivo es aislar la estructura, por lo que este material es resistente al fuego, al aislamiento térmico, lluvia y heladas.

Las tejas se realizan con arcilla, este ha sido un material de construcción usado por civilizaciones anteriores, y se lo emplea en su mayoría como material de cobertura en techos; es una solución flexible y adaptable en la construcción, también este material permite mejorar las condiciones de aislamiento térmico y drenaje de agua lluvia. [3]

### 2.4.1 Procesos de fabricación:

Por lo general el proceso de fabricación se realiza al aire libre, y cuentan con seis etapas principales, de estas pueden desenvolverse sub etapas dependiendo de quién elabora el producto:

**Tabla 4:** Procesos de fabricación [14] [12]

<b>Proceso</b>	<b>Esquema de elaboración</b>
<b>Extracción</b>	El material se saca de minas, por lo general a metro cincuenta del suelo. Se cava mediante maquinaria. Se realiza con herramientas de trabajo manual como: pico, pala, carretilla o mecánicamente con una excavadora y volqueta [14] [12].
<b>Preparación del material</b>	Es una mezcla de arcilla en su mayoría a base de pastas rojas.
<b>Amasado:</b>	Se realiza en una mezcladora tipo cubeta, para obtener una pasta consistente y homogénea, para esto se usa agua.
<b>Moldeo</b>	Consiste en pasar la pasta por un cilindro, este método permite mejorar la uniformidad y maleabilidad logrando un prensado uniforme. En algunos casos se usa una extrusadora o una barra de acero y se saca el aire que la masa pueda contener [14] [12].
<b>Secado</b>	Se realiza un secado a temperatura ambiente para evitar resquebrajamiento, pero este secado puede durar de 15 a 20 días, al aire libre en este proceso se pierde humedad [14] [12].
<b>Cocción</b>	Se cuece a altas temperatura en horno, este proceso se divide en tres zonas: precalentado, cocción y enfriamiento; los hornos suelen trabajar a temperaturas máximas de 850° C se usa horno tipo Túnel y tipo Hoftman [14] [12].

## 2.4.2 Clasificación de las tejas cerámicas

Según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 990 las tejas cerámicas se clasifican de acuerdo a su forma y acabado, en los siguientes tipos [15]:

**Tabla 5:** Clasificación de las tejas cerámicas según INEN 990 [15]

CLASIFICACIÓN	NOMBRE	INFORMACIÓN
<b>Tipo A:</b>	La teja común curva	Es la que tiene forma acanalada en el sentido longitudinal, con una ligera reducción de su ancho hacia un extremo [15].
<b>Tipo B:</b>	La teja plana	Es la que tiene la forma de un paralelepípedo regular de espesor muy reducido en relación a sus dimensiones [15].
<b>Tipo C:</b>	La teja vidriada curva	Superficie cubierta por un esmalte brillante, obtenido por la cocción en hornos a alta temperatura [15].
<b>Tipo D:</b>	La teja vidriada plana	Superficie cubierta por un esmalte brillante “consiste en colocar una capa fina de vidrio sobre la superficie de teja bizcochada, este vidrio se aplica en forma de suspensión con agua y siempre se lo coloca en el lomo de la teja” [15].

Mientras que otros clasifican las tejas según sus materiales de la siguiente manera:

**Tabla 6:** Clasificación de las tejas cerámicas según INEN 990 [15]

TIPOS DE TEJAS	CONCEPTOS
<b>Tejas curvas</b>	Cerámicas generalmente, que se emplean para cubiertas inclinadas y permiten aprovechar como buhardilla el espacio que queda bajo cubierta [15]
<b>Tejas planas</b>	Conocidas como de pizarra, cerámica u hormigón, muy usadas para cubiertas planas [15].

---

**Tejas mixtas** Son ordinarias, pueden ser tanto de cerámica como de hormigón [15].

---

Esta clasificación se da por la forma de la teja, luego de analizar estos materiales se analiza el vidrio, para analizar su composición.

## **2.5 Vidrio como material de construcción:**

El vidrio es un material que ha sido usado por el hombre desde hace cientos de años, fue descubierto por los fenicios o egipcios 3000 años A.C. Según [1, 11] define que: “Es un producto inorgánico de fusión, el cual se enfría hasta un estado rígido, pero sin llegar a la cristalización, aunque este material se presenta como sólido, es un fluido de alta viscosidad, su aspecto es duro y por lo general de color transparente. Es un material frágil, de sub-estructura amorfa” (p.34).

El vidrio “no presenta una sub-estructura amorfa, sus moléculas están ordenadas, de forma simplificada” [11]. Este componente conforma la base de la investigación conjuntamente la arcilla.

### **2.5.1 Componentes y fabricación del vidrio**

El vidrio enfatizando a [15] “Está constituido por sílice derivada de arena, cuarzo o pedernal. Así como óxido de sodio como fundente, óxido de calcio como estabilizante químico y mecánico, óxido de aluminio que mejora la resistencia mecánica” (p.65).

Según Peñafiel [11] “las materias que constituyen el vidrio son molidas y almacenadas, pesados y dosificados para proceder a la mezcla, una vez homogeneizado es introducida en hornos de fusión, los materiales son fundidos temperaturas de los 1500 °C, una vez fundido en su totalidad se lleva al refinador, para proceder finalmente a la tarea de figurado mediante estirado, soplado, presión, etc” (p.32).

El vidrio puede ser empleado en una variedad de aplicaciones, por ejemplo: botellas, ventanas, frascos, y utensilios de cocina. “El vidrio con propiedades mejoradas se da gracias a un cambio súbito de temperatura que mejora su resistencia a la flexión y choque térmico, en caso de fragmentarse lo hará en pedazos pequeños, siendo más seguro para evitar accidentes” [11].

El color original del vidrio es verde, por lo que este color en referencia a [2, 15] es el menos perjudicial al momento de usarlo como reemplazo de la arena en el hormigón, ya que reduce la reacción álcali-sílice.

Esto será indispensable al mezclar con arcilla, pues se podrá clasificar el vidrio por su color. Ahora se establecerán algunas propiedades físicas a continuación.

## 2.5.2 Propiedades físicas del vidrio

**Tabla 7:** Propiedades Físicas del vidrio [11]

<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>	<b>CARACTERÍSTICA</b>
<b>Peso Específico</b>	El vidrio comercial generalmente pesa $2.59 \text{ g/cm}^3$
<b>Resistencia a la Compresión.</b>	Esta alrededor de los $10000 \text{ kg/cm}^2$ . Lo que indica su alta resistencia a fuerzas que tienden a comprimirlo
<b>Dureza</b>	Su dureza está en rango 6 a 7 en la escala de Mohs, se usa el mismo valor tanto para vidrio recocido, crudo o templado [11].
<b>Fragilidad</b>	Debido a tensiones localizadas por fisuras imperceptibles en la superficie.
<b>Resistencia a la Flexión</b>	Las fuerzas aplicadas en el vidrio se concentran en los defectos superficiales y pueden propagarse efectivamente debido a que es un material homogéneo [11].
<b>Elasticidad</b>	Al ser frágil solo presenta un comportamiento plástico cuando está a altas temperaturas, se deforma plásticamente desde los $600 \text{ }^\circ\text{C}$ y se funde a los $1000^\circ\text{C}$ [16].
<b>Resistencia a la Tracción</b>	Está en función de las micro fisuras presentes en la superficie, teóricamente se considera cinco veces más resistente que el acero $70000 \text{ kg/cm}^2$ , en la práctica está estimada en alrededor de $1000 \text{ kg/cm}^2$ para vidrio templado y $400 \text{ kg/cm}^2$ para vidrio recocido [16].

Al analizar el proceso de molienda se establece el concepto de molinos que según la referencia [17] hace énfasis en “equipos construidos para lograr triturar o aplastar materiales duros o disminuir el tamaño de sus partículas y clasificarlos, son utilizados en diferentes campos de la industria como: minería, agricultura, alfarería, entre otros” (p.23).

### 2.5.3 Reciclaje del vidrio

Según Peñafiel [11] “El reciclaje del vidrio va de la mano con la reutilización, esto permite reducir el empleo de materias no renovables, no tiene límite en la cantidad de veces que puede ser reprocesado” (p.29).

## 2.6 Materia prima

### 2.6.1 Producción de tejas en la parroquia La Victoria

En la parroquia La Victoria, cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi se elaboran tejas para la venta y su manufactura, se introducen dichos artefactos en hornos, calentados el momento que se produce la cocción [18]. La parroquia La Victoria del Cantón Pujilí, es conocida por su actividad y producción alfarera y se destaca en la provincia de Cotopaxi, esta se encuentra ubicada a 10 Km. Al occidente de Latacunga y a 5 Km. Al norte de Pujilí, al transcurrir del tiempo fueron aprendiendo las técnicas y procesos para la elaboración de vasijas, maceteros, tejas vidriadas, alcancías [19].

### 2.6.2 Arcilla de parroquia La Victoria

En las tejas de La Victoria se ha detectado algunas fallas mecánicas y defectos estructurales como: grietas superficiales, los huecos (porosidad), granos grandes, con respecto a su composición química se muestra la tabla 8.

**Tabla 8:** Composición química de las arcillas [1]

La Victoria								
Elemento	N	P	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B
ppm	28,0	23,0	4,40	0,30	7,00	29,0	0,60	0,90

En este análisis se identificó que la composición química de La Victoria; es una arcilla de baja calidad por no presentar silicato e hidratado de alúmina.

### 2.6.3 Proceso de fabricación de tejas en la parroquia La Victoria:

El siguiente proceso de fabricación parte de la investigación de [1] en la que se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 9:** Proceso de fabricación de tejas en La Victoria [1]

<b>PROCESO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>Extracción</b>	El material se lo extrae a partir de un metro de profundidad de las minas.
<b>Transporte</b>	Con el uso de una volqueta se transporta el material al sector artesanal.
<b>Cubrimiento</b>	Se tapa con plástico para evitar el contacto con agentes externos.
<b>Secado</b>	Se seca al sol por 45m revolviendo con un rastrillo de madera por 8 horas.
<b>Triturado</b>	El material seco se deposita maquina moledora desde la tolva a lonas.
<b>Lavado de arcilla</b>	Para obtener pureza se lava la materia prima y se separan las partículas gruesas.
<b>Mezclado, Amasado y Moldeado Probetas</b>	Se coloca la arcilla triturada semi-húmeda en la mezcladora. Luego con la arcilla totalmente plástica se coloca el barro en un tubo PVC de 4 cm de diámetro por 4 cm de alto, con la ayuda de un martillo de goma para que queden totalmente compactas se presiona con una tabla la masa con la finalidad de que este lisa.
<b>Secado de probetas</b>	Se deja secando por 8 a 9 días
<b>Secado de las tejas</b>	Tiene un tiempo de secado de 8 a 24 horas.
<b>Quema</b>	La quema se hizo en dos tipos de hornos, refractario y de ladrillo el primero llega a los 1000°C y el común alcanza los 800°C Para

PROCESO	DESCRIPCIÓN
	empezar con la quema se debe colocar de manera adecuada la teja al interior del horno [1].

#### 2.6.4 Granulometría obtenida de arcillas en la investigación de Bautista

La distribución granulométrica es otra variable de suma importancia, este método establece el grado de empaquetamiento de las partículas y, por tanto, las propiedades físico-mecánicas de los cerámicos como lo es la: porosidad, absorción de agua, resistencia a la flexión [1]. La distribución granulométrica permite predecir el carácter plástico de la arcilla [10].

Los estudios Granulométricos se tomarán de la investigación [1] que muestran lo siguiente:

**Tabla 10:** Granulometría [1]

Masa Inicial	163.32g	Masa inicial		Promedio	
Tamiz No	mm	Tamiz No	mm	Parcial	Acumulado
3"	75,0	-	-	-	-
2"	50,0	-	-	-	-
1 $\frac{1}{2}$ "	37,5	-	-	-	-
1"	25,0	-	-	-	-
$\frac{3}{4}$ "	19,0	-	-	-	-
$\frac{3}{8}$ "	9,50	-	-	-	-
Nº 4	4,75	-	-	-	-
Nº 10	2,00	0.10	0.10	0.1	99.9
Nº20	0,850	-	-	-	-

<b>Masa Inicial</b>	<b>163.32g</b>	<b>Masa inicial</b>		<b>Promedio</b>	
<b>N°40</b>	0,425	4,23	4,33	2,8	97,2
<b>N°60</b>	0,250	-	-	-	-
<b>N°100</b>	0,150	-	-	-	-
<b>N°200</b>	0,075	29,74	34,07	22,0	78,0

### 2.6.5 Límites líquidos y plásticos de la parroquia La Victoria (investigación de Bautista)

Los resultados obtenidos de los análisis granulométricos, de humedad, plasticidad y límite líquido según las normas establecidas, se pudo evidenciar que los materiales pasados por el tamiz 200, arrojo, partículas finas con un 78%, límite líquido 37%, índice plástico 9,3 y la humedad natural del 5.5% [1].

**Tabla 11:** Límites líquidos y plásticos [1]

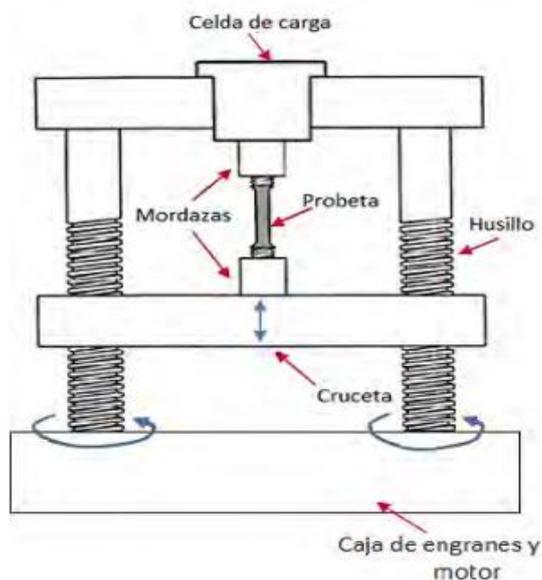
<b>LA VICTORIA</b>					
<b>LÍMITES DE CONSISTENCIA</b>					
<b>LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D-4318)</b>					
<b>MÉTODO MILTIPUNTO</b>					
<b>10</b>	7,22	33,85	26,26	39,9	
<b>18</b>	7,80	32,79	25,90	38,1	
<b>29</b>	7,82	31,38	25,07	36,6	LL:37,1
<b>50</b>	7,33	30,59	24,55	35,1	
<b>LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D-4318)</b>					
	7,74	14,46	13,00	27,8	
	7,74	14,45	12,99	27,8	LP: 27,8
	7,77	14,49	13,03	27,8	

### 2.6.6 Parámetros de análisis de compresión

En la actualidad los materiales compuestos juegan un papel muy importante debido a la necesidad que se tiene en obtener propiedades específicas que difícilmente se encuentran en materiales convencionales. En el presente trabajo se decidió realizar un análisis de la formación y propagación de fracturas en probetas.

En el Centro de estudio [18] se afirma que “para estos análisis se usa una máquina universal que es semejante a una prensa, pero a diferencia de esta, posee la facultad para hacer diversos tipos de ensayos mecánicos, tales como ensayo de compresión, tensión, torsión, etc.” (p.15).

La máquina universal está compuesta por una cruceta que se desplaza verticalmente hacia arriba o hacia abajo, aplicando una fuerza controlada de tracción o compresión sobre la probeta a evaluar y la cual es leída mediante una celda de carga. Dependiendo del rango de la fuerza aplicada a la probeta, las máquinas universales se clasifican en hidráulicas y electromecánicas [20].

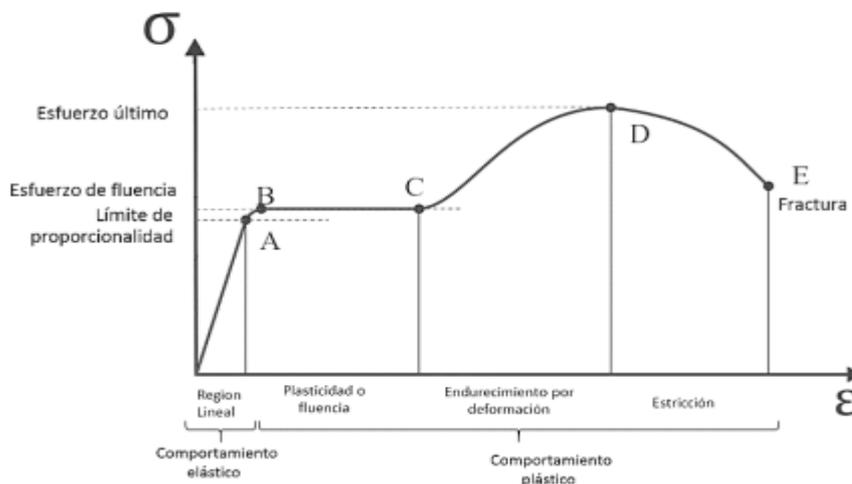


**Figura 1:** Esquema de la estructura mecánica básica de una máquina universal electromecánica. [20]

#### 2.6.6.1 Esfuerzo y deformación

Si una fuerza es estática o cambia de forma relativamente lenta con el tiempo y es aplicada uniformemente sobre una sección del material, el comportamiento mecánico del material puede ser estimado mediante un simple ensayo esfuerzo-deformación [20].

La alteración de la forma o dimensiones de un cuerpo muestra tensiones que lo deforman, estos esfuerzos de tracción causan en la pieza un estiramiento perpendicular a su propia dirección, mientras que los de compresión dan lugar a una contracción provocando fracturas.



**Figura 2:** Diagrama esfuerzo ( $\sigma$ ) - deformación ( $\epsilon$ ) unitarios. [20]

### 2.6.6.2 Fractura

La fractura por definición [20] es “la separación de un cuerpo en dos o más partes varía de acuerdo a las propiedades mecánicas del material y está influida por el tipo de esfuerzo aplicado, la geometría de la muestra y la velocidad de deformación” (p.52). Existen dos tipos generales de fractura: dúctil y frágil [20].

### 2.6.6.3 Propagación de una grieta

Las grietas (cracks en inglés) generalmente ocurren como defectos iniciales o esquinas afiladas del material que está sujeto a carga. Estas áreas más afectadas dan comienzo a una fractura y al estar sometido a una compresión, las tensiones se “concentran” alrededor de la punta de grieta. A esto se conoce como concentración de esfuerzos y cuando las cargas están por encima de cierto umbral, las grietas crecen sin control y eventualmente alcanzarán un tamaño crítico que fracturará el material repentinamente [20].

Es por ello que es de gran importancia detectar las grietas producidas por la fatiga del material y la forma en que se propagan para tomar medidas que eviten que la estructura se deteriore o fracture en el futuro, y esta prueba se realizará con las probetas con partes de arcilla y vidrio molido [10].

### 2.6.7 Ensayo de compresión

---

#### DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES SOMETIDOS A COMPRESIÓN [10].

---

Objetivo del ensayo	Determinar experimentalmente las propiedades mecánicas (límites de proporcionalidad (elasticidad) y fluencia) para materiales de construcción [21].
---------------------	---

Consideraciones teóricas generales.	Resistencia de Materiales del libro de Harmer E. Davis, sobre algunas limitaciones especiales del ensayo de compresión [21].
-------------------------------------	--

1. La dificultad de aplicar una carga verdaderamente concéntrica o axial.	Establecer la maquina correcta para el ensayo [21]
---	--

2. El carácter relativamente inestable de la probeta se acentúa a medida que la carga prosigue [21].	Acomodar correctamente la probeta
--	-----------------------------------

3. La fricción entre los puentes de la máquina de ensaye o las placas de apoyo y las superficies de los extremos de la probeta debido a la expansión lateral de ésta [21].	Esto puede alterar considerablemente los resultados que se obtendrían si tal condición de ensayo no estuviera presente [21].
--	--

4. Una máquina de ensayo para las probetas pequeñas y cortas que tienen deformación de precisión adecuada [21].	Tamaño adecuado de probetas
---	-----------------------------

---

### 2.6.8 Pruebas de compresión de la parroquia La Victoria (investigación de Bautista)

Es un ensayo técnico para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo [1].

**Tabla 12:** Pruebas de compresión [1]

Nº	Muestra	% de cal	% de arcilla	Sección mm <sup>2</sup>	Carga KN	Esfuerzo MPa alto	Factor de corrección	Esfuerzo corr. (MPa)	Dimensiones (mm) diámetro alto
1	1-a. La Victori a cal: 5 g arcilla: 40 g	11,1 1	88,8 9	878,7 8	6,14	6,99	0,926	6,5	33,5 41,1
2	1-a. La Victori a cal: 10 g arcilla: 35 g	22,2 2	77,7 8	1081, 03	6,18	5,72	0,887	5,1	37,1 39,2
3	1-a. La Victori a cal: 15 g arcilla: 30 g	33,3 3	66,6 7	1057, 84	9,93	9,39	0,892	8,4	36,7 39,5
4	1-a. La Victori a cal: 20 g arcilla: 25 g	44,4 4	55,5 6	1104, 47	8,01	7,25	0,893	6,5	37,5 40,6
5	1-a. La Victori a cal: 25 g arcilla: 20 g	55,5 6,	44,4 4	1078, 12	6,64	6,16	0,894	5,5	37,1 40,2

### 2.6.9 Pruebas a flexión de las tejas

Las tejas deben estar sometidas a una carga uniforme, continua y sin golpes, a una velocidad que no exceda los 4550 N/min hasta el momento de fractura. [4]. Referenciando a [1] las pruebas a flexión se realizaron en tejas elaboradas de forma tradicional y los resultados de flexión fueron las siguientes:

**Tabla 13:** Pruebas a flexión tejas comunes, según INEN 990. [1]

VALOR DE PRUEBA (FUERZA)	UNIDAD DE MEDICIÓN	TAMAÑO DE TEJA
	NEWTON (N)	
157	(N)	PEQUEÑO
258	(N)	PEQUEÑO
308	(N)	PEQUEÑO

Estas pruebas de flexión realizadas de las tejas que elaboran los artesanos en la Parroquia La Victoria, se evidenció la baja resistencia evidenciando que el material utilizado no es el adecuado, este contiene un 22% de Arena y un 78% de finos [1] [22].

**Tabla 14:** Norma INEN 990 resistencia a la flexión de las tejas [22]

Resistencia a la flexión, en $kgf/cm^2$		
Tipo de teja	Promedio de cinco tejas	Mínimo para una teja cualquiera
<b>A</b>	100	80
<b>B</b>	70	55
<b>C</b>	100	80
<b>D</b>	70	55

#### 2.6.10 Resistencia a la flexión de tejas

El de ensayo de flexión de las tejas se referencia a las normas ecuatorianas INEN 990, INEN 988 y la norma americana ASTM C67-03ahí se establece el procedimiento adecuado a ser aplicada, este inicia poniendo una carga de manera vertical progresiva sobre la teja la cual debe estar colocada en forma horizontal y en unos soportes que permitirá llegar hasta el punto de ruptura de la teja. En la práctica utilizó la máquina de ensayos universales para la prueba de flexión la cual cuenta con una parte de acero de carga, así como de apoyo [22].

### 2.6.10.1 Procedimiento para la realización del ensayo a flexión

Según la norma (INEN 988, 2009) en su literal 4.3 puntualiza aspectos a cumplirse para realizarse los ensayos a flexión para lo cual se considera los siguientes aspectos [15]:

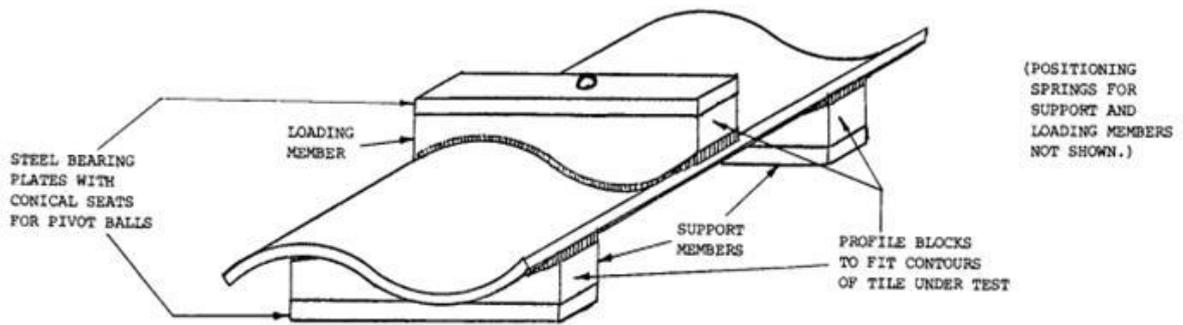
- Determinar el centro de la teja, para ser tomado como referencia de aplicación de carga [23].
- Colocar la muestra con el lomo hacia arriba centrado sobre cuatro puntos de apoyo dos en cada extremo o boca [23].
- Situar dos soportes en cada extremo a 15cm de la línea transversal del centro de la teja, generando un espacio libre de 30cm entre los apoyos.
- Aplicar la carga sobre la superficie preparada a una velocidad de 40 a 50 Kgf/min.
- la resistencia a la flexión de cada muestra está dada por la carga de rotura que indique la máquina (Tinius olsen) [23]

Para cumplir con estas normativas la teja debe probarse en un modo de flexión de tres puntos, en un plano horizontal con la superficie inferior de la teja descansando sobre dos miembros de soporte inferiores con la carga aplicada a la superficie superior expuesta de la teja mediante [1].

Un tercer miembro que se mueve en una dirección perpendicular al plano de la teja y se aplicó la fuerza en la mitad del tramo, es decir que debe equidistar de cada uno de los miembros inferiores del superior [3].

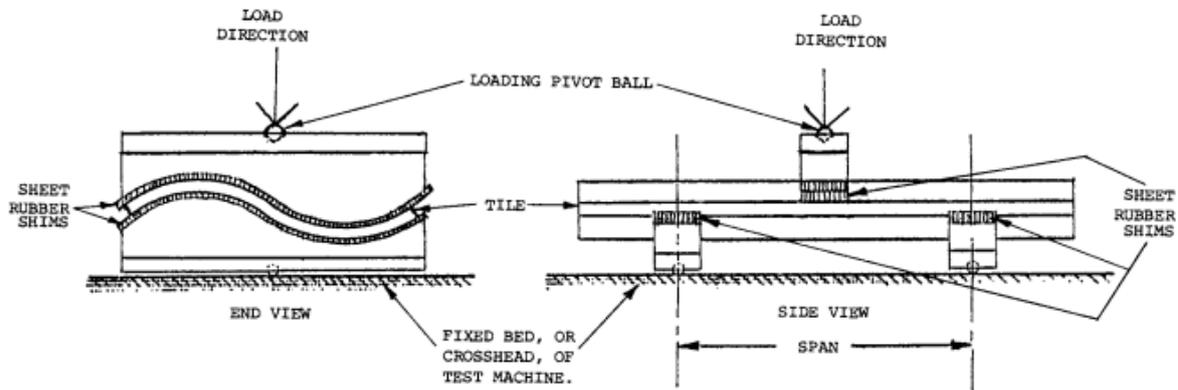
Las condiciones que deben cumplir tanto los soportes inferiores y el soporte de carga deben ser de metal o madera dura con dimensiones de caras de 1 pulg. (25 mm) + - 5% de ancho [1]. Las caras deben estar acorde al diseño del elemento para ajustarse estrechamente al perfil de la superficie de la teja sobre la cual se encuentran durante la prueba [3].

Se debe tener en cuenta que no se pueden usar diferentes perfiles para cada miembro ya que estos van dependiendo del perfil y la sección transversal de la teja, además de ello se debe cubrir los soportes una tira ya sea de goma para que tome la forma de la teja los soportes utilizados para las pruebas [1].



**Figura 3:** ASTM C-1167 disposición de apoyos para ensayos a flexión [1]

Las tejas deben estar sometidas a una carga uniforme, continua y sin golpes, a una velocidad que no exceda las 1000 lbf/min o 4550 N/min hasta el momento de fractura. Se debe considerar el promedio de las cinco pruebas y el resultado individual mínimo [1].



**Figura 4:** Disposición para aplicación de fuerza de ensayos a flexión [1]



**Figura 5:** Disposición de la fuerza de ensayos a flexión

### 2.6.10.2 Condición de pruebas a flexión

El tramo que se elija para la prueba deberá ser de 12 pulg. (30,5 cm) + - 5% o 2/3 de la longitud de la losa, lo que sea mayor según [24] Para conseguir esto el tramo debe ser medido entre los centros de los miembros de soporte inferiores. Para la realización de las pruebas a las cuales serán sometidas las tejas no está prohibido utilizar un tramo más corto que el requerido, cuando la longitud de la teja que se va a probar no es suficiente para permitir el uso de un tramo de 12 pulgadas (30,5 cm) [24]

Type (All Grades)	Wet Transverse Strength, min, lbf (N)		Dry Transverse Strength, min, lbf (N)	
	Average of Five Tiles	Individual Tile	Average of Five Tiles	Individual Tile
Type I—High Profile	300 (1334)	260 (1157)	400 (1779)	350 (1556)
Type II—Low Profile	225 (1001)	200 (890)	300 (1334)	250 (1112)
Type III—Other Tiles	225 (1001)	200 (890)	300 (1334)	250 (1112)

**Figura 6:** Requisitos de resistencia transversal de ruptura norma ASTM C-1127 [1]

## 3 DESARROLLO DE LA PROPUESTA

### 3.1 Diseño experimental

**Tabla 15:**Metodos y técnicas

MÉTODO	TÉCNICA	INSTRUMENTOS
<b>Método histórico-lógico:</b> Este método estudia la trayectoria real de los fenómenos; permite identificar conceptos que se aplican en la investigación, como la selección de normas técnicas y selección de materiales para la fabricación de teja y manejo de vidrio molido y su proceso técnico.	Observación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Taller</li> <li>• prensa de ensayos universales.</li> </ul>

MÉTODO	TÉCNICA	INSTRUMENTOS
<b>Método inductivo-deductivo</b>	Consiste en un procedimiento que parte de afirmaciones en calidad de hipótesis. Se analiza la resistencia de teja al usar vidrio molido.	Observación <ul style="list-style-type: none"> <li>• Libreta de apuntes</li> <li>• Cámara de celular</li> </ul>
<b>Método de modelación</b>	Análisis de esfuerzo y las propiedades físicas y químicas de la arcilla; además de determinar la influencia del vidrio molido.	Observación <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prensa de ensayos</li> <li>• Análisis Granulométrico.</li> </ul>
<b>Método de investigación experimental</b>	Basada a la caracterización físico mecánico de la arcilla junto con el vidrio molido.	Primaria: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis Granulométrico.</li> </ul> Secundaria: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis de Flexión o resistencia.</li> </ul> Documentación
<b>Método computacional</b>	Para la modelación, simulación procesamiento estadístico de los datos experimentales, de este parten las curvas granulométricas.	Documentación <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelación del proceso estadístico computacional.</li> </ul>

## 3.2 Metodología

### 3.2.1 El muestreo

Se deduce de lo establecido por la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 990 [15]. Tejas cerámicas, esta norma específica que se requiere como mínimo 5 unidades para el ensayo de determinación de resistencia a flexión de tejas cerámicas con porcentajes de vidrio molido.

### 3.2.2 Limitación de ensayos y normativa

La evaluación para la determinación de las propiedades físicas - mecánicas de las tejas cerámicas artesanales se realiza según los parámetros especificados por las Normas Técnicas Ecuatorianas **INEN** [15]:

- **NTE INEN 990** (1984): Tejas cerámicas. Requisitos [22].
- **NTE INEN 988** (1984): Tejas cerámicas. Determinación de la resistencia a la flexión [22].
- **NTE INEN 986** (1984): Tejas cerámicas. Definiciones. Clasificación y condiciones generales [22].

Para los ensayos de caracterización de materias primas utilizadas en la manufactura de tejas cerámicas a incluyendo el vidrio molido se establece [22]:

- Límite de flexión
- Análisis Granulométrico – Método Mecánico.

### 3.2.3 Obtención del vidrio reciclado molido

Se reemplazó parcialmente a la arcilla en la fabricación de probetas de tejas, se añadió vidrio en porcentajes que varían del peso del material como lo muestra tablas 17-18-19 que muestran el peso y el tiempo de molido de este material.

Se procedió a realizar la recolección de restos de vidrio procedentes de vidrierías, las mismas que son lavadas con la ayuda de una esponja y agua tibia con el propósito de remover impurezas.



**Figura 7:** Recolección de restos de vidrio



**Figura 8:** Limpieza de vidrio



**Figura 9:** Remoción de impurezas con una espátula

### 3.2.3.1 Selección y secado de la arcilla

Según [1] “Consiste en quitar la humedad con la que el material llega de las minas, esto se lo realizó con la ayuda de la exposición directa al sol”. En el proceso de secado se removió el material. Para asegurar el secado uniforme de la arcilla se la colocó por tiempos de 30 minutos en el piso, dejándola al sol. Para que se vuelva más resistente; este se seca por lo que se compacta, en este punto la arcilla se encuentra lista para el proceso de molienda.



**Figura 10:** Secado de la arcilla.



**Figura 11:** Arcilla seca, lista para el proceso de molienda.

### 3.2.4 Triturado de vidrio molido y arcilla

El proceso del triturado se lo realizó llevando el material seco hacia una máquina moledora [1].

**Tabla 16:** Datos de la máquina trituradora y molienda del vidrio

<b>MÁQUINA TRITURADORA DE VIDRIO</b>	
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	<b>MOLINO DE BOLAS</b>
Tipo de energía	Eléctrica
Tipo de transmisión	Engranés
Entrada de producto	Manual con posibilidad a automática
Salida de producto	Semiautomática
Tipo de motor	Trifásico/Reductor
Operación y control	Automática
Seguridades	Automática
Ensamble	Modular
Dimensionamiento	Compacto
<b>MATERIAL PARA MOLIENDA:</b>	<b>VIDRIO</b>

Este tipo de molino se utilizó principalmente en la molienda fina de minerales. Su relación longitud/diámetro está entre 1 y 2. Sirvió para la trituración de materiales secos o húmedos provenientes de minas [17].



**Figura 12:** Molino de bolas

El molino de bolas es una estructura cilíndrica que gira alrededor de su eje. Las bolas de acero están ubicadas en el centro del cilindro y las mismas bolas se usan para moler los componentes. Se utiliza para la aplicación en: cementos, materiales de construcción, cerámica y vidrio; utilizadas en las industrias: minera, metalúrgica, siderúrgica y cementera.



**Figura 13:** Molienda de vidrios



**Figura 14:** Molida de vidrios

Posteriormente, se trasladó el material al sitio donde se encuentra la máquina trituradora, se introdujo en la boca del triturador los pedazos de vidrio y se obtuvo un material de tamaño adecuado para ser considerado en el reemplazo parcial de la arcilla. Para descartar cualquier inconveniente se tamiza el vidrio; seguidamente se realizó el ensayo de granulometría, determinando que el tamaño de la muestra obtenida, es apta para reemplazar la arcilla.

El vidrio reciclado para su respectiva molienda fue previamente secado y posteriormente se introdujo en el molido para ser triturado. “Para el proceso de molienda del vidrio es importante usar equipo mínimo de seguridad como guantes y gafas” [11].



**Figura 15:** Puesta en marcha del sistema del molino

El proceso de puesta en marcha del sistema del molino de bolas para la trituración del vidrio permitió establecer el tiempo de molido; primero se acciona los interruptores para su respectivo inicio, verificando la función de la máquina, estableciendo en cero el cronómetro.



**Figura 16:** Molino de bolas

Proceso de molienda de vidrio dentro del molino de bolas. Luego se procede al retiró del vidrio ya triturado para su respectivo tamizado.



**Figura 17:** Pesaje del vidrio molido



**Figura 18:** Pesaje del vidrio molido

Estas muestras se lograron tomando para cada muestra 3 lb en distintos tiempos de molienda, estos datos se analiza la mejor calidad de grano de arcilla.



**Figura 19:** Arcilla pasada para el ingreso al molino de bolas.



**Figura 20:** Obtención de la arcilla triturada en el molino de bolas.



**Figura:** Pesaje de arcilla molida 3lb.

Para cada muestra se utilizó el mismo porcentaje de arcilla de 3lb, pero en distintos tiempos de molienda. A continuación, se obtuvieron las siguientes muestras para posteriormente establecer las muestras para el análisis granulométrico.

**Tabla 17:** Cantidad y tiempo de material triturado de 6lb

# MUESTRA	MATERIAL: VIDRIO RECICLADO	CANTIDAD	TIEMPO
<b>Descartado</b>	Vidrio molido	6lb	10 minutos
<b>Descartado</b>	Vidrio molido	6lb	20 minutos
<b>Descartado</b>	Vidrio molido	6lb	30 minutos

**Nota:** Muestras no utilizadas para el proceso del análisis granulométrico debido a que no cumplió con la cantidad necesaria para el muestreo en el análisis granulométrico.

**Tabla 18:** Cantidad y tiempo de material triturado de vidrio molido 6lb

# MUESTRA	MATERIAL: VIDRIO RECICLADO	CANTIDAD	TIEMPO
<b>M1</b>	Vidrio molido	3lb	10 minutos
<b>M2</b>	Vidrio molido	3lb	20 minutos
<b>M3</b>	Vidrio molido	3lb	30 minutos

**Tabla 19:** Cantidad y tiempo de material triturado de arcilla 3lb

# MUESTRA	MATERIAL: ARCILLA	CANTIDAD	TIEMPO
<b>M4</b>	Arcilla	3lb	20 minutos
<b>M5</b>	Arcilla	3lb	15 minutos
<b>M6</b>	Arcilla	3lb	10 minutos

### 3.2.5 Granulometría

### 3.2.6 Equipo para el tamizado de vidrio y arcilla



**Figura 21:** Tamices utilizados para el análisis granulométrico según norma ASTM E11 Tamiz #6, Tamiz #12, Tamiz #40, Tamiz #50, Tamiz #100, Tamiz #140, Tamiz #200.

Es conocido como un procedimiento que logra separar las partículas de acuerdo a sus tamaños. Este proceso consiste en varios tamices de diferentes tamaños que están fabricados en acero y en bronce en serie, los mismos que acumularán los distintos tamaños de grano como se muestra continuación.

Se debe recordar que el estudio se ejecutó bajo Norma ASTM E11 donde se consideró como áridos finos a aquellos que pasan por una malla # 200. Los áridos deben ajustarse a estas normas, los tamices se detallan en la tabla 21.

El tamizado se realizó en una criba eléctrica, en la cual permaneció el material, en este caso el vidrio molido 15 minutos y la arcilla 10 minutos. Luego se pesó cada tamiz con el retenido y sin este; y por diferencia se logró saber la masa del material que hay en cada tamiz. Posteriormente, se calculan sus porcentajes en peso, con respecto a la muestra original.

**Tabla 20:** Factores de valoración para cada tamiz.

<b>Número de tamiz</b>	<b>Apertura (mm)</b>	<b>Factor (<math>\delta</math>)</b>
6	3.36	3
12	1.68	5
40	0.42	30
50	0.29	40
100	0.149	70
140	0.105	100
200	0.074	200
> 200	0.05- 0.10	300

**Tabla 21:** Datos de la máquina tamizadora

<b>MÁQUINA TAMIZADORA</b>	
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	<b>MÁQUINA TAMIZADORA</b>
Tipo de energía	Eléctrica
Tipo de transmisión	Engranés
Entrada de producto	Manual
Tipo de motor	Bifásico
	1730 RPM
Voltaje	110/220
Operación y control	Automática
Dimensionamiento	Compacto
<b>MATERIAL PARA TAMIZAR:</b>	<b>VIDRIO Y ARCILLA</b>



**Figura 22:** Selección de la máquina tamizadora.



**Figura 23:** Granulometría del vidrio molido.



**Figura 24:** Granulometría del vidrio molido mediante el proceso de tamizado.



**Figura 25:** Granulometría del vidrio

### 3.2.6.1 Coeficiente de uniformidad (CU)

Se define como la relación entre el diámetro correspondiente al 60% del peso del material y el diámetro por el que pasa el 10% del material [25]:

$$Cu = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (3-1)$$

Si el coeficiente de uniformidad es menor de 5 la granulometría es uniforme, si está comprendido entre 5 y 20 el suelo es poco uniforme y si es mayor de 20 se trata de un suelo bien gradado [26].

### Coeficiente de curvatura (CC)

Se define como:

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10} * D_{60})} \quad (3-2)$$

Mide el grado de curvatura de la granulometría. Un suelo bien gradado tendrá un porcentaje en huecos menor, por tanto, tendrá una densidad mayor, serán suelos menos compresibles, más impermeables y más fáciles de trabajar en obra [27].

Los resultados de esta parte de la investigación se encuentran en análisis y discusión de resultados.

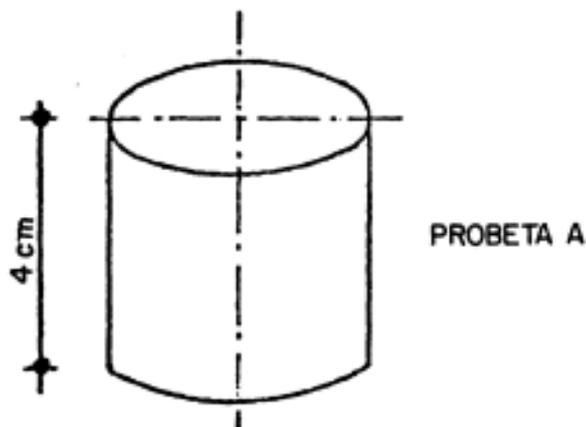
## 3.2.7 Fabricación de las probetas

### 3.2.7.1 Amasado y moldeado probetas.

Se lo realizó con la arcilla completamente plástica, colocando el vidrio molido en diferentes porcentajes en un molde elaborado de tubo PVC de 40 mm de diámetro por 40 mm de alto, presionándolo con la ayuda de un martillo de goma con la finalidad que las probetas cilíndricas queden totalmente compactas [28].

### 3.2.7.2 Probeta de PVC

Este es el trabajo permitió obtener la resistencia de las probetas de arcillas, estas serán de forma cilíndrica de 40 mm de diámetro y 40 mm de altura. [1]



**Figura 26:** Cilíndricas de 4 cm de diámetro y 4 cm de altura [28]

**Nota.** La resistencia a compresión Garralón Jorba

- **Datos:**

Superficie de la base =  $12,566 \text{ cm}^2$  [28]

Volumen del cilindro =  $50,265 \text{ cm}^3$  [28]

Peso aproximado con densidad aparente de  $2,36 \text{ g/cm}^3 = 118,626 \text{ g}$

### 3.2.7.3 Fabricación de las muestras de probetas

Se fabricaron 160 series de tres probetas. Estas series provienen de amasadas distintas, realizadas con la misma dosificación, de cada amasada se toman tres probetas cilíndricas de 40 mm x 40 mm (A) [28] al romper las tres probetas de cada tamaño, se obtiene un solo valor medio que representa la amasada [28].

### 3.2.8 Secado de probetas

Este proceso se efectuó bajo sombra durante 8 a 9 días aproximadamente, cuando se secan el tubo PVC se va despegando del cilindro. Este proceso se lo efectuó bajo sombra de una manera muy cuidadosa para que las tejas no se tricen o se rompan, dependiendo de las condiciones climáticas se las deja reposar 8 a 24 horas [28].

#### 3.2.8.1 Amasado y moldeado probetas.

Se elaboró un total de 9 probetas, 3 probetas con cada resultado del tamizaje de los tiempos de vidrio molido con arcilla, en cada mezcla se utilizó el material que nos quedó en el último tamiz (Tara) [28]. La mezcla debe estar completamente plástica, colocando

el barro en un molde elaborado de tubo PVC de 4 centímetros de diámetro por 4 centímetros de alto, como se mencionó anteriormente, colocando la mezcla en un molde rectangular, golpeándola suavemente con las manos, haciendo que el material se distribuya por todo el molde para quedar totalmente compactas.



**Figura 27:** Corte a medida de los moldes para elaboración de probetas



**Figura 28:** Acondicionamiento del tubo PVC para elaboración de las probetas



**Figura 29:** Verificación de medidas de los moldes para las probetas

**Tabla 22:** Especificaciones de porcentajes utilizados en la elaboración de las probetas

# Muestra	%arcilla %vidrio	Cantidad de material en gramos		
		Arcilla	Vidrio molido	Agua
<b>A1</b>	90% - 10%	67,5 gr	7,5 gr	28 gr
<b>B1</b>				
<b>C1</b>				
<b>A2</b>	80% - 20%	60 gr	15 gr	28 gr
<b>B2</b>				
<b>C2</b>				
<b>A3</b>	70% - 30%	52,5 gr	22,5 gr	28 gr
<b>B3</b>				
<b>C3</b>				

**Interpretación:** En la siguiente tabla se menciona el número de probetas realizadas con los distintos tiempos de molienda de vidrio. Para el tiempo de molienda de vidrio de 10 minutos se ejecutaron las muestras A1, A2, B2 con los porcentajes de material mencionados anteriormente. Para el tiempo de 20 minutos de molienda de vidrio se procedió a elaborar las muestras B1, B2, B3 y para los 30 minutos de molienda de vidrio se ejecutó las probetas C1, C2, C3 respectivamente.

**Tabla 23:** Especificación de los pesos de los recipientes utilizados

# Muestra	%arcilla %vidrio	Cantidad de material en gramos		
		Arcilla	Vidrio molido	Agua
A1				
B1	90% - 10%	83,5gr	23,5 gr	30 gr
C1				
A2				
B2	80% - 20%	76 gr	31 gr	30 gr
C2				
A3				
B3	70% - 30%	68,5 gr	38,5 gr	30 gr
C3				

**Nota.** Para mezcla de muestras para la arcilla y vidrio recipiente = 16 gramos y para el recipiente de agua = 0,02 gramos

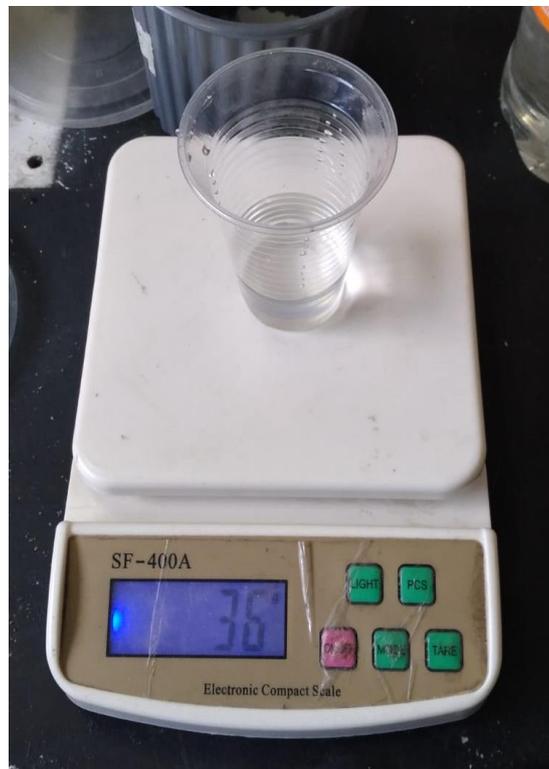
**Figura 30:** Porcentajes de vidrio 38gr

**Nota.** Lo que nos quedó en la Tara para la elaboración de las 9 probetas para los diferentes tiempos de molienda de vidrio.



**Figura 31:** Porcentajes arcilla 83gr

**Nota.** En conjunto mezclado con los porcentajes de vidrio molido y la utilización de los moldes se pudo compactar la muestra en la creación de las probetas.



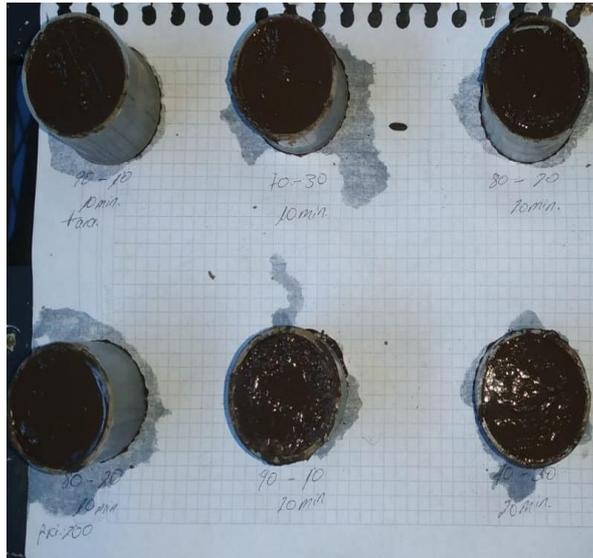
**Figura 32:** Porcentaje de agua utilizada para mezclar la arcilla y el polvo de vidrio para obtener una mezcla completamente plástica.

**Interpretación:** Para cada muestra se utilizó los mismos porcentajes, lo que cambia son los tiempos de molienda del vidrio, en este caso para las muestras A1, B1, C1 se utilizó 90% de arcilla que sería 83 gramos y 10% de polvo de vidrio será 23 gramos y para la mezcla 36 gramos de agua.

Para las muestras A2, B2, C2 se empleó un 80% de arcilla que será 76 gramos y 20% de polvo de vidrio que es de 31 gramos y la misma cantidad de agua de 36 gramos para la mezcla. Para las muestras A3, B3, C3 se tomó un 70% de arcilla, 69 gramos y un 30% de polvo de vidrio, que son 38 gramos y 36 gramos de agua para la respectiva mezcla.



**Figura 33:** Mezcla de los materiales de acuerdo a los porcentajes pesados para su elaboración de probetas.



**Figura 34:** Resultado del proceso de mezclado

En esta imagen presenta las probetas con diferentes porcentajes de vidrio molido con la arcilla y añadidura de agua para generar mezcla plástica y puesto en los moldes para su posterior secado.

### 3.2.9 Ensayo a compresión de probetas de arcilla

En el ensayo para la determinación de la compresión de las probetas de arcilla con polvo de vidrio, se basó en la resistencia a la compresión de una probeta, donde se analiza el máximo esfuerzo que este rinde cuando se aplica una fuerza normal, dando como consecuencia una deformación constituida por una contracción longitudinal y un ensanchamiento transversal [29].



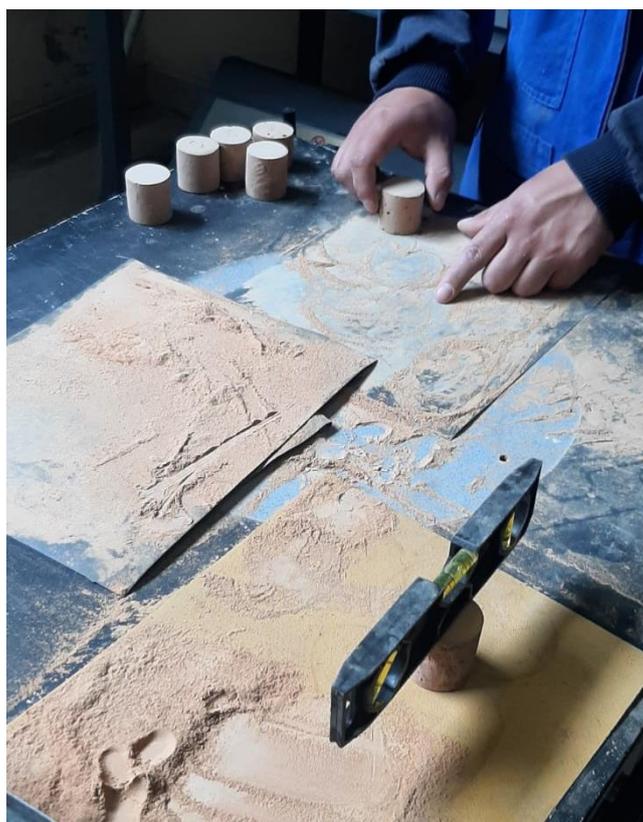
**Figura 35:** Ensayo a compresión de probetas de arcilla

### 3.2.9.1 Determinación de la masa

Para obtener una masa adecuada para la elaboración de las probetas se rige a las medidas y porcentajes, al mezclar con mucha agua no da una buena mezcla, después de secar las probetas 7 días, se prepara para el quemado en el horno durante dos horas y media; posteriormente se deja enfriar 3 horas para limpiarlas y poder ingresarlas en la máquina Tinius Olsen para el análisis a compresión de las probetas.

### 3.2.9.2 Medición de tamaño de probetas

Mediante un proceso de lijado de las probetas se quitan imperfecciones para lograr obtener una forma de cilindro que sea adecuado para realizar el ensayo de resistencia, proceso en el cual se utilizó una lija #150; por medio del desprendimiento del material (arcilla) se obtuvo unas probetas con la forma más adecuada para su respectivo análisis y como punto final un nivel que permite comprobar que los extremos del cilindro estén dentro del margen permitido para el ensayo de resistencia.



**Figura 36:** Medición

### 3.2.9.3 Resistencia a compresión

Para la realización del ensayo se utilizó la máquina Tinius Olsen la cual permite obtener datos de la fuerza que se ejerce sobre las probetas, por medio de interfaz automatizada, la cual brinda de forma visual los datos que resiste cada una de las probetas.

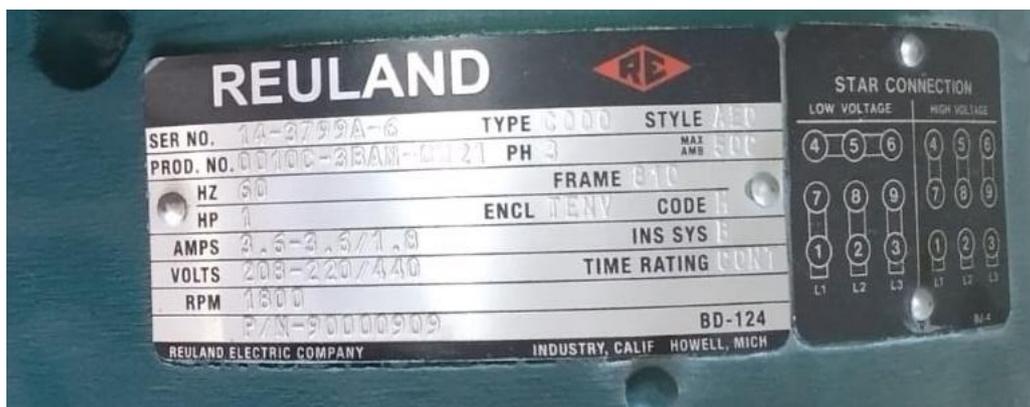


**Figura 37:** Máquina Tinius Olsen

### 3.2.9.4 Máquina Tinius Olsen

**Tabla 24:** Descripción de la maquina

<b>Máquina Tinius Olsen</b>	<b>Motor de la máquina</b>
<b>SL CONSOLE 600,00 N</b>	<b>SER NO:</b> 14-3799A-6
<b>P/N:</b> 03070300.3~220V 60Hz 4KVA	<b>PROD.NO:</b> 0010C-3BAM-0021
<b>S/N:</b> 326857	<b>Hz:</b> 60 <b>PH:</b> 3
	<b>HP:</b> 1
	<b>AMPS:</b> 3.6-3.6/1.8
	<b>VOLTS:</b> 220/440
	<b>RPM:</b> 1800



**Figura 38:** Placa del motor de la máquina

### 3.2.10 Ensayo de las tejas curvas sometidas a flexión

Para realizar el ensayo de flexión de tejas, en la Norma INEN 988; este ensayo se realiza con la aplicación de una carga vertical progresiva sobre una teja colocada de forma horizontalmente sobre unos soportes separados hasta llegar a la rotura. [15]

**Tabla 25:** La norma técnica ecuatoriana INEN 988 [15]

PROCEDIMIENTO	DESCRIPCIÓN
<b>Aparato:</b>	Se utilizará una máquina apropiada para los ensayos de flexión. Las piezas de carga y apoyo serán de acero. Las partes en contacto con la muestra serán cilíndricas y las líneas de contacto deberán mantenerse perfectamente paralelas [15].
<b>Preparación de la muestra</b>	Se someterán al ensayo por lo menos cinco tejas enteras, desecadas en una estufa entre 110° 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 [15].
<b>Procedimiento:</b>	Colocar la muestra de ensayo, con el lomo hacia arriba, centrada sobre cuatro puntos de apoyo, dos en cada extremo o boca [15].

PROCEDIMIENTO	DESCRIPCIÓN
	<p>Colocar los dos soportes de cada extremo exactamente a 15 cm de la línea transversal del centro de la teja, dejando, por lo tanto, un espacio libre de 30 cm entre los apoyos [15].</p> <p>Aplicarla carga sobre la superficie preparada a la velocidad de 40 a 50 kg/min [15]</p>
<p><b>Cálculo e informe de resultados</b></p>	<p>La resistencia a la flexión de cada muestra está dada por la carga de rotura que indique la máquina [15].</p> <p>Se tomará como resultado la media aritmética de los valores obtenidos en las cinco muestras ensayadas, consignándose también los dos valores extremos [15].</p>

### 3.3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Se realizó el análisis granulométrico a tres muestras de vidrio molido, como de arcilla a distintos tiempos de molienda, las cuales para la muestra uno del vidrio molido lo tomaremos como (M1) en un tiempo de 10 min, la segunda (M2) en un tiempo de 20 min, la tercera (M3) en un tiempo de 30 min y para la arcilla la muestra uno lo tenemos como (M4) en un tiempo de 20 min, la segunda (M5) en un tiempo de 15 min, la tercera (M6) en un tiempo de 15 min, reflejadas en tabla 26. Para el respectivo análisis granulométrico primero se necesita las muestras del material.

Primero deben ser pesadas y posteriormente deben ser puestas en los tamices en donde mediante la agitación de la máquina irán pasando de mayor a menor medida en los tamices. Luego de tener ya los diferentes resultados de retenido en los tamices utilizados se pesa uno a uno y con el valor de peso total que se inició el proceso se obtienen los porcentajes que se retuvieron en los diferentes tamices y así se consigue las diferentes curvas granulométricas que se pueden observar:

### 3.3.1 Vidrio molido granulometría por tamizado (ASTM E11)

**Tabla 26:** Análisis granulométrico del vidrio molido en un tiempo de 10 min.

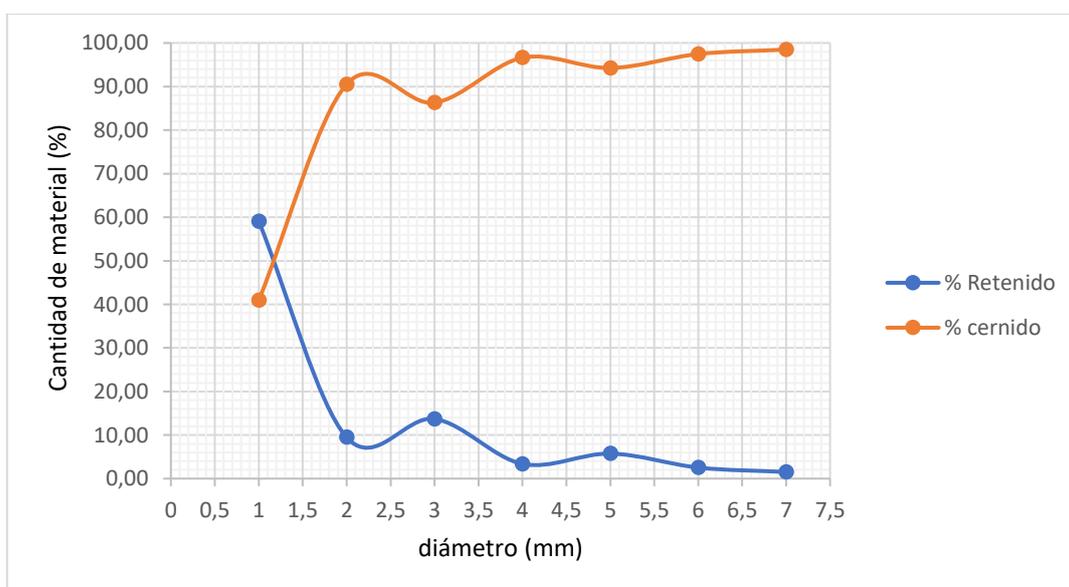
3 lb 10 min M1						
# de Tamiz	Abertura (mm)	Retenido (g)	% Retenido	% R. acumulado	% Pasa	% cernido
6	3,36	791,51	59,06	59,06	40,94	40,94
12	1,68	127	9,48	68,54	31,46	90,52
40	0,42	183,7	13,71	82,24	17,76	86,29
50	0,29	45,35	3,38	85,63	14,37	96,62
100	0,149	77	5,75	91,37	8,63	94,25
140	0,105	34	2,54	93,91	6,09	97,46
200	0,075	20,4	1,52	95,43	4,57	98,48
Tara (> 200)		61,2	4,57	100,00	0,00	95,43
<b>TOTAL</b>		1340,16	100		100	0,00

**Módulo de Finura (MF): 3,86**

**Origen:** Reciclaje de vidrio

**Elaborado por:** Barreno Jonathan, Caisa Jhonathan.

**Masa del Agregado:** 9 lb

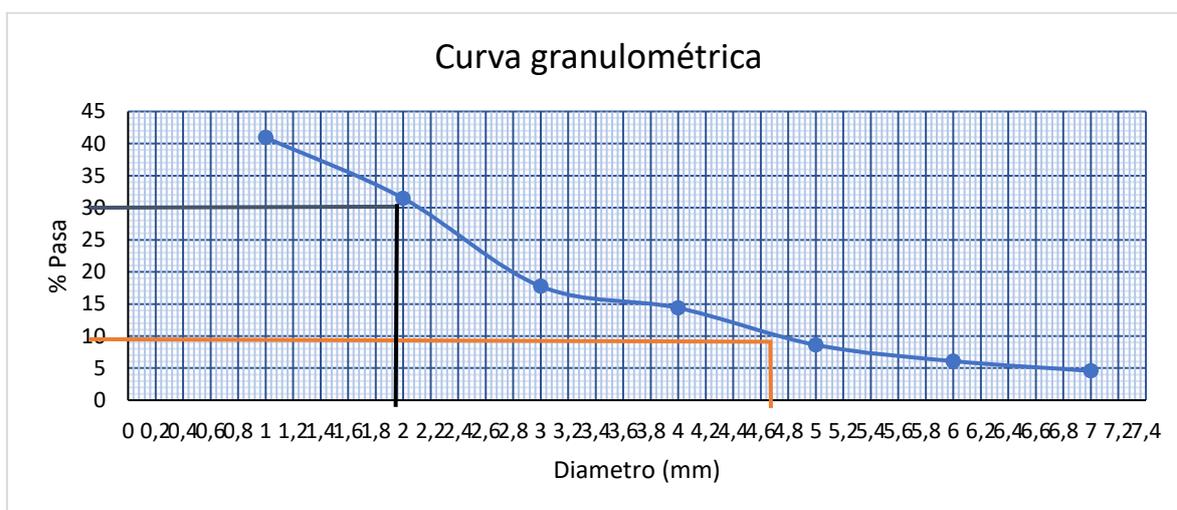


**Figura 39:** Determinación del tamaño de partículas de vidrio molido (M1).

**Interpretación de la curva granulométrica (M1):** El vidrio reciclado molido fue tamizado según los tamices ASTM E11 para determinar la granulometría del agregado

fino, en la gráfica se presenta el porcentaje del retenido y del cernido en este caso según la gráfica M1 nos dice que el 59% partículas de vidrio se retiene en el tamiz #6 y se cierne el 41% en el tamiz #6, en un tiempo de tamizado de 15 minutos la misma que está dentro de los límites permisibles, el vidrio en este ensayo tiene un módulo de finura (MF) de 3.86 considerándose apto para la dosificación de arcilla al estar cerca del rango establecido  $2.3 \leq MF \leq 3.1$ .

### Interpretación de la curva granulométrica (M1), Coeficiente de uniformidad (CU) Y Coeficiente de curvatura (CC)



**Figura 40:** Determinación de la curva granulométrica.

**Interpretación:** Mediante la figura #48 se realiza el proceso para determinar los diámetros característicos tales como  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  y  $D_{60}$ . El D se refiere al tamaño del grano o diámetro aparente de la partícula de suelo y el subíndice (10, 30, 60) denota el porcentaje de material más fino. Según el gráfico se obtiene:  $D_{10} = 4,7$ ;  $D_{30} = 2,12$  y  $D_{60}$  no genera ningún valor por tal razón se asumen como valor de 0. Esto se calculó en base a las ecuaciones 3-1 y 3-2

**Coeficiente de uniformidad Cu:**

$$Cu = 0$$

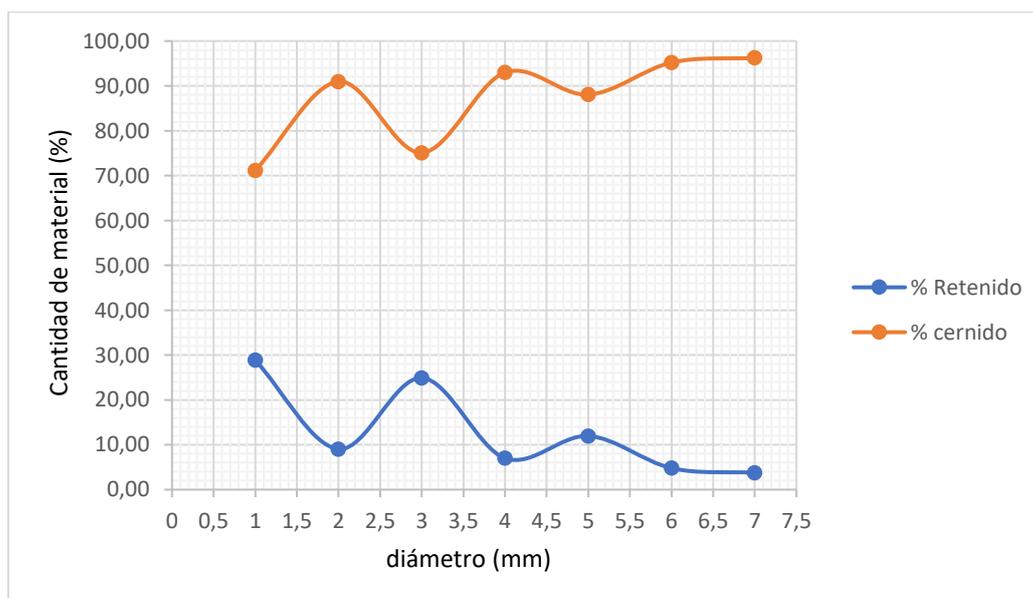
**Coeficiente de curvatura Cc:**

$$Cc = 0$$

**Tabla 27:** Análisis granulométrico del vidrio molido en un tiempo de 20 min.

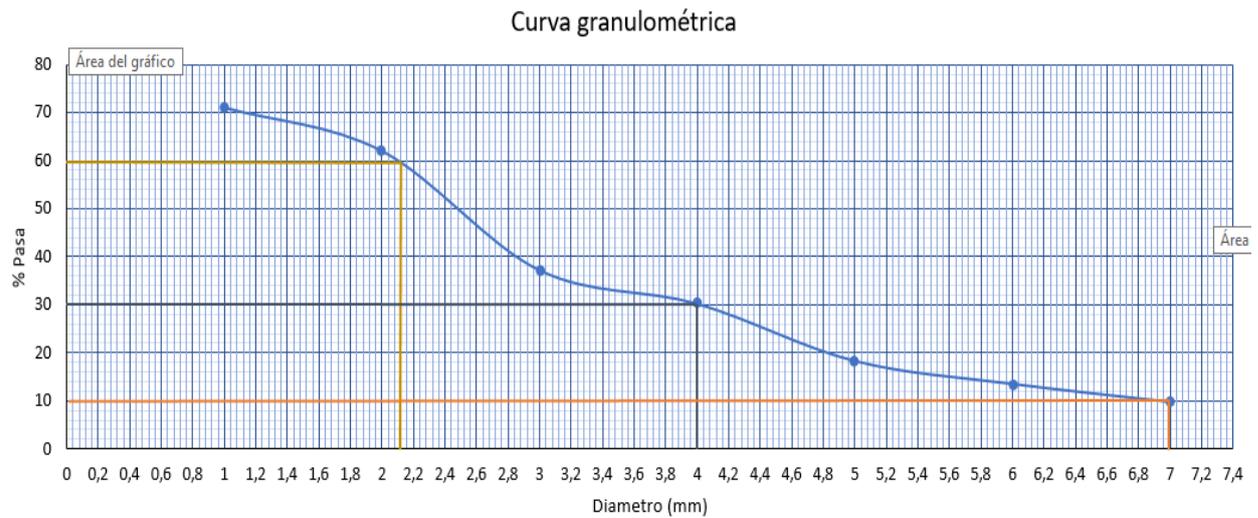
<b>3 lb 20 min M2</b>						
# de Tamiz	Abertura (mm)	Retenido (g)	% Retenido	% R. acumulado	% Pasa	% cernido
6	3,36	383,28	28,84	28,84	71,16	71,16
12	1,68	120,2	9,04	37,88	62,12	90,96
40	0,42	331,12	24,92	62,80	37,20	75,08
50	0,29	92,98	7,00	69,80	30,20	93,00
100	0,149	158,75	11,95	81,74	18,26	88,05
140	0,105	63,5	4,78	86,52	13,48	95,22
200	0,075	49,89	3,75	90,27	9,73	96,25
Tara (> 200)		129,27	9,73	100,00	0,00	
<b>TOTAL</b>		1328,99	100,00		100	

**Módulo de Finura (MF): 2,81**

**Figura 41:** Determinación del tamaño de partículas de vidrio molido (M2).

**Interpretación de la curva granulométrica (M2):** En la gráfica M2 en este caso nos dice que el 50% partículas de vidrio se retiene en el tamiz #6, #40, #100 y se cierra el 71% en el tamiz #6, la misma que está dentro de los límites permisibles, el vidrio en este ensayo tiene un módulo de finura (MF) de 2,81 considerándose apto para la dosificación de arcilla al dentro del rango establecido  $2.3 \leq MF \leq 3.1$ .

**Interpretación de la curva granulométrica (M2), Coeficiente de uniformidad (CU) Y Coeficiente de curvatura (CC)**



**Figura 42:** Determinación de la curva granulométrica (M2),

**Interpretación:** de acuerdo al proceso de molienda de vidrio reciclado y con la obtención de diferentes muestras se realizó el tamizaje de las mismas, con los cual se obtuvo la respectiva curva granulométrica que se puede visualizar en la gráfica #50 donde nos arroja datos para determinar los diámetros característicos de los granos y así calcular los coeficientes de uniformidad y curvatura. Según el grafico se obtiene:  $D_{10} = 7$ ;  $D_{30} = 4$  y  $D_{60} = 2,12$ . Basado en las ecuaciones 3-1 y 3-2

**Coeficiente de uniformidad Cu:**

$$Cu = 0,3028$$

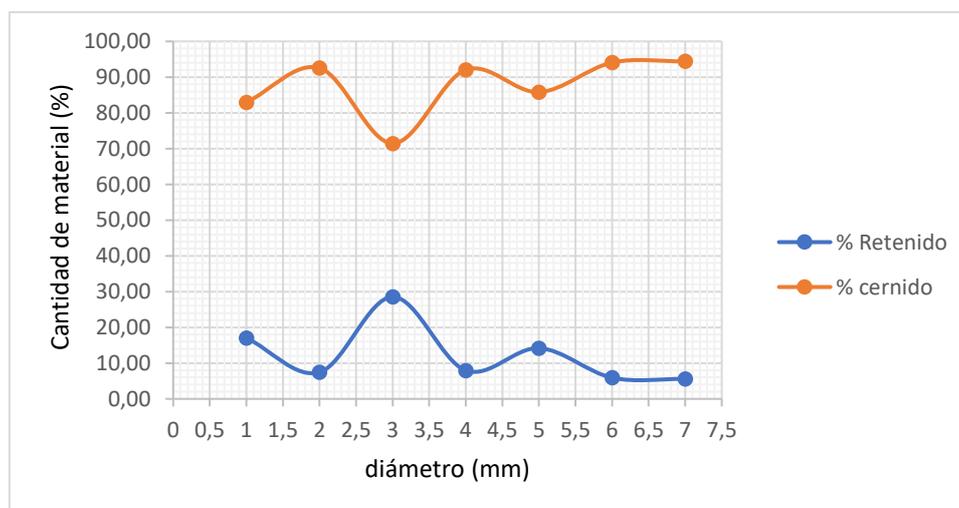
**Coeficiente de curvatura Cc:**

$$Cc = 1,078$$

**Tabla 28:** Análisis granulométrico del vidrio molido en un tiempo de 30 min.

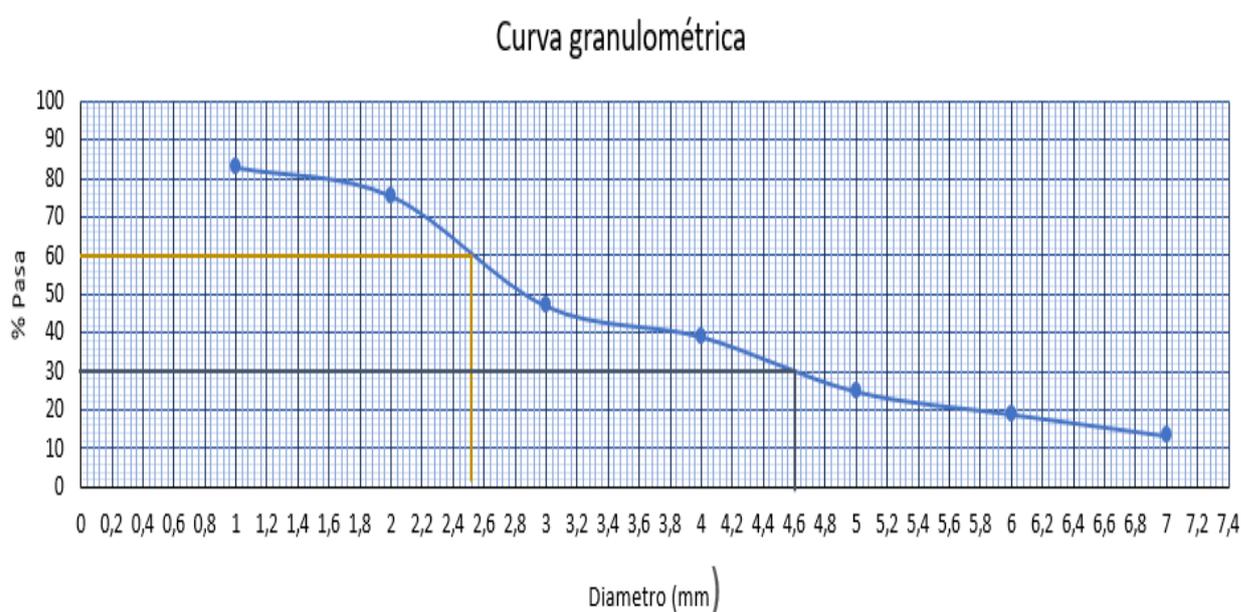
<b>3 lb 30 min M3</b>						
# de Tamiz	Abertura (mm)	Retenido (g)	% Retenido	% R. acumulado	% Pasa	% cernido
6	3,36	229,06	17,06	17,06	82,94	82,94
12	1,68	99,79	7,43	24,49	75,51	92,57
40	0,42	383,28	28,55	53,04	46,96	71,45
50	0,29	106,59	7,94	60,98	39,02	92,06
100	0,149	190,5	14,19	75,17	24,83	85,81
140	0,105	79,37	5,91	81,08	18,92	94,09
200	0,075	74,84	5,57	86,65	13,35	94,43
<b>Tara (&gt; 200)</b>		179,16	13,34	100,00	0,00	
<b>TOTAL</b>		1342,59	100,00		100	

**Módulo de Finura (MF): 2,30**

**Figura 43:** Determinación del tamaño de partículas de vidrio molido (M3).

**Interpretación de la curva granulométrica (M3):** Según los tamices ASTM E11 para determinar la granulometría del agregado fino, en la gráfica M3 nos dice que el 50% partículas de vidrio se retiene en el tamiz #6, #40, #100 y se cierra el 83% en el tamiz #6, en un tiempo de tamizado de 15 minutos la misma que está dentro de los límites permisibles, el vidrio en este ensayo tiene un módulo de finura (MF) de 2,30 considerándose apto para la dosificación de arcilla al estar dentro del rango establecido  $2.3 \leq MF \leq 3.1$ .

**Interpretación de la curva granulométrica (M3), Coeficiente de uniformidad (CU) Y Coeficiente de curvatura (CC)**



**Figura 44:** Determinación de la curva granulométrica

**Interpretación:** por medio del ensayo granulométrico realizado a la muestra de vidrio reciclado molido bajo la norma ASTM E11 se obtuvo la respectiva curva característica granulométrica lo cual permite obtener los diámetros  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  y  $D_{60}$  y así obtener los datos en este caso la muestra no permite realizar un estudio en el  $D_{10}$  por lo cual se asumen un valor de 0;  $D_{30} = 4,6$ ;  $D_{60} = 2,52$ .

**Coeficiente de uniformidad Cu:**

$$Cu = 0$$

**Coeficiente de curvatura Cc:**

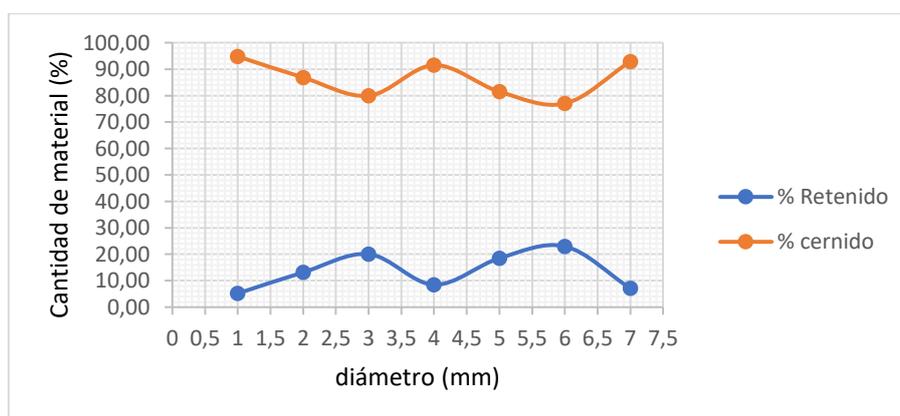
$$Cc = 0$$

### 3.3.2 Interpretación de la curva granulométrica de la arcilla

**Tabla 29:** Análisis granulométrico de la arcilla en un tiempo de 20 min muestra m4

<b>3 lb 20 min M4</b>						
# de Tamiz	Abertura (mm)	Retenido (g)	% Retenido	% R. acumulado	% Pasa	% cernido
<b>6</b>	3,36	68,03	5,19	5,19	94,81	94,81
<b>12</b>	1,68	172,36	13,15	18,34	81,66	86,85
<b>40</b>	0,42	263,08	20,07	38,41	61,59	79,93
<b>50</b>	0,29	111,13	8,48	46,89	53,11	91,52
<b>100</b>	0,149	242,67	18,51	65,40	34,60	81,49
<b>140</b>	0,105	301,63	23,01	88,41	11,59	76,99
<b>200</b>	0,075	92,98	7,09	95,50	4,50	92,91
<b>Tara (&gt; 200)</b>		58,96	4,50	100,00	0,00	
<b>TOTAL</b>		1310,84	100,00		100	

**Módulo de Finura (MF): 1,74**

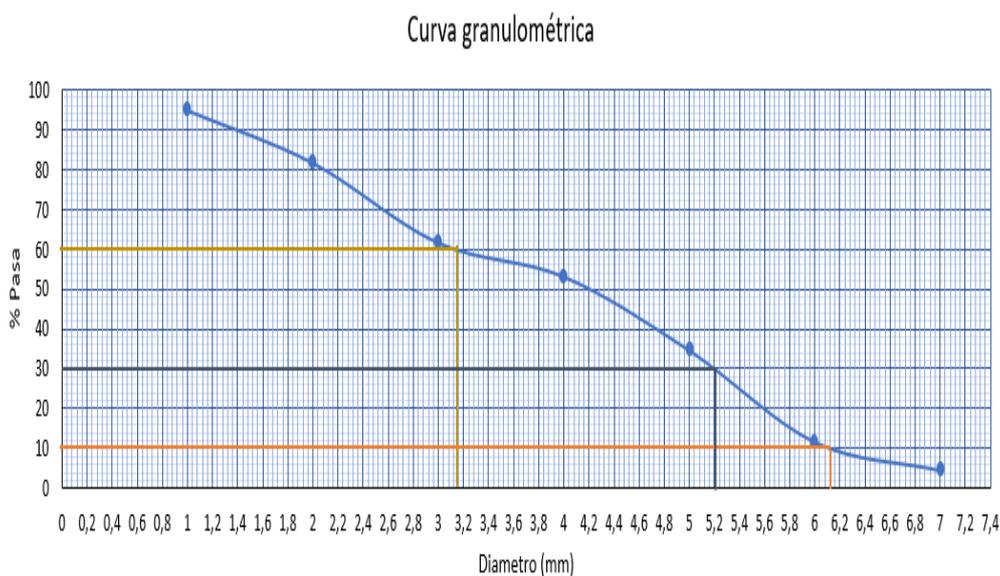


**Figura 45:** Determinación del tamaño de partículas de arcilla (M4).

**Interpretación de la curva granulométrica (M4):** La Arcilla de igual manera fue tamizado según los tamices ASTM E11 para determinar la granulometría del agregado

fino, en la gráfica se presenta el porcentaje del retenido y del cernido correspondiente a la muestra M4 en un tiempo de tamizado de 10 minutos, en este caso según la gráfica nos dice que el 50% se retiene en el tamiz # 40 y # 140 en cambio la arcilla por donde pasa más cantidad de masa es por el tamiz # 6 un 94%. La arcilla en este ensayo tiene un módulo de finura (MF) de 1,74 considerándose apto para la dosificación al estar dentro del rango establecido  $2.3 \leq MF \leq 3.1$  [11].

### Interpretación de la curva granulométrica (M4), Coeficiente de uniformidad (CU) Y Coeficiente de curvatura (CC)



**Figura 46:** Determinación de la curva granulométrica

**Interpretación:** aplicando el proceso de análisis granulométrico de la muestra de arcilla podemos observar la curva granulométrica para así lograr determinar los coeficientes de curvatura y uniformidad. Según el grafico se obtiene:  $D_{10} = 6,16$ ;  $D_{30} = 5,2$  y  $D_{60} = 3,14$ .

**Coeficiente de uniformidad Cu:**

$$Cu = 0,5097$$

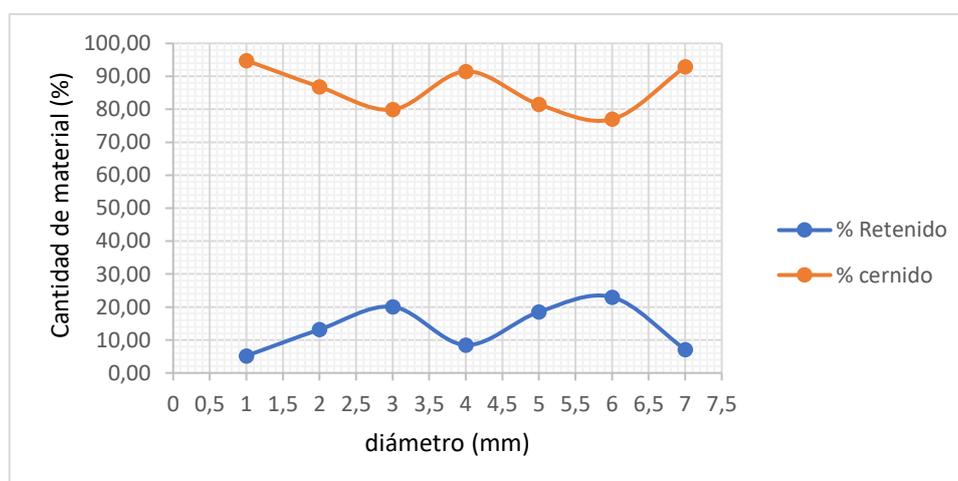
**Coeficiente de curvatura Cc:**

$$Cc = 1,397$$

**Tabla 30:** Análisis granulométrico de la arcilla en un tiempo de 15 min muestra m5

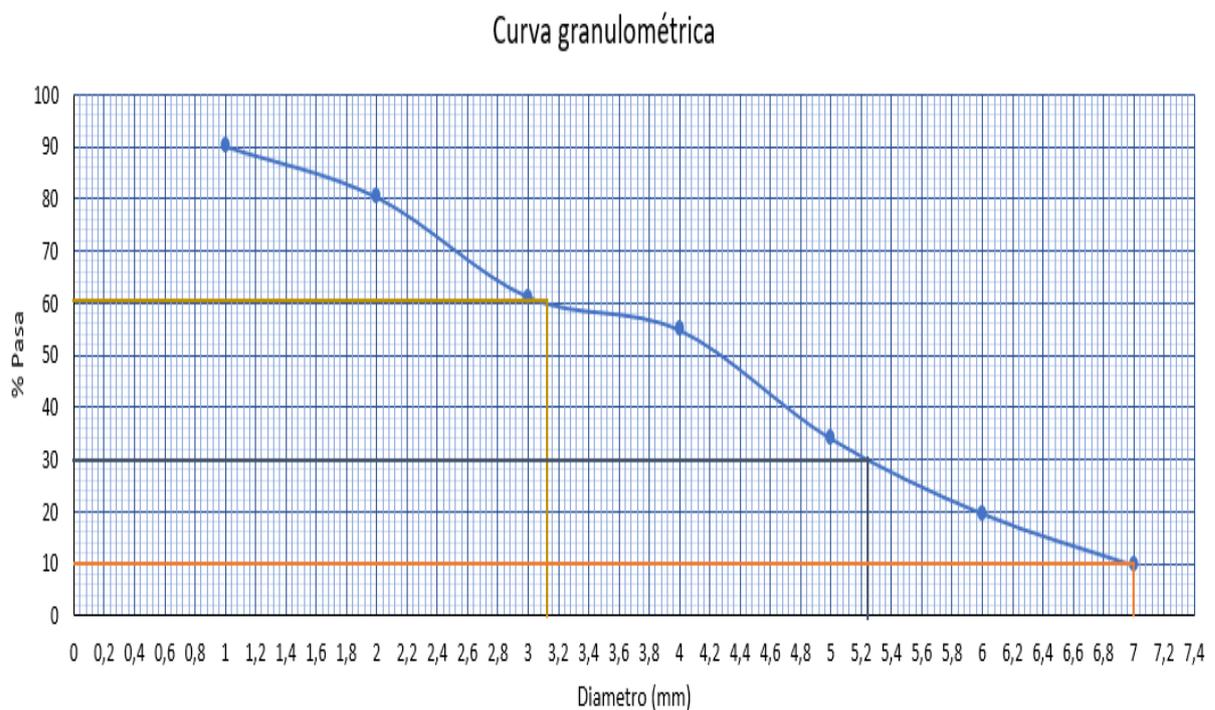
<b>3 lb 15 min M5</b>						
# de Tamiz	Abertura (mm)	Retenido (g)	% Retenido	% R. acumulado	% Pasa	% cernido
6	3,36	131,54	9,91	9,915	90,085	90,09
12	1,68	129,27	9,74	19,66	80,34	90,26
40	0,42	254,01	19,15	38,80	61,20	80,85
50	0,29	83,91	6,32	45,13	54,87	93,68
100	0,149	276,69	20,86	65,98	34,02	79,14
140	0,105	190,5	14,36	80,34	19,66	85,64
200	0,075	131,54	9,91	90,26	9,74	90,09
<b>Tara (&gt; 200)</b>		129,27	9,74	100,00	0,00	
<b>TOTAL</b>		1326,73	100,000		100	

**Módulo de Finura (MF): 1,79**

**Figura 47:** Determinación del tamaño de partículas de arcilla (M5).

**Interpretación de la curva granulométrica (M5):** En este caso según la gráfica M5 nos dice que el 50% se retiene en los tamices # 40, # 100 y #140 en cambio la arcilla por donde pasa más cantidad de masa es por el tamiz # 6 un 91%. La arcilla en este ensayo tiene un módulo de finura (MF) de 1,79 considerándose apto para la dosificación de arcilla al estar dentro del rango establecido  $2.3 \leq MF \leq 3.1$  [11].

**Interpretación de la curva granulométrica (M5), Coeficiente de uniformidad (CU) Y Coeficiente de curvatura (CC)**



**Figura 48:** Determinación de la curva granulométrica

**Determinación de los valores de  $D_{10}$  ,  $D_{30}$  y  $D_{60}$ :** Según el grafico se obtiene:

$$D_{10}= 7; D_{30} = 5,28; D_{60}= 3,28.$$

**Coeficiente de uniformidad  $C_u$ :**

$$C_u = 0,468$$

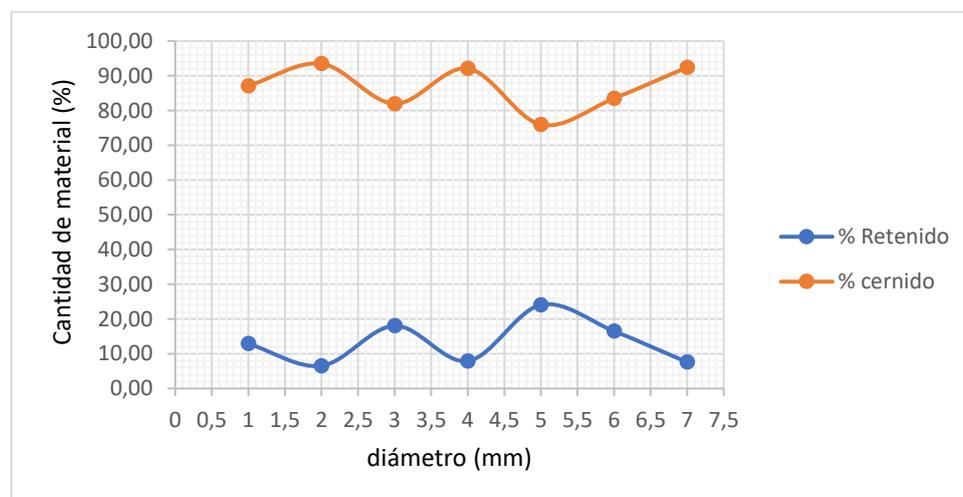
**Coeficiente de curvatura  $C_c$ :**

$$C_c = 1.21$$

**Tabla 31:** Análisis granulométrico de la arcilla en un tiempo de 10 min muestra m6

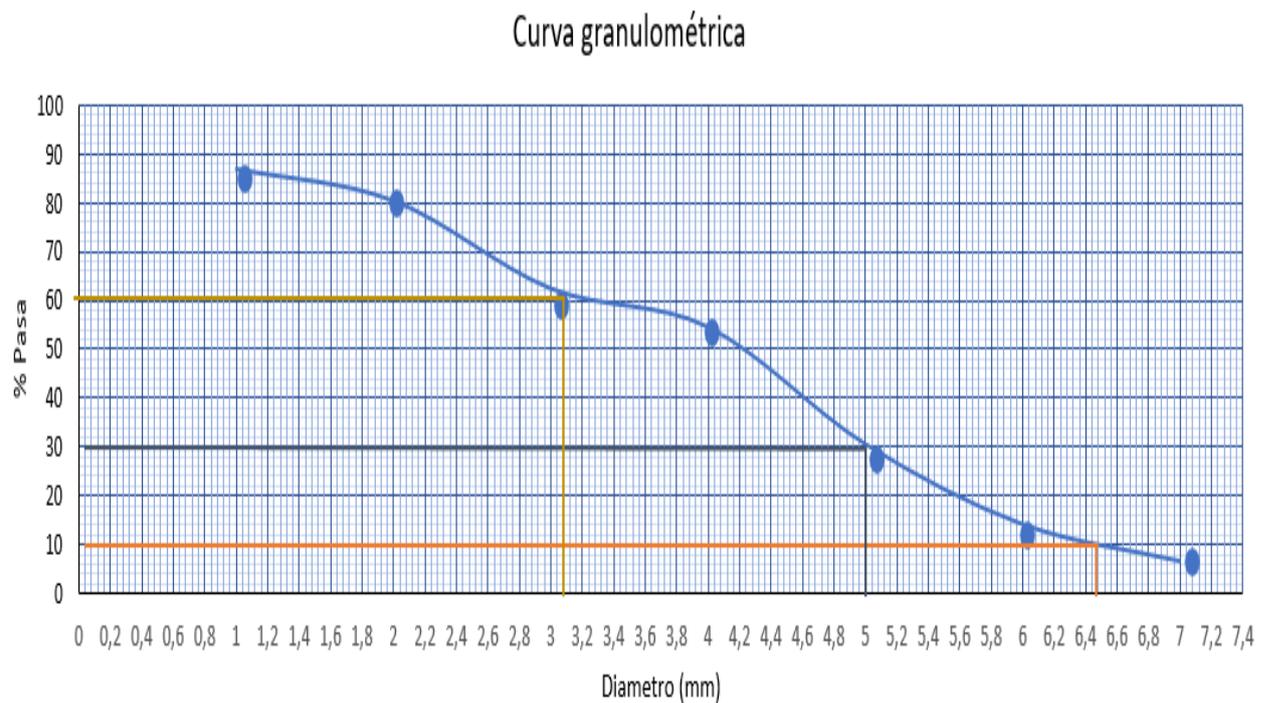
<b>3 lb 10 min M6</b>						
<b># de Tamiz</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Retenido (g)</b>	<b>% Retenido</b>	<b>% R. acumulado</b>	<b>% Pasa</b>	<b>% cernido</b>
<b>6</b>	3,36	170,09	12,89	12,886	87,114	87,11
<b>12</b>	1,68	86,18	6,53	19,42	80,58	93,47
<b>40</b>	0,42	238,13	18,04	37,46	62,54	81,96
<b>50</b>	0,29	104,32	7,90	45,36	54,64	92,10
<b>100</b>	0,149	317,51	24,06	69,42	30,58	75,94
<b>140</b>	0,105	217,72	16,49	85,91	14,09	83,51
<b>200</b>	0,075	99,79	7,56	93,47	6,53	92,44
<b>Tara (&gt; 200)</b>		86,18	6,53	100,00	0,00	
<b>TOTAL</b>		1319,92	100,00		100	

**Módulo de Finura (MF): 1,84**

**Figura 49:** Determinación del tamaño de partículas de arcilla (M6).

**Interpretación de la curva granulométrica (M6):** Según la gráfica M6 nos dice que el 50% se retiene en los tamices #40, #100 y #140 en cambio la arcilla por donde pasa más cantidad de masa es por el tamiz # 12 un 93%. La arcilla en este ensayo tiene un módulo de finura (MF) de 1,84 considerándose apto para la dosificación al estar dentro del rango establecido  $2.3 \leq MF \leq 3.1$  [11].

**Interpretación de la curva granulométrica (M6), Coeficiente de uniformidad (CU) Y Coeficiente de curvatura (CC)**



**Figura 50:** Determinación de la curva granulométrica.

**Interpretación:** A partir de esta curva granulométrica se puede determinar dos parámetros: el coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ) y el coeficiente de curvatura ( $C_c$ ). Donde  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  y  $D_{60}$  son diámetros correspondientes al porcentaje de finos que pasa el 10, 30 y 60 por ciento respectivamente. Según el gráfico se obtiene:  $D_{10} = 6,52$ ;  $D_{30} = 5,04$ ;  $D_{60} = 3,4$ .

**Coeficiente de uniformidad  $C_u$ :**

$$C_u = 0,52$$

**Coeficiente de curvatura  $C_c$ :**

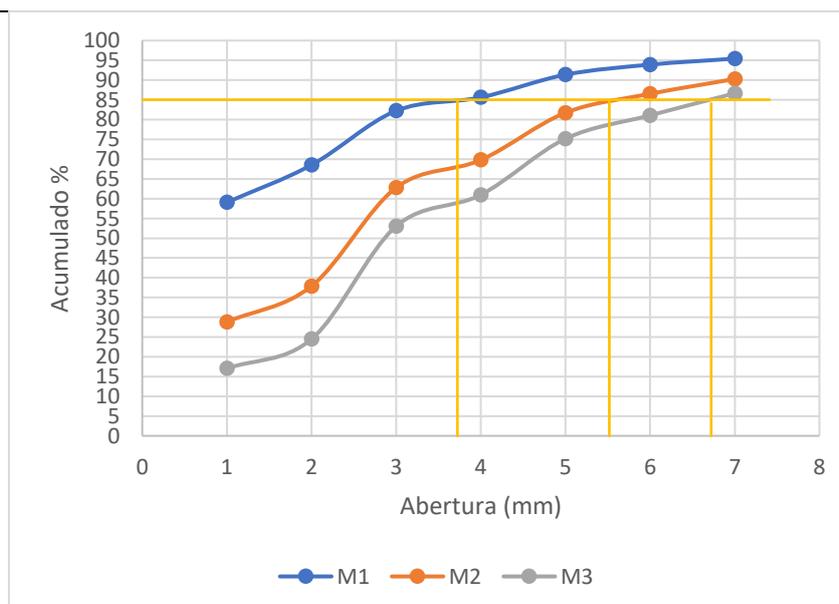
$$C_c = 1,145$$

### 3.3.3 Parámetros característicos de una suspensión (tamaño de partícula y distribución)

Es una medida del porcentaje de partículas en la suspensión con un determinado tamaño o más pequeños. El valor se determina por tamizado de sólidos con diferentes mallas y pesando cada fracción. En una curva de tamizado se pueden leer el porcentaje de partículas a diferentes tamaños.

**Tabla 32:** Análisis del 85% de partículas de vidrio que tiene cada malla.

Abertura (mm)	% Acumulado	% Acumulado	% Acumulado
3,36	59,06	28,84	17,06
1,68	68,54	37,88	24,49
0,42	82,24	62,8	53,04
0,29	85,63	69,8	60,98
0,149	91,37	81,74	75,17
0,105	93,91	86,52	81,08
0,075	95,43	90,27	86,65

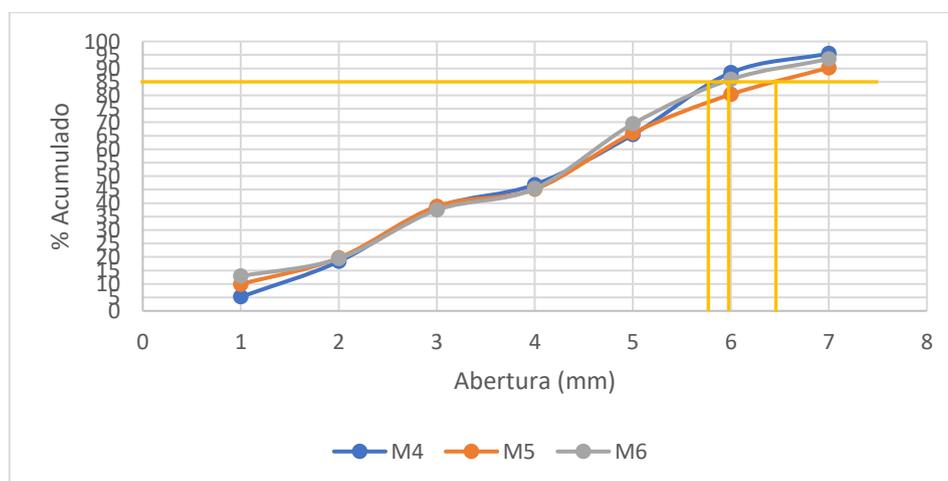


**Figura 51:** Determinación del 85% en el análisis granulométrico del vidrio molido.

El valor se determina por el tamizado de los sólidos con las diferentes mallas y pesado cada fracción en una curva de tamizado se puede leer el porcentaje de partículas acumuladas para diferentes tamaños, en la nomenclatura M1  $d_{85}=3,8\text{mm}$  lo cual significa que el 85% de las partículas tienen un diámetro de 3,6 mm o menos, M2  $d_{85}=5,5\text{mm}$  lo cual significa que el 85% de las partículas tienen un diámetro de 6,6 mm o menos, M3  $d_{85}=6,8\text{mm}$  lo cual significa que el 85% de las partículas tienen un diámetro de 6,6 mm o menos y en los distintos tiempos de molienda del vidrio así como T1= +3,36mm, T2= 3,36mm y T3=1,68mm. [30].

**Tabla 33:** Análisis del 85% de partículas de arcilla que tiene cada malla.

Abertura (mm)	% Acumulado	% Acumulado	% Acumulado
3,36	5,19	9,91	12,88
1,68	18,34	19,66	19,42
0,42	38,41	38,8	37,46
0,29	46,89	45,13	45,36
0,149	65,49	65,98	69,42
0,105	88,41	80,34	85,91
0,075	95,5	90,26	93,47



**Figura 52:** Determinación del 85% en el análisis granulométrico de la arcilla.

El valor se determina por el tamizado de los sólidos con las diferentes mallas y pesado cada fracción en una curva de tamizado se puede leer el porcentaje de partículas acumuladas para diferentes tamaños, en la nomenclatura M4 d85=5,8mm lo cual significa que el 85% de las partículas tienen un diámetro de 5,8 mm o menos, M5 d85=6,5mm lo cual significa que el 85% de las partículas tienen un diámetro de 6,5 mm o menos, M6 d85=6,0mm lo cual significa que el 85% de las partículas tienen un diámetro de 6 mm o menos. [30]

### 3.3.4 Pruebas a compresión

En el ensayo técnico en la cual se determina la resistencia de un material o su deformación ante una fuerza, en este caso se realizó probetas de arcilla con el agregado de polvo de vidrio el cual se obtuvo en la molienda de dicho material el cual se añadió a la mezcla para aumentar su resistencia.

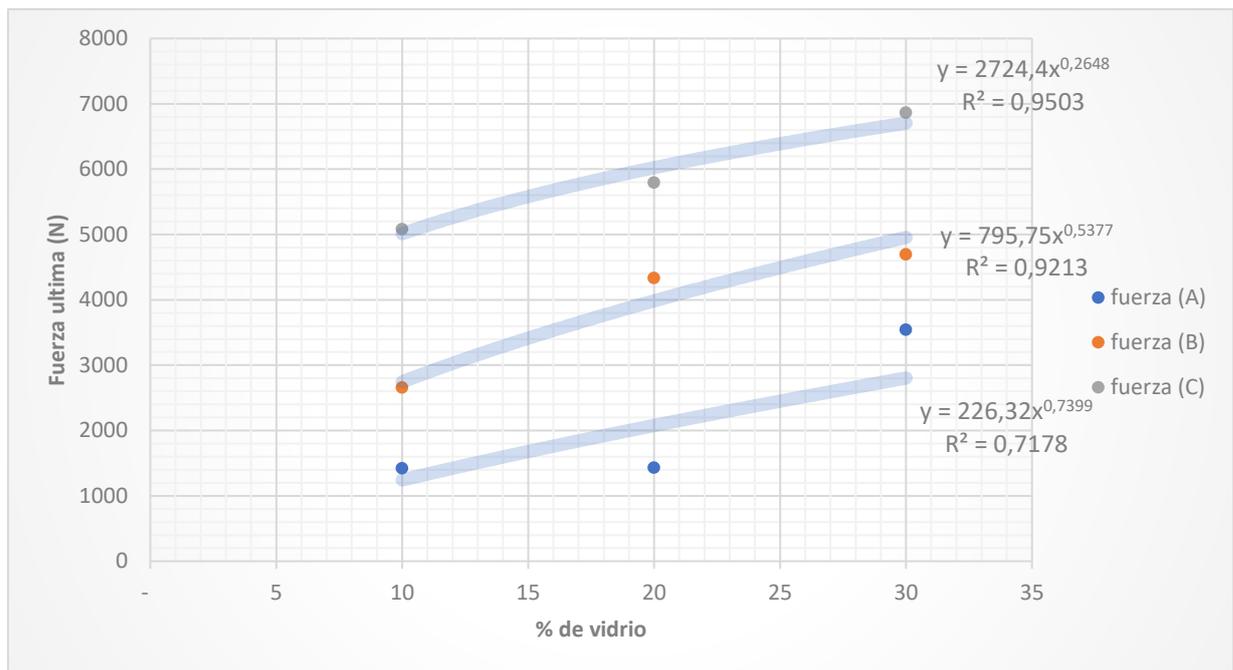
**Tabla 34:** Datos técnicos y resultados

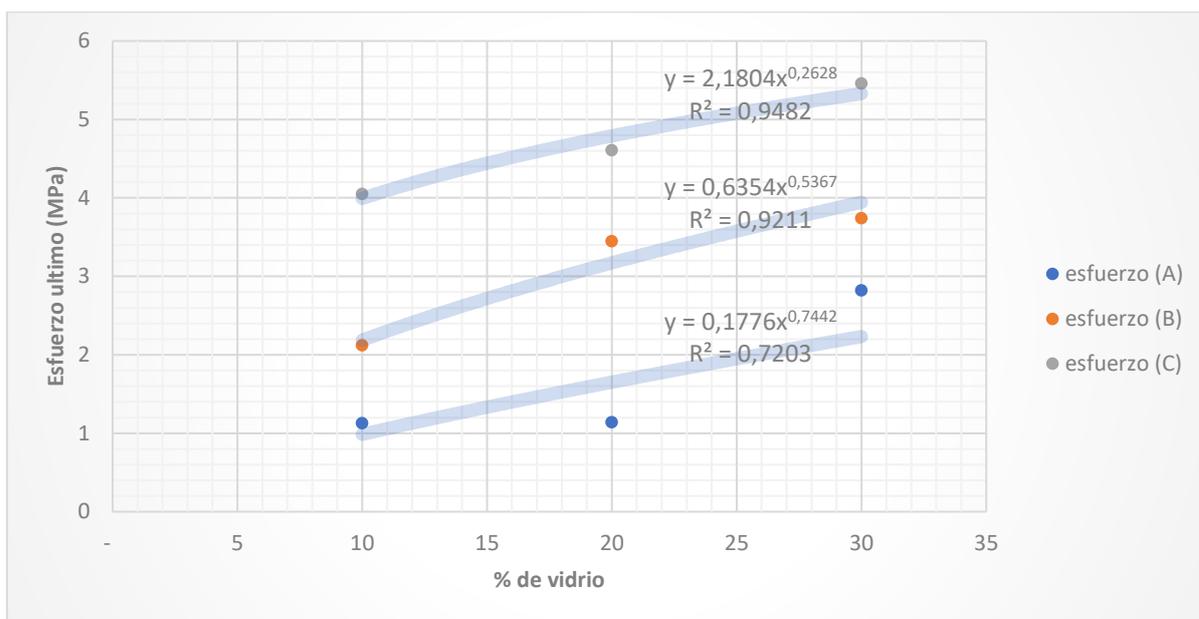
<b>DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS</b>							
<b>No muestra</b>	<b>Nombre de la Muestra</b>	<b>% de vidrio molido</b>	<b>% de arcilla</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Área (<math>mm^2</math>)</b>	<b>Fuerza última (N)</b>	<b>Esfuerzo último (MPa)</b>
1	<b>A1</b> tiempo de molienda 10 min	10	90	40	1260	1425,97	1,13
2	<b>A2</b> tiempo de molienda 10 min	20	80	40	1260	1433,38	1,14
3	<b>A3</b> tiempo de molienda 10 min	30	70	40	1260	3542,66	2,82
4	<b>B1</b> tiempo de molienda 20 min	10	90	40	1260	2661,04	2,12
5	<b>B2</b> tiempo de molienda 20 min	20	80	40	1260	4333,81	3,45

<b>DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS</b>							
<b>No muestra</b>	<b>Nombre de la Muestra</b>	<b>% de vidrio molido</b>	<b>% de arcilla</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Área (<math>mm^2</math>)</b>	<b>Fuerza última (N)</b>	<b>Esfuerzo último (MPa)</b>
6	<b>B3</b> tiempo de molienda 20 min	30	70	40	1260	4699,66	3,74
7	<b>C1</b> tiempo de molienda 30 min	10	90	40	1260	5083,11	4,05
8	<b>C2</b> tiempo de molienda 30 min	20	80	40	1260	5798,61	4,61
9	<b>C3</b> tiempo de molienda 30 min	30	70	40	1260	6867,10	5,46
10	<b>D1</b> tiempo de molienda 10 min	0	100	40	1260	493,14	0,39
11	<b>D2</b> tiempo de molienda 15 min	0	100	40	1260	603,60	0,48
12	<b>D3</b> tiempo de molienda 20 min	0	100	40	1260	1076,10	0,86

**Tabla 35:** Datos de fuerza y esfuerzo

	10 min (A)		20 min (B)		30 min (C)			
% Vidrio	Fuerza ultima (N)	Esfuerzo ultimo (MPa)	% Vidrio	Fuerza ultima (N)	Esfuerzo ultimo (MPa)	% Vidrio	Fuerza ultima (N)	Esfuerzo ultimo (MPa)
10	1425,97	1,13	10	2661,04	2,12	10	5083,11	4,05
20	1433,38	1,14	20	4333,81	3,45	20	5798,61	4,61
30	3542,66	2,82	30	4699,66	3,74	30	6867,1	5,46

**Figura 53:** Determinación de la fuerza



**Figura 54:** Determinación del esfuerzo

### 3.3.5 Resistencia a la flexión de tejas

**Tabla 36:** Tabla comparativa de ensayo de flexión

Tabla comparativa de ensayo de flexión					
Especificación de teja	Imagen de la teja	imagen de la teja fisurada	Fuerza aplicada (N)	Esfuerzo de la teja Pa	Esfuerzo de la teja $kgf/cm^2$
Teja 100% de arcilla de la victoria			134,43	4630197,31	47,21
Teja mejorada con la añadidura de vidrio molido en su composición			510,48	8473190,79	86,40

### 3.3.5.1 Conclusión del ensayo

Después del ensayo realizado de flexión de las tejas se pudo obtener los valores que establecen los esfuerzo de cada una y con ello se pudo visualizar una mejora significativa en los resultados obtenidos ya que por medio de la añadidura de vidrio molido a la composición de la masa de la teja se evidencia que el producto ya está dentro de los rangos permisibles según la norma INEN 990 para su fabricación y posterior comercialización

#### Cálculo

Se calculó el esfuerzo de cada teja con la fórmula según la norma ASTM C67-03a:

$$S = \frac{3W\left(\frac{l}{2-x}\right)}{bd^2} \quad (3-3)$$

#### En donde:

**S** = módulo de ruptura de la muestra en el plano de falla, ( $kgf/cm^2$ ).

**W** = carga máxima indicada por la máquina de prueba, (N).

**l** = distancia entre los soportes, (m).

**b** = ancho neto, (curva), de la muestra, (m).

**d** = espesor de la teja, (superficie de la cama a la superficie del lecho), de la muestra en el plano de la falla, (m).

**x** = distancia promedio desde la mitad del espécimen al plano de falla medida en la dirección del tramo a lo largo de la línea central de la superficie del lecho sometida a tensión (López-Muñoz, 2014).

#### 3.3.5.1.1 Teja normal de La Victoria

datos:

w = 134,43 (N)

l = 0,25 (m)

b = 0,193 (m)

d = 0,011 (m)

x = 0,0302 (m)

$$s = \frac{3(134,43 \text{ N}) \left( \frac{0,25 \text{ m}}{2 - 0,0302 \text{ m}} \right)}{(0,193 \text{ m})(0,011 \text{ m})^2}$$

$$S = 4630197,31 \text{ Pa}$$

$$S = 47,21 \text{ kgf/cm}^2$$

### 3.3.5.1.2 Teja mejorada con la añadidura de vidrio molido en su composición

**datos:**

$$w = 510,48 \text{ (N)}$$

$$l = 0,26 \text{ (m)}$$

$$b = 0,197 \text{ (m)}$$

$$d = 0,011 \text{ (m)}$$

$$x = 0,0286 \text{ (m)}$$

$$s = \frac{3(510,48 \text{ N}) \left( \frac{0,26 \text{ m}}{2 - 0,0286 \text{ m}} \right)}{(0,197 \text{ m})(0,011 \text{ m})^2}$$

$$S = 8473190,79 \text{ Pa}$$

$$S = 86,40 \text{ kgf/cm}^2$$

### 3.3.5.2 Conclusión del cálculo mediante la tabla de resistencia a la flexión de las tejas

Los cálculos realizados para determinar el valor del esfuerzo de las tejas reemplazando los datos obtenidos del ensayo en la fórmula establecida por la norma ASTM C67-03a se comprobó que hay un mejoramiento de la teja con añadidura de vidrio molido y de acuerdo con la tabla de la norma INEN 990 si cumple con el valor de la resistencia requerida con un valor de  $86,40 \text{ kgf/cm}^2$ , mientras que la teja de la victoria no cumple con la norma establecida ya que obtuvo un valor bajo de  $47,21 \text{ kgf/cm}^2$ .

### 3.3.6 Conclusión de análisis granulométrico

Mediante el análisis granulométrico del vidrio molido se pudo comprobar que de acuerdo al tiempo de molienda y la cantidad de material se obtiene un mejor tamizaje; en la

práctica se utilizó en tres medidas que son 3 lb y 6 lb de vidrio reciclado en tres tiempos de molienda de 10 minutos, 20 minutos y 30 minutos en la cual se concluyó que la mejor molienda es de 3 lb en un tiempo de 30 minutos dándonos un módulo de finura del vidrio molido de 2,30 tendiendo al límite superior de arenas finas y en la que se obtuvo más cantidad de polvo de vidrio y mejor molienda para la realización de las probetas.

### 3.3.7 Conclusión de pruebas a compresión de las probetas

Según la siguiente fórmula la cual permite calcular el esfuerzo último de la probeta de arcilla a partir del valor arrojado en la fórmula de la gráfica del esfuerzo la cual es el valor de a, también el valor de c es igual a la fracción del vidrio en % y el valor de b es el resultado exponencial del dato de la gráfica del valor de las ordenadas.

$$S = a * c^b \quad (3-4)$$

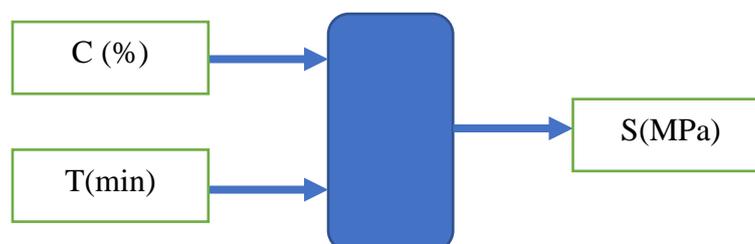
**donde:**

**S**= esfuerzo último

**a**= valor de las ordenas en el gráfico

**c**= fracción de vidrio %

**b**= valor exponencial del eje de las ordenadas

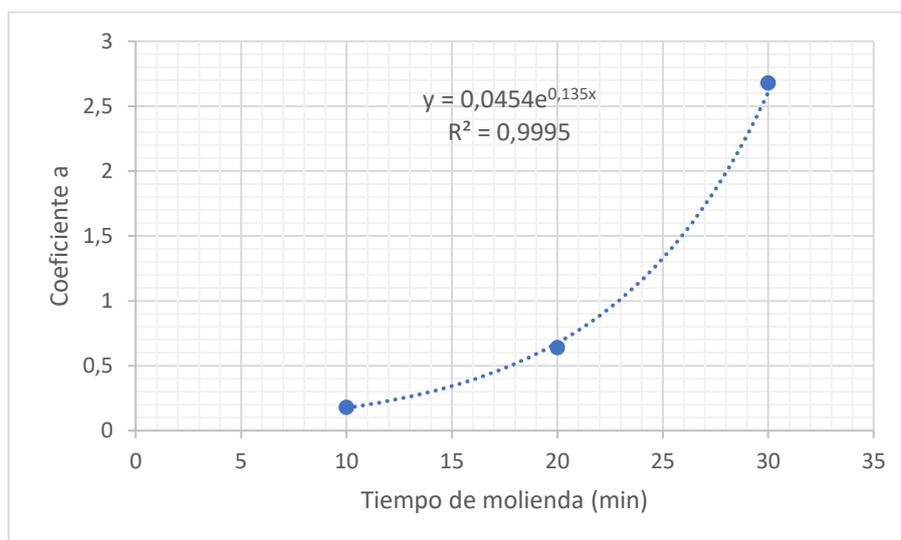
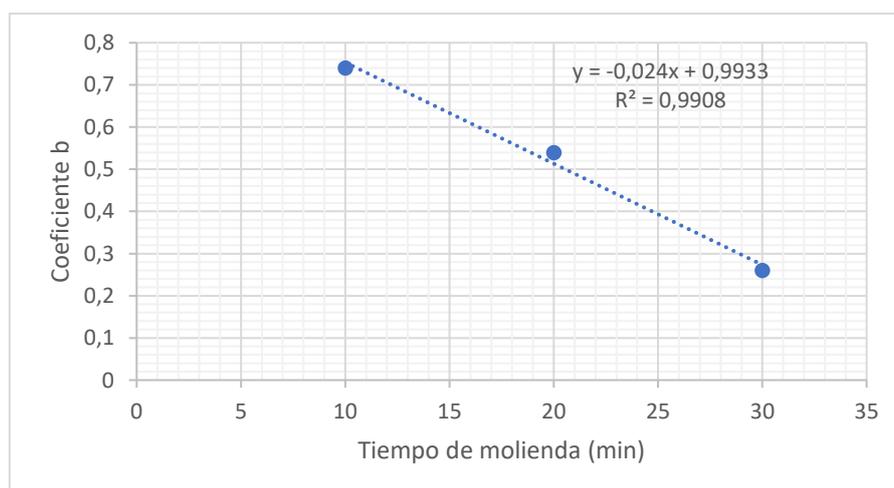


**Figura 55:** Valores de entrada correspondientes al porcentaje de vidrio C, con respecto al tiempo.

Mediante la gráfica se puede visualizar los valores de entrada los cuales permitirán ingresar los datos correspondientes tales valores como son el porcentaje de vidrio C utilizado para la elaboración de la probeta y el tiempo de molienda T requerido para cada uno de los elementos a elaborar y en base a los cuales se obtendrá como resultado final el esfuerzo de la pieza de arcilla para lo cual se elaboró la siguiente tabla para determinar los valores de a y b.

**Tabla 37:**Datos de las ecuaciones para determinar a, b

T min	a	b
10	0,18	0,74
20	0,64	0,54
30	2,68	0,26

**Figura 56:**Valores de entrada correspondientes al porcentaje de vidrio C, con respecto al tiempo.**Figura 57:**Valores de entrada correspondientes al porcentaje de vidrio C, con respecto al tiempo.

$$S = 0,045 * e^{0,14*T} * c^{-0,024*T+0,99}$$

Mediante la fórmula establecida se pueda calcular el esfuerzo final de la resistencia de las probetas con respecto al tiempo de molienda del vidrio en donde tomando como base la fórmula anterior se desarrolla de una mejor manera los cálculos que permite obtener el dato del esfuerzo para la implementación en la fabricación de las probetas.

**Se concluye que:**

- Tras el análisis, podemos deducir que el agregado de polvo de vidrio en las muestras A3, B3 y C3 generan una mayor resistencia a las pruebas a compresión realizadas y en la cual se puede emplear la muestra C3 para la elaboración de tejas porque su composición obtuvo una mayor resistencia con una fuerza última de 6867,10 (N) y un esfuerzo último de 5,46 (MPa).
- El aumento del porcentaje de vidrio molido en la mezcla de arcilla puede mejorar las características mecánicas de las tejas, también aumenta la resistencia para evitar la generación de grietas en su estructura.

### 3.4 EVALUACIÓN TÉCNICO, SOCIAL, AMBIENTAL Y/O ECONÓMICA

**Impacto técnico:** La siguiente investigación es un precedente técnico para la ejecución de proyectos similares que necesiten analizar la resistencia de un producto de construcción como lo es la teja.

El proyecto analiza la factibilidad que tienen las propiedades mecánicas de la arcilla y la incorporación del vidrio molido y como este incide en su resistencia; por lo que se ha analizado su elaboración y proceso de producción, incorporando en la fabricación porcentajes distintos de vidrio molido. Como resultado se a verificando la dureza y resistencia del material, a través la elaboración de 30 probetas que permiten identificar la mejor cantidad de incorporación de vidrio, así como el grano y sus propiedades de resistencia a la compresión y la flexión.

**Impacto social:** En la elaboración de tejas con porcentajes de vidrio molido, se puede evidenciar que este posee un gran impacto social, puesto que la calidad de un producto beneficia el área de la construcción, el proyecto se ejecuta cumpliendo los estándares ecuatorianos, con base en normas INEN por lo que la implementación de este ladrillo podrá abrir un nuevo foco de trabajo generando un nuevo nicho de mercado que se enfocaría en la venta de una teja resistente a nivel local y nacional.

**Impacto ambiental:** La incorporación del vidrio molido para la elaboración de tejas, permite aportar a la conservación del medio ambiente y disminuir la contaminación que se da con el desecho del vidrio. El reciclaje del vidrio es uno de los más gratificantes, ya que se puede reciclar al 100% del material sin desperdiciar nada, este material contiene materias primas como la arena de sílice, carbonato de sodio y arena caliza.

**Impacto económico:** Las tejas de arcilla con vidrio molido son más económicas que las tradicionales, con referencia a las materias primas, pues se utilizan materiales reciclables, por lo que no necesita mucha arena, disminuyendo costos de producción.

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

- Se concluye que usar materiales no convencionales como el vidrio molido permiten obtener tejas resistentes. Al analizar el proceso de elaboración este inició con la selección de la materia prima, se limpia los pedazos de vidrio, y se procede a realizar el amasado con diferentes porcentajes de arcilla y vidrio, luego se elaboró el molde en material de PVC de 40 mm x 40 mm, y se dejó secar las probetas para su cocción.
- Se evidenció que la molienda adecuada para una teja más resistente es la de 3lb en un tiempo de 30 minutos pues se obtuvo más cantidad de polvo de vidrio con un módulo de finura del vidrio molido de 2,30 tendiendo al límite superior de arenas finas. La fórmula  $S = a * c^b$  permite establecer el esfuerzo mediante el tiempo de molienda y el porcentaje de vidrio, esta fórmula agiliza la construcción de la probeta y puede ser aplicada en nuevas investigaciones.
- La teja que logro pasar el ensayo de compresión de resistencia es la C3 con un 70% arcilla 30% vidrio. Los cálculos realizados para determinar el valor del esfuerzo de las tejas están basados en la norma ASTM C67-03a se comprobó que hay un mejoramiento de la teja y de acuerdo con la tabla de la norma INEN 990 si cumple con el valor de la resistencia requerida con un valor de 86,40  $kgf/cm^2$ , mientras que la teja de La Victoria no cumple con la norma establecida pues obtuvo un valor bajo de 47.21  $kgf/cm^2$ .

## 4.2 RECOMENDACIONES

- Para tener datos específicos sobre el proceso de elaboración de tejas se debe considerar diagramar flujogramas de trabajo que incorporen la cantidad de vidrio molido, de esta forma estandarizar la producción de este tipo de teja artesanal para incrementar las ventas, para esto es necesario una capacitación y asesoramiento técnico a los artesanos por parte de los ingenieros de esta forma serán capaces de maximizar la producción y minimizar los costos.
- Para lograr implementar esta teja en los centros artesanales de La Victoria se debe proponer una futura investigación que permita determinar índices de plasticidad y de humedad en tejas con vidrio molido al 30%, además se debe realizar un análisis del tratamiento térmico de la teja tanto de La Victoria como en la que está realizada con mezcla de vidrio, para lograr estandarizar el secado.
- La propuesta recomienda mecanizar el proceso de molienda y triturado del vidrio, así como hacer convenios para la entrega de los restos de vidrios de las vidrierías del sector; pues esto permite disminuir el tiempo de elaboración de la teja, bajar los costos de la materia prima por lo que será económicamente más rentable.

## 5 BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. W. R. Bautista, la Caracterización de las propiedades mecánicas y químicas de las tejas de barro producidas por alfareros de la parroquia La Victoria, Latacunga-Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi, 2019.
- [2] M. d. C. Aguirre, M. Avila y J. Pesantez, Arquitectura tradicional de Cuenca, recuperación y alternativa sustentable en la contemporaneidad, Cuenca-Ecuador: Universidad Católica de Cuenca. Carrera de Arquitectura y Urbanismo, 2018.
- [3] L. J. Barranzuela, Ladrillos de Arcilla producidos en la región Piura, Piura, Perú: Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil., 2014.
- [4] C. D. Fernandez, “Evaluación de las propiedades físicas - mecánicas de las tejas cerámicas artesanales y mecanizadas manufacturadas en Piñipampa – Cusco, 2018, según parámetros de las normas NTE INEN”, Cusco Perú: Universidad Andina del Cusco, 2019.
- [5] A. K. N. Freire, Uso de vidrio molido en las mezclas asfálticas, con el propósito de reducir la contaminación, Quito – Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2018.
- [6] V. Q. C. Gildardo y V. H. S. Dueñez, «En el proyecto comparación de parámetros de resistencia Determinados por ensayos de laboratorio y campo en suelos de la formación sabana del occidente de Bogotá,» Universidad católica de Colombia , Bogotá, 2018.
- [7] A. d. Construcción, «¿Por qué se determina la resistencia a la compresión en el concreto?,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.cemex.com.pe/-/por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-concreto->.
- [8] A. L. Á. Moreno, G. M. Á. Ospina y P. K. A. Rodríguez, «Resistencia de concreto con agregado de bloque de arcilla triturado como reemplazo de agregado grueso,» *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 27, nº 4, pp. 132-145, 2019.

- [9] H. L. L. H. L. L. A. ., W. R. B. S. ., M. D. A. Á. ., E. T. T. Alfonso, Caracterización de las propiedades mecánicas de las arcillas para tejas de barro producidas por alfareros de la parroquia la victoria, catón Pujilí, Latacunga: Revista de Ciencias de Ingenierías y Aplicadas, 2019.
- [10] J. Santos, P. Malagón y E. Córdoba, «Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barichara, Santander,» *Dyna- Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, Universidad Industrial de Santander.*, pp. Nro. 167, pp. 50-58., 2011.
- [11] C. D. A. Peñafiel, Análisis de la resistencia a la compresión del hormigón al emplear vidrio reciclado molido en reemplazo parcial del agregado fino, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2016.
- [12] C. J. A. Vizueta, Ecodiseño para la fabricación de tejas cerámicas con aplicaciones de un descarte industrial polvos de acería, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2020.
- [13] J. Villanueva, Arte de la albañilería, Madrid - España: Edición Facsímil, 1977.
- [14] N. Garcia, Teja como material de construcción, España: Universidad Politécnica de Valencia, 2019.
- [15] INEN988, DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A FLEXION, Caracas, 2009.
- [16] P. B. Alexis, Análisis de la resistencia a la compresión del concreto  $F'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> con adición de vidrio reciclado molido., Perú, 2019.
- [17] A. García y H. Guayasamín de la Cruz, Diseño y construcción de una trituradora-tamizadora de arcilla para la elaboración de alfarería, con capacidad de 100kg/h, para la parroquia La Victoria, provincia de Cotopaxi, Quito- Ecuador: Universidad Técnica Salesiana, 2020.
- [18] N. F. A. García, Mejora del proceso de fabricación de tejas de barro y arcilla en la parroquia la Victoria, Latacunga: Ecuador, 2019.

- [19] J. M. d. I. Á. Vizúete, "Proyecto de estandarización de procesos de fabricación de cerámica para incrementar la productividad – caso "Alfareros de la Parroqui La Victoria del Cantón Pujilí"', Ambato - Ecuador: Universidad Tecnológica Indoamerica , 2016.
- [20] R. M. F. González, «Análisis de fractura en ensayos de compresión para materiales compuestos utilizando pruebas ópticas no destructivas,» Centro de Investigación en Óptica, León, Guanajuato, México, 2017.
- [21] L. y. materiales, Ensayo de Compresión, 2022.
- [22] Norma Técnica Ecuatoriana INEN 990, Norma Técnica Ecuatoriana INEN 990.
- [23] X. Guerra y J. Andrés, Caracterización física mecánica y térmica de materiales vernáculos de la región sierra,  
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/12566/1/CD-6662.pdf>, 2015.
- [24] ASTM C1167 International, 2003.
- [25] Mecánica de Suelos, 2019. [En línea]. Available:  
<https://m.facebook.com/MecanicaDeSuelosPV/photos/a.1746624405373644/2333925426643536/>.
- [26] Geotecniafacil., 2020. [En línea]. Available:  
<https://geotecniafacil.com/granulometria-de-suelos-por-tamizado/>.
- [27] M. I. Sindy, FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL TEMA: "CAPACIDAD PORTANTE DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES" ALUMNOS: PIURA 2020 TEORÍAS DE CAPACIDAD DE CARGA Y SUS LIMITACIONES EN SUELOS COMPRESIBLES, 2020.
- [28] J. J. Garralón, «¿Por qué cilindros de 15 x 30 cm para obtener la resistencia a compresión del hormigón?,» Informes de la Construcción.
- [29] C. J. A. Romero, "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", Ambato:

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/33092/1/Tesis%20I.%20C.%201488%20-%20Romero%20Coyago%20Johanna%20Alexandra.pdf>, 2021.

- [30] F. Industries, 1999.
- [31] R. Monroy, B. Valencia y Y. Romero, «Efecto de la concentración de silicato de sodio y ácido fosfórico en la reducción de la temperatura de cocción de baldosas cerámicas,» *Respuestas*, vol. 19, nº 2, pp. 25-31, 2014.
- [32] J. Meléndez, A. Ramírez y M. Juménes, «Comportamiento mecánico a altas temperaturas de cerámicas de nitruro de silicio,» *Revista Metalurgia*, vol. 37, nº 2, pp. 7-21, 2001.

# ANEXOS

## ANEXOS

## Anexo 1 Informe de originalidad



## Document Information

Analyzed document	Tesis Señores Barreno Jonathan y Caisa Jhonathan.pdf (D143456405)
Submitted	8/31/2022 11:57:00 PM
Submitted by	
Submitter email	mayra.alban@utc.edu.ec
Similarity	6%
Analysis address	mayra.alban.utc@analysis.urkund.com

## Sources included in the report

<b>SA</b>	<b>20171128 Oña Viviana_Changoluisa Diego.pdf</b> Document 20171128 Oña Viviana_Changoluisa Diego.pdf (D33019319)		1
<b>SA</b>	<b>Tesis Davila Isael, Ochoa Arturo_V1.docx</b> Document Tesis Davila Isael, Ochoa Arturo_V1.docx (D137753614)		1
<b>SA</b>	<b>INFORME FINAL EXPERIMENTAL. DANIELA ALEJANDRA PEÑAFIELCARRILLO.pdf</b> Document INFORME FINAL EXPERIMENTAL. DANIELA ALEJANDRA PEÑAFIELCARRILLO.pdf (D18541103)		25
<b>SA</b>	<b>1561353190_690__TAMIZADO.docx</b> Document 1561353190_690__TAMIZADO.docx (D54111582)		2
<b>SA</b>	<b>TESIS_Johanna_Romero_Coyago.pdf</b> Document TESIS_Johanna_Romero_Coyago.pdf (D98555267)		2
<b>SA</b>	<b>Isabel Chino de la Cruz.pdf</b> Document Isabel Chino de la Cruz.pdf (D46289739)		1



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



ABRIL – AGOSTO 2022

Anexo 2

REGISTRO FOTOGRÁFICO



**Fotografía C1:** Secado de arcilla



**Fotografía C2:** Vidrio triturado en el molino de bolas



**Fotografía C3.** Obtención del vidrio triturado en el molino de bolas



**Fotografía C4.** Proceso de tamizado



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



ABRIL – AGOSTO 2022

Anexo 2

REGISTRO FOTOGRÁFICO



**Fotografía C5.** Tamizado del vidrio triturado



**Fotografía C6.** Proceso de elaboración de probetas



**Fotografía C7.** Probetas en proceso de secado



**Fotografía 8.** Quemado de probetas



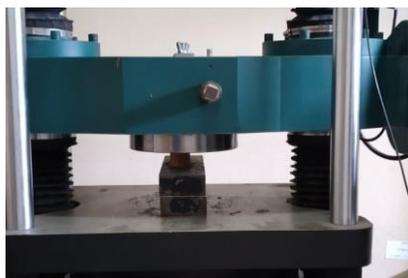
# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



ABRIL – AGOSTO 2022

Anexo 2

## REGISTRO FOTOGRÁFICO



**Fotografía C9.** Pruebas de resistencia de probetas



**Fotografía C10.** Elaboración de teja con mezcla de arcilla y polvo de vidrio



**Fotografía C11.** Secado de teja



**Fotografía C12.** Prueba de resistencia de teja con agregado de vidrio



**Fotografía C13.** prueba de resistencia de teja de la victoria

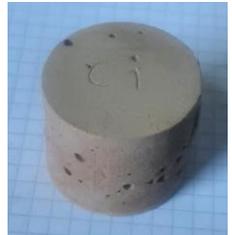


**Fotografía C14.** Dato de ensayo de resistencia de teja con vidrio

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b>	
<b>ABRIL – AGOSTO 2022</b>		
<b>Anexo 2</b>	<b>REGISTRO FOTOGRÁFICO</b>	
		
<b>Fotografía C15. Dato de ensayo de resistencia de teja sin vidrio</b>		

### Anexo 3: Ensayo de probetas

Número y especificación de muestra	Probeta antes de ensayo a compresión de resistencia	Probeta después de ensayo a compresión de resistencia	Valor de ensayo a compresión de resistencia
A1 90% arcilla 10% vidrio			1425,97 (N)
A2 80% arcilla 20% vidrio			1433,38 (N)
A3 70% arcilla 30% vidrio			3542,66 (N)

Número y especificación de muestra	Probeta antes de ensayo a compresión de resistencia	Probeta después de ensayo a compresión de resistencia	Valor de ensayo a compresión de resistencia
<b>B1</b> 90% arcilla 10% vidrio			2661,04 (N)
<b>B2</b> 80% arcilla 20% vidrio			4333,81 (N)
<b>B3</b> 70 % arcilla 30% vidrio			4699,66 (N)
<b>C1</b> 90 % arcilla 10% vidrio			5083,11 (N)
<b>C2</b> 80% arcilla 20% vidrio			5798,61 (N)
<b>C3</b> 70% arcilla 30% vidrio			6867,10 (N)

**Anexo 4:** Ensayo de probetas 100 % arcilla

Especificación de la probeta	Imagen de la probeta	Probeta después del ensayo de resistencia	Valor de ensayo a compresión de resistencia
<b>D1</b> 100% arcilla 10 minutos de molienda de la arcilla			434,09 (N)
<b>D2</b> 100% arcilla 15 minutos de molienda de la arcilla			603,60 (N)
<b>D3</b> 100% arcilla 20 minutos de molienda de la arcilla			1076,10 (N)