

**MEJORAMIENTO DE LOS LADRILLOS CERAMICOS FABRICADOS
ARTESANALMENTE EN LA CIUDAD DE PASTO**

**AMELUCXEN ORBES REVELO
JULIA AMPARO ROSERO NOGUERA**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE DISEÑO Y CONSTRUCCION
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2003**

**MEJORAMIENTO DE LOS LADRILLOS CERAMICOS FABRICADOS
ARTESANALMENTE EN LA CIUDAD DE PASTO**

**AMELUCXEN ORBES REVELO
JULIA AMPARO ROSERO NOGUERA**

**Trabajo de grado presentado para optar al título de
INGENIERO CIVIL**

**FRANCISCO CORAL ASAIN, I. C.
Director**

**CARLOS CORDOBA BARAHONA, M.Sc.
Codirector**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE DISEÑO Y CONSTRUCCION
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2003**

“Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo de Grado son responsabilidad exclusiva de sus autores”.

Artículo 1º. Del acuerdo N° 324 del 11 de Octubre de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Dedico este trabajo

A mis padres:

Miguel Antonio y Cecilia.

A mis hermanos:

Jairo, Ingrid, Iván y Belky

A mis abuelos:

Víctor y Beatriz

A mi familia:

Olga, Margoth, Iliá, Doris,

Mercedes, Angela, Juan D...

A todos aquellos
que de una forma u otra
confiaron en mí.

Amelucxen Orbes R.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean manifestar sus agradecimientos:

FRANCISCO CORAL ASAIN, Ingeniero Civil, Profesor Hora Cátedra de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Nariño y Director de la Investigación, por sus orientaciones, aportes y constante motivación.

CARLOS CORDOBA BARAHONA, Ingeniero Metalúrgico, M. Sc. Química Inorgánica - Cerámica, Profesor Titular del Departamento de Química de la Universidad de Nariño y Codirector de la Investigación, por sus orientaciones, aportes y constante motivación .

Deseamos expresar con gratitud un especial reconocimiento y agradecimiento a: **HERNEY LASSO ECHAVARRIA**, Geotecnólogo, Jefe del Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Nariño, **GUSTAVO PONCE**, Auxiliar de Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería, por su cooperación mediante el suministro de equipos y materiales requeridos durante el desarrollo de los ensayos.

A **INNOVAR E. A. T.**, por su respaldo. Sus aportes fueron de gran ayuda para alcanzar los objetivos propuestos. Finalmente queremos agradecer a todas aquellas personas, quienes con sus consejos y estímulos nos indujeron a desarrollar esta investigación.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	21
1. FORMULACION DEL PROBLEMA	23
2. OBJETIVOS	25
2.1 OBJETIVO GENERAL	25
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	25
3. MARCO TEORICO	27
3.1 LADRILLOS CERAMICOS DE CONSTRUCCIÓN	27
3.1.1 Propiedades de los ladrillos.	27
3.2 PROCESO DE ELABORACIÓN DE LADRILLOS CERÁMICOS	31
3.2.1 Extracción.	32
3.2.2 Preparación de la pasta.	32
3.2.3 Putrefacción.	33
3.2.4 Triturado.	33
3.2.5 Mezcla .	33
3.2.6 Amasado.	33
3.2.7 Moldeo.	34
3.2.8 Secado.	34
3.2.9 Cocción.	35

3.3 MATERIAS PRIMAS	35
3.3.1 Arcilla.	35
3.3.2 Vidrio.	38
4. METODOLOGIA	41
4.1 SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA	41
4.1.1 Arcilla.	41
4.1.2 Características y preparación del vidrio.	42
4.2 DOSIFICACION DE LOS MATERIALES	42
4.3 ELABORACION DE LAS PROBETAS	43
4.3.1 Herramientas.	44
4.3.2 Preparación del material: arcilla – vidrio.	45
4.4 TAMAÑO DE LA MUESTRA PARA PRUEBAS FISICO – MECANICAS	55
4.5 REALIZACION DE ENSAYOS FISICOS Y MECANICOS	58
4.5.1 Método para cuantificar las propiedades físicas.	58
4.5.2 Método para cuantificar las propiedades mecánicas.	61
5. PROCESAMIENTO Y PESENTACION DE RESULTADOS	66
5.1 CLASIFICACION DE LOS SUELOS	66
5.2 ANALISIS QUIMICO DE LAS ARCILLAS Y EL VIDRIO	67
5.3 DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA PARA PRUEBAS FÍSICO MECÁNICAS	69
5.4 DETERMINACION DEL COLOR	71
5.5 DENSIDAD	71
5.6 ABSORCION DE AGUA	74

5.7 RESISTENCIA A LA COMPRESION	82
5.8 DESGASTE POR ABRASION	97
6. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS	98
7. CONCLUSIONES	104
RECOMENDACIONES	106
BIBLIOGRAFÍA	108
ANEXOS	111

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Humedad retenida	31
Tabla 2. Dosificaciones	43
Tabla 3. Dosificaciones en peso	48
Tabla 4. Muestra piloto 100% arcilla, resistencia a la compresión	57
Tabla 5. Clasificación de suelos	66
Tabla 6. Análisis químico de las arcillas	67
Tabla 7. Análisis químico del vidrio	68
Tabla 8. Análisis estadístico para determinar el tamaño de la muestra	69
Tabla 9. Densidades	71
Tabla 10. Absorción de agua, muestra 1	74
Tabla 11. Absorción de agua, muestra 2	75
Tabla 12. Absorción de agua, muestra 3	75
Tabla 13. Absorción de agua, muestra 4	76
Tabla 14. Absorción de agua, muestra 5	76
Tabla 15. Absorción de agua, muestra 6	77
Tabla 16. Absorción de agua, muestra 7	77
Tabla 17. Absorción de agua, muestra 8	78

Tabla 18. Absorción de agua, muestra 9	78
Tabla 19. Absorción de agua, muestra 10	79
Tabla 20. Absorción de agua, muestra 11	79
Tabla 21. Análisis estadístico de absorción de agua	80
Tabla 22. Resistencia a la compresión, muestra 1	82
Tabla 23. Resistencia a la compresión, muestra 2	83
Tabla 24. Resistencia a la compresión, muestra 3	83
Tabla 25. Resistencia a la compresión, muestra 4	84
Tabla 26. Resistencia a la compresión, muestra 5	84
Tabla 27. Resistencia a la compresión, muestra 6	85
Tabla 28. Resistencia a la compresión, muestra 7	85
Tabla 29. Resistencia a la compresión, muestra 8	86
Tabla 30. Resistencia a la compresión, muestra 9	86
Tabla 31. Resistencia a la compresión, muestra 10	87
Tabla 32. Resistencia a la compresión, muestra 11	87
Tabla 33. Análisis estadístico de resistencia a la compresión	88
Tabla 34. Estequiometría y temperatura de cocción de los ladrillos	97
Tabla 35. Ensayo de desgaste a los ladrillos	97
Tabla 36. Variación de resistencia a compresión de las diferentes arcillas a temperatura de cocción 900°C	101
Tabla 37. Variación de resistencia a compresión de las diferentes arcillas a temperatura de cocción 950°C	101

Tabla 38. Variación de resistencia a compresión de las diferentes arcillas a temperatura de cocción 1000°C

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Materiales	45
Figura 2. Molino de disco (arcilla)	46
Figura 3. Molino de bolas (vidrio)	47
Figura 4. Tamizado	47
Figura 5. Adición de agua para amasado	50
Figura 6. Cantidad de material	50
Figura 7. Vaciado del material	51
Figura 8. Reacomodo de partículas	51
Figura 9. Compactación manual	51
Figura 10. Compactación mecánica	52
Figura 11. Palanca manual	53
Figura 12. Extracción de la probeta	53
Figura 13. Secado de probetas	54
Figura 14. Cocción de probetas	55
Figura 15. Color de las probetas	58
Figura 16. Preparación de probetas	59
Figura 17. Absorción de agua	60

Figuras 18 y 19. Refrentado con azufre	61
Figura 20. Ensayo de resistencia a la compresión	62
Figura 21. Falla de la probeta	63
Figura 22. Desgaste por abrasión	65
Figura 23. Ábaco ensayo de densidad	73
Figura 24. Ábaco ensayo de absorción de agua	81
Figura 25. Ábaco ensayo de resistencia a la compresión $T^{\circ} = 900^{\circ}\text{C}$	89
Figura 26. Ábaco ensayo de resistencia a la compresión $T^{\circ} = 950^{\circ}\text{C}$	90
Figura 27. Ábaco ensayo de resistencia a la compresión $T^{\circ} = 1000^{\circ}\text{C}$	91
Figura 28. Ábaco ensayo de resistencia a la compresión arcilla gris	92
Figura 29. Ábaco ensayo de resistencia a la compresión mezcla 1:2	93
Figura 30. Ábaco ensayo de resistencia a la compresión mezcla 2:1	94
Figura 31. Ábaco ensayo de resistencia a la compresión arcilla amarilla	95
Figura 32. Ábaco general ensayo de resistencia a la compresión	96

LISTA DE ANEXOS

	pág
Anexo A. Clasificación de suelos	111

GLOSARIO

Ábaco: tabla o cuadro que sirve para el cómputo. Instrumento, artificio o gráfico destinado a resolver determinados problemas matemáticos.

Abrasión: acción de quitar o arrancar algo por fricción. Proceso destructor debido a agentes de la dinámica externa desarrollados en la superficie.

Absorción: retener (gases o líquidos) entre las moléculas de otros cuerpos.

Adobe: bloque de tierra mezclada con fibras vegetales, utilizado antiguamente para la construcción de viviendas.

Álcalis: sustancia que produce iones hidróxido, OH⁻, al disolverse en agua.

Alúmina: u óxido de aluminio, Al₂O₃, óxido que se encuentra en la naturaleza más frecuentemente en la bauxita.

Aluminosilicatos: compuestos formados por alúmina, silicatos y bases, y que constituyen el grupo formado por las arcillas, mica, vidrio, porcelana, etc.

Amasado: método manual de amasar la arcilla, imitando al método del panadero.

Arcilla: silicato aluminico hidratado natural, puro o impurificado por óxidos de hierro, que empapado con agua se hace muy plástico y que por la calcinación se contrae y endurece.

Cal: óxido de calcio, CaO, sustancia blanca, ligera, cáustica y alcalina, que en contacto con el agua se hidrata con desprendimiento de calor.

Caolín: o arcilla china, arcilla pura, blanda y blanca con plasticidad variable, pero en general baja, que retiene su color blanco durante la cocción.

Cerámica: toda pieza de arcilla modelada y cocida, esté o no esmaltada, tanto las piezas cocidas a baja temperatura como las de alta.

Cocción: someter (ciertas cosas) a la acción del calor para que adquieran determinadas propiedades.

Cohesión: acción de reunirse o adherirse las cosas entre sí o la materia de que están formadas. Unión entre las moléculas de un cuerpo. Fuerzas de atracción que las mantiene unidas.

Compresión: apretar, reducir por presión el volumen (de una cosa).

Contracción: proceso de reducción de las dimensiones de la pieza en la fase de secado. Es una consecuencia de la pérdida de la mayor parte del agua física que entra a formar parte de la obra. Cuando se procede a su cocción, se elimina el agua química y se queman los componentes orgánicos que pueda contener la pasta de arcilla, por lo que el proceso de contracción continúa.

Cristalización: formación de cristales. Todos los esmaltes que contienen rutilo, zinc y otros óxidos tienden a formar cristales.

Cuarzo: sílice en forma de roca, pedernal o arena.

Densidad: relación entre la masa y el volumen de una sustancia; o entre la masa de una sustancia y la masa de un volumen igual de otra sustancia tomada como patrón.

Desgaste: quitar o consumir por el roce parte (de un sólido o cuerpo).

Desintegración: es la descomposición de la roca granítica que forma la arcilla.

Dosificación: graduar la cantidad o porción de una cosa.

Dureza: resistencia que opone un mineral a ser rayado por otro.

Eflorescencia: proceso de conversión total o superficial de un cuerpo en polvo por la pérdida del agua de cristalización o la consecuencia de una reacción con algún componente del aire.

Espécimen: muestra, modelo, señal.

Estequiometría: estudio de las proporciones ponderales o volumétricas en una reacción química. La palabra estequiometría fue establecida para designar la ciencia que mide las proporciones según las cuales se deben combinar los elementos químicos.

Extracción: sacar, separar de un cuerpo o sustancia.

Feldespato: silicato de aluminio y un álcali (potasio, calcio, sodio o, raramente, bario), cuyas numerosas variedades son los constituyentes esenciales de las rocas endógenas y metamórficas.

Férrico: compuesto de hierro, este elemento tiene una valencia superior a dos.

Fundente: que facilita la fusión.

Granulometría: arte de la petrografía que trata de la medida del tamaño de las partículas, granos y rocas de los suelos. Tamaño de las piedras, granos, arena, etc., que constituyen un árido o polvo.

Gravimetría: análisis cuantitativo de una sustancia por medio de pesadas.

Higroscópica: propiedad de algunos cuerpos inorgánicos, y de todos los orgánicos, de absorber y de exhalar la humedad.

Horno: aparato cerrado o recinto donde se produce calor por la combustión de un material, por la resistencia de un conductor, o por otras fuentes de calor, utilizado para someter a transformaciones físicas o químicas a los objetos que se introducen en ellos.

Infusible: que no puede fundirse (derretirse).

Ladrillo cerámico: o cerámica cocida empleado en la construcción y para revestimientos decorativos.

Meteorización: conjunto de procesos externos que provocan la alteración de las rocas superficiales.

Mezcla: juntar, incorporar (cosas diversas) obteniendo cierta homogeneidad.

Molde: objeto hueco que da su forma a la materia fundida que en él se vacía.

Mufla: hornillo o cámara dentro de un horno que protege de la acción directa de la llama.

Nonio: pieza que se aplica sobre una regla o limbo graduados, para apreciar las fracciones de las divisiones menores de la graduación.

Oxidación: reacción química que implica la pérdida de electrones. En cerámica, a altas temperaturas, se produce una combinación con el oxígeno.

Oxido: compuesto binario del oxígeno con otro elemento. El oxígeno se puede combinar directamente con todos los elementos, excepto con los gases nobles, los halógenos y algunos de los metales menos activos, como el cobre y el mercurio, que reaccionan lentamente para formar óxidos incluso cuando se les calienta, y el platino, el iridio y el oro, que únicamente forman óxidos por métodos indirectos.

Partícula: parte pequeña de un cuerpo.

Pasta: mezcla de uno o varios tipos de tierra con agua, de la que se obtiene una masa necesaria para modelar una pieza cerámica.

Permeabilidad: que puede ser penetrado por el agua u otro fluido.

Plasticidad: cualidad de la arcilla que permite ser modelada adoptando diferentes formas sin romperse ni agrietarse.

Porosidad: características que presentan algunos cuerpos, entre ellos las arcillas, en las que las moléculas de la materia que las forman, presentan intersticios entre sí.

Potasa: o carbonato de potasio (K_2CO_3), un sólido blanco, que se obtiene de la ceniza de la madera u otros vegetales quemados, o también por reacción del hidróxido de potasio con dióxido de carbono.

Prismática: sólido terminado por dos caras paralelas e iguales llamadas bases, y por tantos paralelogramos cuantos lados tenga cada base.

Pulido: acabado final de una pieza.

Putrefacción: degradación de plantas y animales muertos o de materia orgánica.

Refractario: cuerpo que resiste la acción del fuego sin cambiar de estado ni descomponerse.

Saturable: impregnar de otro cuerpo (un fluido) hasta el punto de no poder éste admitir mayor cantidad de aquél.

Secado: operación que consiste en separar total o parcialmente, por diversos medios, el líquido que acompaña a un sólido.

Sinterización: producir piezas de gran resistencia y dureza calentando, sin llegar a la temperatura de fusión.

Sinusoidal: curva cuyas ordenadas son proporcionales a los senos de las abscisas correspondientes.

Sílice: combinación de silicio con oxígeno, SiO_2 , que entra en la composición de diversos minerales.

Sulfuros: compuesto de azufre y otro elemento o radical derivados del ácido sulfhídrico.

Tamiz: cedazo muy tupido.

Tamizado: separación mecánica, mediante tamices, de sustancias pulverizadas de diferentes tamaños.

Trituración: moler, desmenuzar una materia sin reducirla a polvo.

Vidriar: dar a las piezas de barro o loza un barniz que, fundido al horno, se vitrifica.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es mejorar la calidad del ladrillo cerámico fabricado artesanalmente en la ciudad de Pasto. El procedimiento que se debe seguir para la producción de un ladrillo cerámico es el siguiente: selección de la materia prima, extracción, preparación de la pasta, putrefacción, triturado, mezcla, amasado, moldeo, secado y cocción.

Dentro de esta investigación se elaboran probetas de base circular en un molde de tubería galvanizada (niple) de diámetro 1". Se emplea materias primas como arcilla pasante del tamiz No 16 y vidrio reciclado molido pasante del tamiz No 60.

Las diferentes dosificaciones de arcilla y vidrio reciclado se calculan por porcentaje en peso, con variaciones del 5%, hasta un tope máximo del 50% para el vidrio y del 100% al 50% para la arcilla. La cocción de las mismas se realiza en muflas eléctricas a diferentes temperaturas: 900°C, 950°C y 1000°C.

Se efectúan pruebas a las probetas, entre ellas: ensayo a compresión, absorción, desgaste por abrasión, determinación del color y densidad del material. Algunas pruebas serán comparadas con la normatividad vigente como la NTC (Normas Técnicas Colombianas).

Después de haber realizado un estudio estadístico para determinar el tamaño de la muestra, se procedió a elaborar un gran número de unidades para luego someterlas a ensayos tanto físicos como mecánicos; seguidamente analizar y procesar la información recopilada.

El número total de probetas elaboradas para cada temperatura es de: 440 sumando un total de 1320.

Finalmente se determinó que la temperatura óptima de trabajo es de 950°C con una dosificación de los materiales en peso de 50% vidrio reciclado molido más 50% de arcilla gris, logrando una resistencia a la compresión de 349.24 Kg/cm² superando los valores establecidos por la norma NTC 4205.

ABSTRACT

The objective of this investigation is to improve the quality of the ceramic brick manufactured handmadely in the city of Pasto. The procedure that should be continued for the production of a ceramic brick is the following one: selection of the matter prevails, extraction, preparation of the pasta, rot, crushed, it mixes, kneaded, I model, drying and cooking.

Inside this investigation base test tubes are elaborated to circulate in a mold of galvanized pipe (niple) of diameter 1". It is used matters cousins as clay pasante of the sieve 16 and I glaze recycled milled pasante of the sieve 60.

The different clay dosages and recycled glass are calculated by percentage in weight, with variations of 5%, until a maximum end of 50% for the glass and of 100% to 50% for the clay. The cooking of the same ones is carried out in electric muffles to different temperatures: 900°C, 950°C and 1000°C.

Tests are made to the test tubes, among them: I rehearse to compression, absorption, waste for abrasion, determination of the color and density of the material. Some tests will be compared with the effective normatividad as the NTC (Colombian Technical Norms).

After having carried out a statistical study to determine the size of the sample, you proceeded to elaborate a great number of units it stops then to subject them to rehearsals so much physical as mechanics; subsequently to analyze and to process the gathered information.

The total number of test tubes elaborated for each temperature is of: 440 adding a total of 1320.

Finally it was determined the good temperature of work is of 950°C with a dosage of the materials in weight of 50% I glaze recycled milled more 50% of gray clay, achieving a resistance to the compression of 349.24 Kg/cm² overcoming the values settled down by the norm NTC 4205.

INTRODUCCION

Los adobes se usaron desde el periodo neolítico, primordialmente en las regiones secas como Egipto, Mesopotamia y Asiria. La ausencia de piedra en algunas regiones donde abundaban las arcillas y la falta de la resistencia a la humedad de los adobes, conllevó al hombre a buscarle un sustituto, el adobe cocido o ladrillo cerámico.

En la actualidad, el ladrillo cerámico en nuestra región se ha constituido como uno de los principales materiales en el área de la construcción, siendo valorado por sus cualidades decorativas (fachadas) y funcionales (muros estructurales).

Resientes estudios¹ sobre los ladrillos cerámicos fabricados artesanalmente en la ciudad de Pasto, han concluido que estos son de baja calidad, debido a la materia prima utilizada (arcilla). Los mismos han comprobado que se puede mejorar los ladrillos cerámicos en cuanto a su dureza, impermeabilidad y estética, adicionando a la pasta de fabricación vidrio reciclado molido preferiblemente de botellas.

El interés de esta investigación es profundizar y comprobar el efecto que causa el vidrio reciclado molido en los ladrillos cerámicos fabricados artesanalmente en la

¹ **INNOVAR E. A. T.** Diagnostico realizado a los ladrillos cerámicos fabricados en Pasto, Ipiales, La Unión, San Pedro de Cartago y Mercaderes (Cauca).

ciudad de Pasto, alternando variables como: finura del vidrio, tipos de arcilla y temperatura de cocción, teniendo en cuenta las características y requisitos fijados en las normas NTC 4017 y 4205 y Código Colombiano de Construcciones Sismo-Resistentes del 98, sobre calidad de ladrillos cerámicos.

A las piezas prismáticas cerámicas se les realiza pruebas de compresión, desgaste por abrasión, absorción de agua, densidad y determinación del color para establecer sus propiedades físico - mecánicas y estudiar si la incorporación de vidrio molido, mejora la calidad del ladrillo.

1. FORMULACION DEL PROBLEMA

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación “ICONTEC”, es el ente encargado de velar por la buena calidad de los productos que se fabrican e importan en nuestro país. Los materiales que se utilizan en obras civiles no son ajenos a controlar la calidad, como el cemento, ladrillos, tuberías, aceros, entre otros.

Para los ladrillos cerámicos están estandarizados valores mínimos de diferentes pruebas físicas y mecánicas, permitiendo determinar su óptima calidad. Estudios estadísticos “han establecido que los ladrillos cerámicos producidos artesanalmente en la ciudad de Pasto no cumplen con algunos requerimientos determinados por la NTC (Normas técnicas Colombianas), por factores como la temperatura de cocción y material de fabricación (“arcilla”) ².

En la Universidad de Nariño se han realizado “investigaciones tendientes a solucionar este problema, las cuales han demostrado que es posible hacerlo, agregando a la arcilla empleada para su fabricación, vidrio reciclado molido

² OJEDA, Janet y TORRES CORREDOR, Eduardo. Cuantificación de las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos cerámicos producidos en Pasto. San Juan de Pasto : Janet OJEDA, 1989. p. 318 - 330. Trabajo de Grado (Ingeniero Civil). Universidad de Nariño. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil.

preferiblemente de botellas,³ el cual demuestra que mejora las propiedades físicas como mecánicas sin determinar con exactitud los alcances del vidrio en la industria ladrillera.

³ JURADO DORADO, Andrés. Estudio de las propiedades de absorción y resistencia a la compresión en la arcilla empleada para ladrillos de construcción adicionando vidrio reciclado molido. San Juan de Pasto : Andrés JURADO, 2000. p. 43 - 44. Trabajo de Grado (Ingeniero Civil). Universidad de Nariño. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Mejorar las propiedades físico - mecánicas de los ladrillos cerámicos fabricados artesanalmente en la ciudad de Pasto, con adición de material reciclable (vidrio).

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar químicamente la arcilla y el vidrio reciclado molido.
- Establecer diferentes dosificaciones entre arcilla y vidrio reciclado, teniendo en cuenta su finura.
- Elaborar probetas de arcilla y vidrio reciclado, de acuerdo, a las dosificaciones establecidas.
- Realizar la cocción de las probetas a diferentes temperaturas.

- Realizar ensayos físicos y mecánicos de: compresión, absorción de agua, desgaste por abrasión, densidad y determinación del color a las piezas prismáticas cerámicas.

3. MARCO TEORICO

3.1 LADRILLOS CERAMICOS DE CONSTRUCCION

Se ha ideado este término para significar el material basto, poroso, colorado, de refractariedad no especificada, empleado en la construcción y en revestimientos decorativos. Un ladrillo cerámico es un adobe sometido a altas temperaturas (960 a 1180°C), con el fin de reforzar la cohesión del material arcilloso, en busca de una respuesta más adecuada a las condiciones de humedad propias del medio ambiente.

3.1.1 Propiedades de los ladrillos.

☞ Propiedades físicas.

- **Color.** Fenómeno físico de la luz o de la visión, asociado con las diferentes longitudes de onda en la zona visible del espectro electromagnético. Como sensación experimentada por los seres humanos y determinados animales, la percepción del color es un proceso neurofisiológico muy complejo. Los métodos utilizados actualmente para la especificación del color se encuadran en la

especialidad llamada colorimetría, y consisten en medidas científicas precisas basadas en las longitudes de onda de tres colores primarios.

Ordinariamente, el color varía dentro de una gama, según el tipo de arcilla y el proceso de fabricación, y no puede usarse como parámetro de evaluación de calidad, sin que antes se realicen los ensayos de resistencia y absorción⁴.

- **Densidad.** Está definida como la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo determinado.

$$\tilde{n} = m / V$$

Donde:

\tilde{n} = densidad (gr/cm³)

m = masa (gr)

V = volumen (cm³)

- **Absorción.** La cantidad de agua que puede almacenar un ladrillo, en los poros o vacíos de su estructura interna, se manifiesta como un aumento en la masa de la unidad después de permanecer en contacto con el agua. Cuando el ladrillo se sumerge, la permeabilidad de la pieza permite que el líquido penetre y

⁴ NTC - 4205 Ingeniería y Arquitectura. Unidades de mampostería de arcilla cosida. Ladrillos y bloques cerámicos. 1997. p. 9.

se difunda dentro de sus poros. La relación entre la cantidad de agua necesaria para llenar todos los poros saturables y la masa de la unidad seca multiplicada por cien, se conoce como el porcentaje de absorción total de la misma.

Ensayo de Absorción o inmersión en agua durante 24Horas.⁵

$$\% \text{ Absorción} = \frac{100 (W_s - W_d)}{W_d}$$

Donde:

W_d = peso del espécimen seco

W_s = peso del espécimen saturado luego de inmersión en agua fría

☞ **Propiedades mecánicas**

- **Resistencia a la compresión.** Cuando sobre un cuerpo actúa una fuerza exterior compresora se entiende como tal aquella que tiende a reducir la dimensión del mismo en la dirección de la línea de acción de esa fuerza, se generan esfuerzos de compresión en toda la sección normal a la dirección de dicha carga. La relación entre aquella fuerza que produce la falla del cuerpo y el

⁵ NTC - 4017 Ingeniería Civil y Arquitectura. Métodos para muestreo y ensayo de unidades de mampostería de arcilla. 1997. p. 6 - 7.

área neta de la sección mencionada, se conoce como esfuerzo último de compresión de ese cuerpo⁶.

$$C = \frac{W}{A}$$

Donde:

C = Resistencia del espécimen a la compresión en Kgf / cm² o Pa x 10⁴

W = Carga máxima (de rotura), en Kgf o N, indicada por la máquina de ensayo

A = Promedio del área total de las superficies de soporte superior e inferior, en cm²

- **Desgaste por abrasión.** Esta prueba determina la durabilidad de la superficie de los ladrillos cerámicos, por medio del desgaste o pérdida de peso, cuando la pieza es sometida al raspado con un cepillo de alambre⁷.

$$WP = \frac{W_{si} - W_s}{W_{si}}$$

Donde:

WP = Pérdida de peso

⁶ Ibid., p. 4 - 6.

⁷ BELTRAN, Mario Fernando y CAICEDO, Diego. Estudio de Unidades de Mampostería Prismática. Fase II. San Juan de Pasto : Mario BELTRAN, 1997. p. 62 - 64. Trabajo de Grado (Ingeniero Civil). Universidad de Nariño. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil.

W_{si} = Peso seco inicial calculado

W_s = Peso seco

El peso seco corregido es el peso seco final, pero reajustado, teniendo en cuenta la humedad retenida dependiendo del tipo de suelo según la clasificación de la AASHTO (Tabla 1).

Tabla 1. Humedad retenida

Clasificación del suelo	Humedad retenida %
A1, A3	1.5
A2	2.5
A4, A5	3.0
A6, A7	3.5

3.2 PROCESO DE ELABORACIÓN DE LADRILLOS CERÁMICOS

Los ladrillos cerámicos son bloques elaborados con pasta de material arcilloso que después de ser quemados, son utilizados en la construcción. El proceso de elaboración de un ladrillo cerámico requiere una serie de etapas que abarcan esencialmente, extracción, preparación de la pasta, putrefacción trituración, mezcla, amasado, moldeo, secado y cocción.

3.2.1 Extracción. Es el proceso mediante el cual se extrae la materia prima para la elaboración del producto. Se utilizan materiales con alto contenido de arcilla, casi siempre provenientes de lugares cercanos a las grandes poblaciones. Esta etapa se puede realizar por método manual con ayuda de pico y pala o por método mecánico con buldózer y cargador.

3.2.2 Preparación de la pasta. Se puede realizar por varios métodos, algunos de los cuales son:

- Empleo de la arcilla tal como se extrae, con o sin separación de materiales no deseados.
- Mezclado de varias capas superpuestas de diferentes arcillas en la proporción en que se encuentran, generalmente durante la operación de extracción.
- Mezclado de varias capas superpuesta de diferentes arcillas en proporciones distintas a aquellas en que se encuentran naturalmente. En este caso las capas deben extraerse individualmente mediante terrazas adecuadas.

- Adición de arena, cenizas de ciudad, residuos cribados u otros productos de desecho.

3.2.3 Putrefacción. Tiene como objetivo destruir la materia orgánica presente en el material, la arcilla se extiende en un lugar al aire libre, en donde se desarrolla un fenómeno de tipo físico-químico-biológico, que permite la reducción de cualquier material orgánico que afectaría la cohesión adecuada del ladrillo.

3.2.4 Triturado. Busca regular el tamaño de los componentes para facilitar el mezclado y el amasado de la pasta. Este proceso se puede hacer de manera tradicional, empleando pisones; o de una manera más tecnificada empleando molinos mecánicos. Un material de tamaño uniforme, facilita las operaciones de mezclado y amasado, ya que es más fácil la homogeneización de la pasta.

3.2.5 Mezcla. Es un proceso mecánico que busca combinar de forma adecuada, los componentes de la pasta para obtener una buena resistencia, con la plasticidad, contracción, temperatura de trabajo y color deseados. Una buena mezcla permite obtener regularidad en la producción, en propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos cerámicos.

3.2.6 Amasado. En esta etapa se humedece y se revuelve la mixtura de componentes, para obtener una pasta homogénea. El método artesanal de fabricación de ladrillos cerámicos utiliza animales de gran peso, que permiten un

amasado con mayor fuerza sobre pastas relativamente secas. En métodos industriales se utilizan técnicas basadas en la utilización de máquinas potenciadas por motores de diversos tipos.

3.2.7 Moldeo. El material amasado se ubica en los moldes apropiados para darle forma de ladrillo. Dependiendo de la humedad los ladrillos se pueden moldear por los procedimientos de prensado en seco. De barro rígido o de barro blando. El ladrillo prensado en seco se hace en moldes de alta presión y con mezclas arcillosas relativamente secas, por lo general sus seis caras son lisas y uniformes geoméricamente. El ladrillo de barro rígido se hace a partir de mezclas de arcilla con un poco más de humedad, la arcilla se moldea con una máquina extrusadora y se corta con alambres a las longitudes necesarias. Estos dos procedimientos son típicos de la producción industrial. El procedimiento de barro blando, propio de la producción artesanal. Utiliza una mezcla mojada de arcilla que se coloca en moldes con una presión ligera.

3.2.8 Secado. En esta etapa la pieza pierde el agua que satura sus poros, la cual se pierde por evaporación al contacto con el aire, sin embargo, generalmente quedan algunas moléculas de agua que tienen una función ligante en la pasta seca y sólo es posible eliminarlas mediante el proceso de cocción.

En la elaboración artesanal, esta etapa generalmente dura de 10 a 20 días, en cambio en la industria fácilmente se reduce a un día, con la ayuda de desecadores eléctricos.

3.2.9 Cocción. En este proceso se pierde la totalidad del agua higroscópica y la que se encuentra químicamente combinada. Físicamente: la pasta se contrae, presentando deformaciones de tipo plástico. En cuanto al aspecto químico: se eliminan gases, existe combustión de componentes carbonados, se oxidan sulfuros y se descomponen sulfatos, el óxido ferroso se convierte en férrico. Cuando se llega al punto de conglutinación, el fundente obra sobre las partículas de arcilla y al enfriarse cementa los diferentes componentes de la pasta, originando una pieza sólida y compacta, conocida como adobe cocido o ladrillo cerámico.

3.3 MATERIAS PRIMAS

Las materias primas que intervienen en la fabricación del ladrillo cerámico son:

3.3.1 Arcilla. Suelo o roca sedimentaria, plástica cuando se humedece. Se endurece permanentemente cuando se cuece o calcina. De gran importancia en la industria, la arcilla se compone de un grupo de minerales aluminosilicatos formados por la meteorización de rocas feldespáticas, como el granito. El grano es de tamaño microscópico y con forma de escamas. Esto hace que la superficie de

agregación sea mucho mayor que su espesor, lo que permite un gran almacenamiento de agua por adherencia, dando plasticidad a la arcilla y provocando la hinchazón de algunas variedades. La arcilla común es una mezcla de caolín, o arcilla china (arcilla hidratada) y de polvo fino de algunos minerales feldespáticos anhidros (sin agua) no descompuestos.

Las arcillas varían en plasticidad, todas son más o menos maleables y capaces de ser moldeadas cuando se humedecen con agua. Las arcillas plásticas se usan en todos los tipos de alfarería, en ladrillos, baldosas, pipas, ladrillos refractarios y otros productos. Las variedades más comunes de arcilla y de roca de arcilla son: la arcilla china o caolín; la arcilla de pipa, similar al caolín pero con un contenido mayor de sílice; la arcilla de alfarería, no tan pura como la arcilla de pipa; la arcilla de escultura, o arcilla plástica, una arcilla fina de alfarería mezclada, a veces, con arena fina; arcilla para ladrillos, una mezcla de arcilla y arena con algo de materia ferruginosa (con hierro); la arcilla refractaria, con pequeño o nulo contenido de caliza, tierra alcalina o hierro (que actúan como flujos), por tanto, es infusible y muy refractaria; el esquisto y la marga.

La arcilla debe tener la siguiente composición química para ser apta para un ladrillo.⁸

⁸----- Laboratorio de cerámica. <http://www.construaprende.com/html>

- Contenido de Álcalis y Ácidos: menor del 0.2%. Puede causar eflorescencia con un porcentaje mayor.
- Sustancias solubles (sales: sulfato sódico, sulfato de magnesio): menor al 0.04%. Igual al anterior produce eflorescencias con un porcentaje mayor Piritas (Sulfuros de Hierro). Su exceso puede producir una deposición sulfúrica, en el momento de la cocción, ocasionando coloraciones indeseables y cuarteaduras sobre el material.
- Contenido de Alúmina: 20% - 30%: imparte plasticidad a la arcilla, y un exceso provoca contracciones altas en el secado.
- Contenido de Sílice: 50% - 60%: da baja contracción, previene el agrietamiento, imparte formas uniformes al ladrillo. Asociada con la durabilidad. Su exceso disminuye la cohesión entre partículas.
- Oxido de Hierro: imparte coloración rojiza a la cerámica, previene que la cal produzca la fusión de la arena. Su exceso produce una coloración azul oscura (generalmente no ocasiona otra molestia).
- Cal: debe estar dispersa (diámetro 0.2 mm) o sea cal viva más agua. Es un fúndete que permite bajar la temperatura de fusión de la sílice. Si hay un

exceso puede fundir demasiado provocando agrietamiento y deformación de la pieza.

- MgO: imparte coloración amarilla al material. Ayuda a decrecer la deformación. Su exceso produce deterioro por expansión de la superficie.

Además la arcilla debe tener un bajo contenido de material orgánico para que en el proceso de la cocción no queden espacios vacíos por el consumo de este material.

3.3.2 Vidrio. Cuerpo sólido, transparente y frágil que proviene de la fusión a 1.200°C de una arena silíceo mezclada con potasa o sosa. A temperatura ordinaria constituye una masa amorfa, dura, frágil y sonora. Por lo general es transparente, aunque también puede ser incoloro u opaco, y su color varía según los ingredientes de la hornada.

Composición y propiedades

La sílice se funde a temperaturas muy altas para obtener una masa vítrea. Dado que este vidrio tiene un punto de fusión muy alto y no se contrae ni se dilata demasiado con el cambio de temperatura. El vidrio es mal conductor tanto del calor como de la electricidad, por lo que suele utilizarse como aislante eléctrico y térmico. Para elaborar la mayor parte de los vidrios se combina la sílice con

diferentes proporciones de otras materias primas. Los fundentes alcalinos, normalmente carbonato de sodio o de potasio, hacen que descienda la temperatura requerida para la fusión y la viscosidad de la sílice. La piedra caliza o la dolomita (carbonato de calcio y magnesio) actúan como estabilizantes en el horneado. Si se añaden otros ingredientes, como el plomo y el bórax, se confiere al vidrio propiedades físicas determinadas.

☞ **Clasificación del vidrio.** Se puede establecer dos criterios para la agrupación o clasificación del vidrio, la utilización y la composición.

- **Clasificación según la utilización.** Según la utilización el vidrio puede ser doméstico o industrial.

- **Doméstico.** Es utilizado en la fabricación de diferentes envases para el almacenamiento de productos alimenticios.

- **Industrial.** Es empleado para almacenar productos químicos, biológicos, como también vidrio plano, cristales blandos, fibra óptica, bombillos, etc.

- **Clasificación según la composición.** Según la composición el vidrio puede ser de tipo inorgánico, orgánico mixto y orgánico.

- **Inorgánicos.** Sus elementos constituyentes son elementos metálicos, no metálicos, óxidos, calcogenuros, oxisales u oxinitruros.
- **Orgánicos mixtos.** Se obtienen a partir de algunas siliconas.
- **Orgánicos.** Se conforman por glicoles, azúcares o polímeros (polietileno, poliestireno, poliamidas, etc.).

4. METODOLOGIA

4.1 SELECCION DE LA MATERIA PRIMA

Las materias primas utilizadas para esta investigación son: arcilla y vidrio reciclado molido.

4.1.1 Arcilla. La arcilla utilizada proviene de la Industria Ladrillera del Sur – LADRISUR Ltda ubicada en el sector de Botana al sur del Municipio de Pasto, este material fue seleccionado teniendo en cuenta el diagnóstico realizado por INNOVAR E. A. T a diferentes ladrilleras de la región, la cual concluye que es el más adecuado para la fabricación de ladrillos cerámicos, debido a su color, textura, plasticidad, consistencia y homogeneidad.

☞ **Clasificación de suelos.** Para la clasificación de cualquier tipo de suelo se realizaron ensayos de granulometría y propiedades índice (límites de Atterberg o límites de consistencia)⁹.

⁹ BOWLES, Joseph. Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil. Bogotá: McGraw - Hill. 1981. p. 13 - 45.

☞ **Composición química de la arcilla y el vidrio.** La composición química promedio se realizó en los laboratorios de química de la Universidad de Nariño. Se hizo análisis químico convencional por absorción atómica y gravimétrica.

4.1.2 Características y preparación del vidrio. El vidrio se obtuvo del reciclaje de botellas sin tener en cuenta su color y procedencia, el cual es molido en un molino de bolas, y posteriormente tamizado en la malla No 60, utilizando el pasante; por ser la finura de éste muy apta para el momento de establecer parámetros de comparación con investigaciones anteriores.¹⁰

4.2 DOSIFICACIÓN DE LOS MATERIALES

Los materiales como la arcilla y vidrio reciclado molido se dosificaron teniendo en cuenta el porcentaje en peso partiendo de 0% hasta un tope máximo del 50% para el vidrio y del 100% al 50% para la arcilla, con variaciones del 5% como se indican en la Tabla 2.

¹⁰ JURADO, Op. Cit., p. 15.

Tabla 2. Dosificaciones

Muestra	Porcentaje en peso (%)	
	Arcilla	Vidrio molido
1	100	0
2	95	5
3	90	10
4	85	15
5	80	20
6	75	25
7	70	30
8	65	35
9	60	40
10	55	45
11	50	50

4.3 ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS

Para la elaboración de las probetas o piezas prismáticas cerámicas se tomó como base la investigación Estudios de las Propiedades de Absorción y Resistencia a la Compresión en la arcilla empleada para ladrillos de construcción adicionando vidrio reciclado molido; logrando mediante preensayos escoger la herramienta y los métodos de elaboración apropiados para el buen desarrollo de esta investigación.

4.3.1 Herramientas. Las herramientas que se utilizan para la fabricación de las probetas son:

- Molino de discos
- Molino de bolas
- Tamizadora mecánica
- Serie de tamices incluyendo el No 16 y el N° 60
- Niple de Ø 1"
- Adaptador de Ø 1 ½"
- Pisón de acero
- Base en acero para compactación
- Prensa eléctrica de compresión digital de sensibilidad 1 Lb
- Palanca manual para extracción de probetas
- Prensa universal
- Estufa eléctrica de secado
- Recipientes, bandejas, espátula
- Balanza
- Mufla de resistencia eléctrica con controlador de temperatura, capacidad de 1200°C
- Dosificador de agua
- Nonio o calibrador
- Lija No 50

- Máquina para determinar el desgaste
- Cepillo de alambre
- Brocha

4.3.2 Preparación del material: arcilla – vidrio.

Figura 1. Materiales



- **Extracción.** La arcilla se extrae de forma manual con la ayuda de pico y pala.

- **Putrefacción.** El material es extendido al aire más o menos por tres días.
- **Trituración y tamizado.** Esta se realiza de forma mecánica con la ayuda de un molino de disco para la arcilla y un molino de bolas para el vidrio; para así alcanzar la mayor finura posible, y poder tener una homogeneidad en el amasado (figura 2 y 3). Posteriormente se tamizan los materiales en las mallas N° 16 y N° 60 respectivamente, utilizando los pasantes (figura 4).

Figura 2. Molino de discos (arcilla)



Figura 3. Molino de bolas (vidrio reciclado)



Figura 4. Tamizado



- **Dosificación y mezcla.** Se dosificaron los materiales en diferentes proporciones en peso (Tabla 3), que no sobrepasen el 100% de 600gr, para mejor manejabilidad y fácil mezclado. Las dosificaciones en peso del material son:

Tabla 3. Dosificación en peso

Muestra	Porcentaje en peso (gr)	
	Arcilla	Vidrio molido
1	600	0
2	570	30
3	540	60
4	510	90
5	480	120
6	450	150
7	420	180
8	390	210
9	360	240
10	330	270
11	300	300

Las diferentes dosificaciones son mezcladas en seco de forma manual, hasta lograr una homogeneidad del material.

- **Amasado.** Se agregó a la mezcla en seco agua, hasta formar una pasta húmeda manejable.

El agua se incorporó a la muestra utilizando un dosificador (figura 5); el estado deseado de la pasta se determinó cuando al amasar la muestra y apretarla en la mano no se presentó fisuras en su contorno, de esta manera la mezcla esta lista para continuar el proceso.

La cantidad de agua óptima varía de acuerdo a las dosificaciones, la cual se calculó de forma empírica teniendo en cuenta su manejabilidad.

- **Moldeo.** Para el moldeo se utiliza un tubo de hierro galvanizado (niple) de diámetro 1", longitud 15 cm y un adaptador de 1½ ". De los 600gr de material, se tomó 64gr del mismo el cual se agregó dentro del molde en tres partes, y con la ayuda de una varilla se reacomodó las partículas (figura 6, 7 y 8), se compactó utilizando un pisón de longitud 25cm; mediante preensayos se determinó que era necesario darle un número de 25 golpes (los golpes deben realizarse, elevando el pisón hasta la parte superior de la guía y compactar de modo que la presión sea la misma) (figura 9); de los 600 gr se obtuvieron diez probetas.

Figura 5. Adición de agua para amasado



Figura 6. Cantidad de material



Figura 7. Vaciado del material



Figura 8. Reacomodo de partículas



Figura 9. Compactación manual



El molde se llevó a la plataforma de la prensa digital y se colocó centrándolo respecto a la rotula de la máquina y se le aplicó una carga de 2000 lb (carga determinada mediante preensayos realizados con el fin de extraer al máximo los vacíos que pueden quedar en la muestra después de compactada) (figura 10).

Figura 10. Compactación mecánica



La muestra se retira del molde con ayuda de una palanca de forma manual (figura 11 y 12).

Figura 11. Palanca manual



Figura 12. Extracción de la probeta



- **Secado.** Las probetas fabricadas se dejaron a la sombra por espacio de cinco días, luego son llevadas a una estufa para ser secadas a temperatura de 100 grados centígrados durante 24 horas, con el fin de que las piezas pierdan el agua contenida en sus poros (figura 13).

Figura 13. Secado de probetas



- **Cocción.** Se realizó en una mufla de resistencias eléctricas, con controlador de temperatura (figura 14), el cual se gradúa a 900, 950 y 1000 grados centígrados. El proceso de quema emplea un tiempo aproximado de 2 a 4 horas dependiendo de la temperatura, desde que se prende hasta que se apaga. Se deja enfriar hasta llegar a la temperatura ambiente.

Las probetas se organizan en la mufla por filas para obtener en cada quema un total de 60 unidades.

Figura 14. Cocción de probetas



4.4 TAMAÑO DE LA MUESTRA PARA PRUEBAS FISICO - MECANICAS

Una de las decisiones más importantes que se debe tomar en una investigación por muestreo, consiste en la determinación del tamaño óptimo, simbolizado por **n**.

Se dice que una muestra debe ser pequeña, con el fin de el costo de la investigación sea lo suficientemente bajo, y bastante grande para que el error del muestreo sea admisible.

El tamaño de la muestra se calcula mediante la siguiente fórmula¹¹:

$$n = \frac{Z^2 * S^2}{d^2}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra (número de probetas por cada muestra)

Z = Valor de la tabla normal, según el grado de confianza para este caso, se toma el 95%, lo que implica un valor de $Z = 1.96$ ¹²

S = Varianza calculada a partir de datos obtenidos de una muestra piloto

d = Margen del error aceptable expresado como un porcentaje del promedio de datos de la muestra piloto; para este tipo de investigación se toma un error del 5%.

$$d = 5\% * \bar{X}$$

$$S^2 = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n}$$

¹¹ MARTÍNEZ BECARDINO, Ciro. Apuntes y 600 problemas resueltos. 3ª. Ed. Bogotá: ECOE. 1978. p. 385

¹² SPIGEL, Murray R. Teoría y Problemas de Probabilidad y Estadística. México: Mc Graw Hill, 1987. p. 345

Donde:

X_i = Esfuerzo a compresión de la unidad muestral

\bar{X} = Promedio de las esfuerzos a compresión

n = Número de unidades en la muestra piloto

Para obtener los valores S y d , se debe realizar una muestra piloto de la investigación a desarrollar.

Tabla 4. Muestra piloto 100% arcilla, resistencia a la compresión

Número muestras	Diámetro (cm)	Área (cm²)	Carga rotura (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm²)
1	2.640	5.474	799.445	146.046
2	2.640	5.474	726.026	132.634
3	2.640	5.474	698.495	127.604
4	2.640	5.474	689.317	125.928
5	2.640	5.474	678.101	123.879
Promedio			718.277	131.218

Para la muestra piloto se elabora un número de cinco probetas con 100% de arcilla a las cuales se realizó el ensayo de resistencia a la compresión y se determino el tamaño de la muestra.

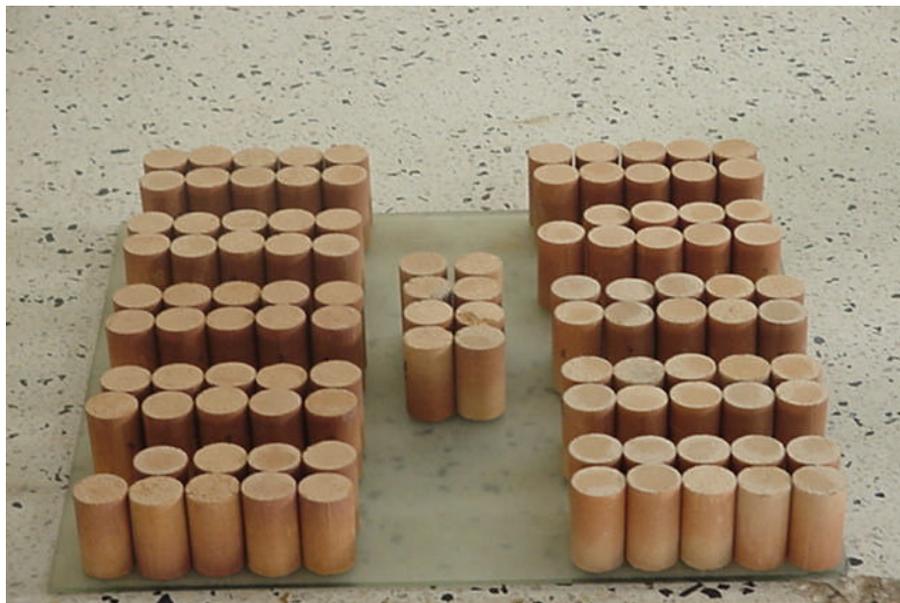
4.5 REALIZACION DE ENSAYOS FISICOS Y MECANICOS

4.5.1 Método para cuantificar las propiedades físicas.

☞ **Determinación del color.** El color debe especificarse libremente por el fabricante. Ordinariamente el color varía dentro de una gama, según el tipo de arcilla y el proceso de fabricación.

- **Procedimiento.** Se observó el lote y se determinó el color predominante (figura 15).

Figura 15. Color de las probetas



☞ **Ensayo de densidad.**

- **Equipo.** Balanza de sensibilidad 0.1gr y capacidad 1000 gr, Nonio o calibrador.
- **Selección y preparación de las unidades muestrales.** Las bases de las probetas son pulidas en sus extremos con lija No 50 para obtener en lo posible unos extremos aproximadamente planos y paralelos (figura 16).

Figura 16. Preparación de probetas

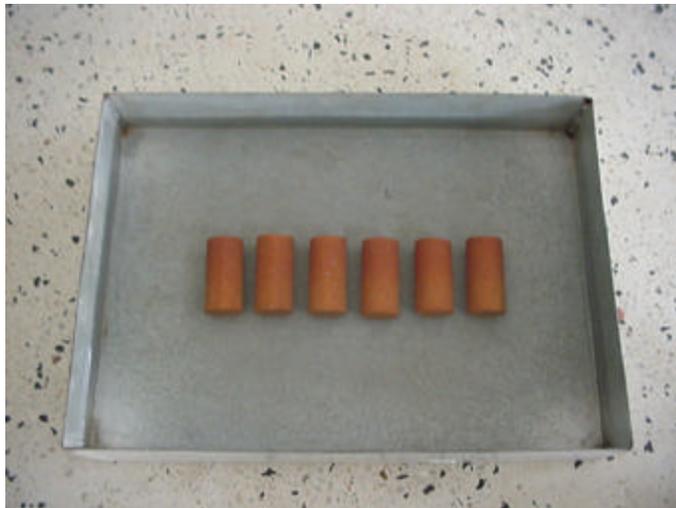


- **Procedimiento.** Cada una de las probetas deben ser pesadas en la balanza y medidas (diámetro y altura) con ayuda del nonio o calibrador.

☞ **Ensayo de absorción de agua.**

- **Equipo.** Balanza de sensibilidad 0.1gr y capacidad 1000 gr, bandeja para sumersión de los especímenes, estufa eléctrica para secado.
- **Selección y preparación de las unidades muestrales.** Se verificó que cada espécimen esté desecado.
- **Procedimiento.** Se pesó cada espécimen en su estado seco, a continuación se sumergieron en agua limpia a una temperatura aproximada de 15°C durante 24 horas, al cabo de los cuales se retira el espécimen de la bandeja, se seca el exceso de agua con un paño húmedo y se pesa (figura 17).

Figura 17. Absorción de agua



4.5.2 Método para cuantificar las propiedades mecánicas.

☞ Ensayo de resistencia a la compresión.

- **Equipo.** Prensa universal.
- **Selección y preparación de las unidades muestrales.** Se verificó que todas las unidades a ensayar no presenten fisuras; sus bases se refrentan con azufre¹³ para obtener en lo posible unos extremos planos y paralelos (figura 18 y 19).

Figuras 18 y 19. Refrentado con azufre



¹³ NTC 4017, Op. cit., p. 5.

Las probetas tienen una altura promedio de 5.7 cm y diámetro promedio de 2.6 cm para conservar una relación de esbeltez altura – diámetro¹⁴ de 2.19.

- **Procedimiento.** Las probetas se llevan a la prensa universal, centrándolas con respecto a la rótula. Se verificó la escala y la condición de ceros de la máquina; una vez la probeta se encuentra aproximadamente a un milímetro de entrar en contacto con la superficie de la máquina se aplicó carga a una velocidad uniforme hasta llegar a la rotura de la probeta, quedando registrado en el tablero la carga aplicada cuya lectura se da en kilonewton (KN). (Figura 20).

Figura 20. Ensayo de resistencia a la compresión



¹⁴ BOWLES, Joseph, Op. Cit., p. 54.

Los tipos de fracturas presentes en los ensayos son de forma cónica y diagonal, predominando la primera (figura 21).

Figura 21. Falla de la probeta



☞ **Ensayo de desgaste por abrasión.**

- **Equipo.** Estufa eléctrica para secado, máquina para desgaste, cepillo de alambre, brocha.

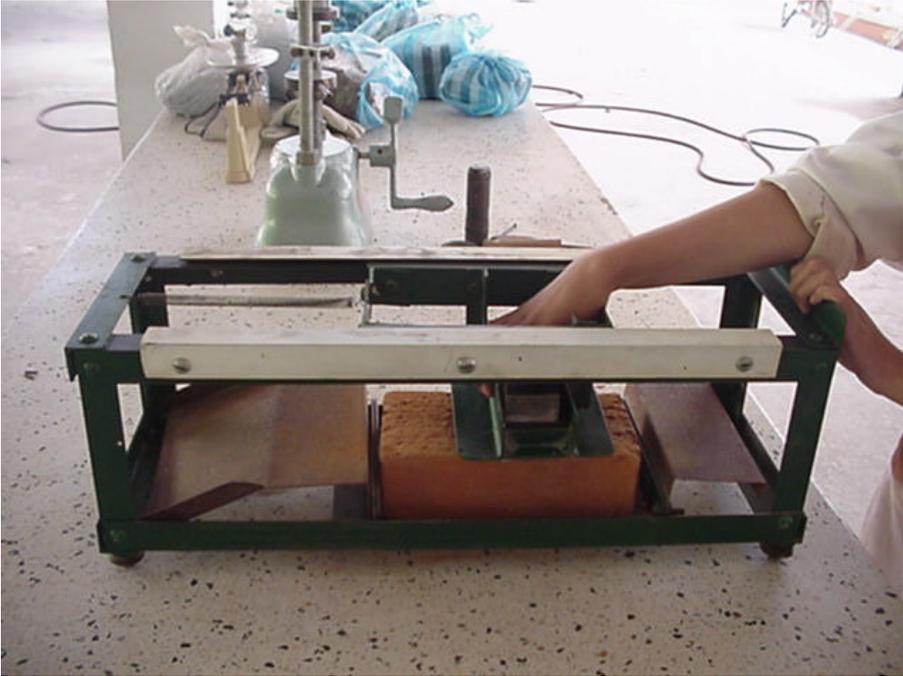
- **Selección y preparación de las unidades muestrales.** Se sometieron las piezas por varios días al horno y se controlan los pesos continuamente, hasta conseguir un peso inicial constante.

Las unidades también requieren de un cuidado previo, se saturan los especímenes mediante inmersión en agua, se colocan en la estufa eléctrica a 71°C durante 42 horas.

- **Procedimiento.** Una vez secas se sometieron las piezas a la acción de raspado, en donde se utilizó la máquina fabricada para dicho proceso, así; se coloca la pieza en el espacio destinado para ello, asegurándose que quede fija y por medio del carro móvil del que esta provista se hala el cepillo de alambre sobre la pieza con la ayuda que tiene el carro, él volverá a su posición inicial, de esta manera se dan dos pasadas por cada punto, aplicando una presión de 1.36 Kg sobre la pieza, se extrae de la máquina y se limpia la superficie con una brocha y se saturan nuevamente. Se repite el procedimiento durante 12 ciclos, al final de los cuales se secaron las piezas a 100°C y se determinaron sus pesos secos finales¹⁵ (figura 22).

¹⁵ BELTRAN y CAICEDO, Op. cit., p. 63.

Figura 22. Desgaste por abrasión



5. PROCESAMIENTO Y PRESENTACION DE RESULTADOS

5.1 CLASIFICACION DE LOS SUELOS

La Tabla 5 muestra la clasificación de los materiales arcillosos utilizados para el desarrollo de la investigación.

Tabla 5. Clasificación de suelos

Material	Clasificación AASHTO y SUCS	Características
Arcilla gris	Suelo A -7 - 6 / CL	Arcilla de baja plasticidad, color gris.
Arcilla amarilla	Suelo A -7 -5 / ML	Limo arenoso de baja compresibilidad, color amarillo.
Mezcla 1:2* (1 de arcilla amarilla + 2 de arcilla gris, en peso)	Suelo A -7-6 / CH	Arcilla de alta plasticidad
Mezcla 2:1* (2 de arcilla amarilla + 1 de arcilla gris, en peso)	Suelo A -7-6 / CH	Arcilla de alta plasticidad

* Dosificaciones utilizadas por los fabricantes

5.2 ANALISIS QUIMICO DE LAS ARCILLAS Y EL VIDRIO

La Tabla 6 muestra el resultado del análisis químico para las dos muestras objeto de estudio.

Tabla 6. Análisis químico de las arcillas

Material	Componente	Porcentaje (%)
Arcilla gris	SiO ₂	46.81
	Al ₂ O ₃	23.62
	Fe ₂ O ₃	4.66
	Na ₂ O	2.27
	K ₂ O	1.18
	CaO	0.16
	MgO	0.58
Arcilla amarilla	SiO ₂	41.32
	Al ₂ O ₃	25.27
	Fe ₂ O ₃	0.88
	Na ₂ O	2.53
	K ₂ O	1.20
	CaO	0.10
	MgO	0.44

* Laboratorios especializados. Universidad de Nariño.

El análisis refleja unos minerales arcillosos con poca cantidad de alúmina para ser considerada arcilla refractaria, cuyos porcentajes deben estar por encima del 60%¹⁶. En las dos arcillas, la sílice se considera también relativamente baja.

Lo anterior, permite que la presente investigación incorpore vidrio reciclado molido como aportante de sílice (SiO₂), esperando que las piezas adquieran una mayor resistencia.

La Tabla 7 muestra el análisis del vidrio.

Tabla 7. Análisis químico del vidrio

Componente	Porcentaje %
SiO ₂	73 a 74
Al ₂ O ₃	2 a 3
Na ₂ O	13
K ₂ O	0.12
CaO	6

* Laboratorios especializados. Universidad de Nariño

¹⁶ PEÑA CASTRO, María Pilar. Físicoquímica de los materiales refractarios. C.S.I.C. 1996. p. 62

El porcentaje de sílice en el vidrio es alto, por lo tanto se lo considera como aportante de este elemento, cuya repercusión se traduce en modificar las propiedades de la arcilla y por consiguiente del ladrillo final.

5.3 DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA PARA PRUEBAS FÍSICO – MECÁNICAS

Tabla 8. Análisis estadístico para determinar el tamaño de la muestra

Número muestra	Esfuerzo Xi (Kg/cm ²)	Xi - X	(Xi - X) ²
1	146.046	14.828	219.875
2	132.634	1.416	2.004
3	127.604	- 3.614	13.060
4	125.928	- 5.290	27.989
5	123.879	- 7.340	53.869
0	656.091		316.798

El promedio de los esfuerzos a compresión de las probetas piloto es:

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi}{n} = \frac{656.091}{5} = 131,218$$

Para un margen del error del 5% el valor de **d** es:

$$d = 5\% * X = \frac{5 * 131,218}{100} = 6,561$$

La varianza calculada es:

$$s^2 = \frac{\sum (X_i - X)^2}{n} = \frac{316,798}{5} = 63.360$$

$$S = 7,960$$

El número de probetas calculado para cada ensayo es:

$$n = \frac{z^2 * s^2}{d^2} = \frac{1.96^2 * 7,960^2}{6,561^2} = 5,654$$

Por lo tanto el tamaño de la muestra (n) se aproxima a 6 probetas.

5.4 DETERMINACIÓN DEL COLOR

Según lo descrito en el numeral 4.5.1, el color de las probetas varía dentro de una gama, según el tipo de arcilla y el proceso de fabricación empleado, dando como resultado un color anaranjado claro a un anaranjado claro intenso.

5.5 DENSIDAD

Según lo descrito en los numerales 3.1.1 y 4.5.1 se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9. Densidades

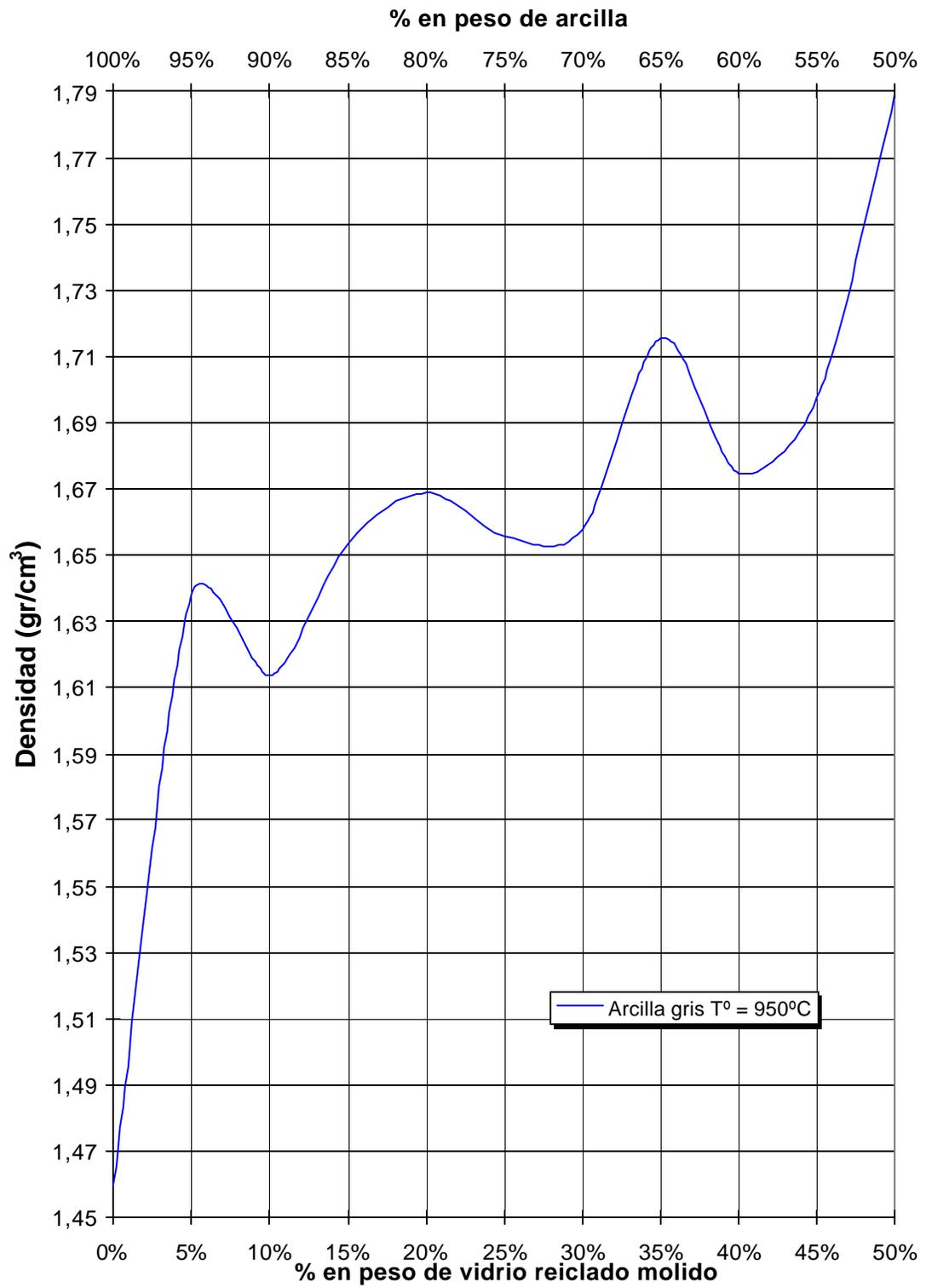
Numero muestra	Diámetro cm	Área cm²	Altura cm	Peso gr	Volumen cm³	Densidad gr/cm³
1	2,718	5,802	5,466	46,290	31,715	1,460
2	2,628	5,424	5,258	46,712	28,521	1,638
3	2,653	5,528	5,285	47,139	29,215	1,614
4	2,657	5,545	5,226	47,913	28,976	1,654
5	2,663	5,570	5,315	49,400	29,603	1,669
6	2,705	5,747	5,418	51,554	31,136	1,656
7	2,704	5,743	5,453	51,913	31,314	1,658
8	2,713	5,781	5,400	53,548	31,216	1,715
9	2,713	5,781	5,496	53,209	31,771	1,675
10	2,712	5,777	5,427	53,215	31,349	1,697
11	2,692	5,692	5,358	54,566	30,496	1,789

Los valores de densidad se representan gráficamente de acuerdo a la Tabla 9 (Figura 23).

La gráfica de densidad muestra que a partir del 5% de porcentaje de vidrio, la densidad se incrementa significativamente, de 1.63 gr/cm³ a 1.79 gr/cm³.

Lo anterior probablemente se debe al proceso de vitrificación que se inicia a esta temperatura, la que provoca la formación de “masa vítrea” no fundida, considerada como un estado intermedio al de fusión.

Figura 23. Ábaco ensayo de densidad



5.6 ABSORCION DE AGUA

Según lo descrito en los numerales 3.1.1 y 4.5.1 los resultados obtenidos se presentan en las Tablas 10 a 20.

Los estadísticos de absorción de agua se presentan en la Tabla 21.

Tabla 10. Absorción de agua

Muestra 1: 100% arcilla + 0% vidrio reciclado molido

Numero probetas	Peso seco gr	Peso saturado gr	Absorción %
1	51,60	60,95	18,12
2	51,03	60,24	18,05
3	51,33	60,89	18,62
4	52,08	61,02	17,17
5	50,83	60,03	18,10
6	51,97	61,00	17,38

Tabla 11. Absorción de agua

Muestra 2: 95% arcilla + 5% vidrio reciclado molido

Numero probetas	Peso seco gr	Peso saturado gr	Absorción %
1	46,49	54,80	17,87
2	46,93	55,07	17,34
3	46,54	54,97	18,11
4	46,12	53,86	16,78
5	46,97	55,08	17,27
6	46,16	53,91	16,79

Tabla 12. Absorción de agua

Muestra 3: 90% arcilla + 10% vidrio reciclado molido

Numero probetas	Peso seco gr	Peso saturado gr	Absorción %
1	46,71	54,89	17,51
2	46,90	54,94	17,14
3	46,82	54,91	17,28
4	47,66	55,14	15,69
5	46,64	54,72	17,32
6	47,47	55,01	15,88

Tabla 13. Absorción de agua

Muestra 4: 85% arcilla + 15% vidrio reciclado molido

Numero probetas	Peso seco gr	Peso saturado gr	Absorción %
1	48,59	56,44	16,16
2	47,97	56,03	16,80
3	48,39	56,3	16,35
4	48,46	56,38	16,34
5	48,6	56,47	16,19
6	48,10	56,03	16,49

Tabla 14. Absorción de agua

Muestra 5: 80% arcilla + 20% vidrio reciclado molido

Numero probetas	Peso seco gr	Peso saturado gr	Absorción %
1	49,30	56,99	15,60
2	49,31	57,16	15,92
3	48,69	56,53	16,10
4	49,35	57,23	15,97
5	49,57	57,75	16,50
6	49,65	58,00	16,82

Tabla 15. Absorción de agua

Muestra 6: 75% arcilla + 25% vidrio reciclado molido

Numero probetas	Peso seco gr	Peso saturado gr	Absorción %
1	51,93	59,97	15,48
2	52,43	60,41	15,22
3	50,58	59,60	17,83
4	51,35	59,74	16,34
5	51,93	59,97	15,48
6	51,89	59,92	15,48

Tabla 16. Absorción de agua

Muestra 7: 70% arcilla + 30% vidrio reciclado molido

Numero probetas	Peso seco gr	Peso saturado gr	Absorción %
1	51,15	59,01	15,37
2	51,62	59,88	16,00
3	51,77	59,93	15,76
4	51,15	59,01	15,37
5	51,61	59,90	16,06
6	51,83	60,02	15,80

Tabla 17. Absorción de agua

Muestra 8: 65% arcilla + 35% vidrio reciclado molido

Numero probetas	Peso seco gr	Peso saturado gr	Absorción %
1	52,90	61,82	16,86
2	54,20	62,04	14,46
3	53,05	61,98	16,83
4	53,98	62,00	14,86
5	54,20	62,04	14,46
6	53,90	61,99	15,01

Tabla 18. Absorción de agua

Muestra 9: 60% arcilla + 40% vidrio reciclado molido

Numero probetas	Peso seco gr	Peso saturado gr	Absorción %
1	53,65	61,54	14,71
2	53,04	61,13	15,25
3	52,93	61,08	15,40
4	53,49	61,42	14,83
5	53,67	61,58	14,74
6	53,61	61,49	14,70

Tabla 19. Absorción de agua

Muestra 10: 55% arcilla + 45% vidrio reciclado molido

Numero probetas	Peso seco gr	Peso saturado gr	Absorción %
1	53,27	60,48	13,53
2	54,36	61,04	12,29
3	52,92	59,92	13,23
4	53,26	60,42	13,44
5	52,91	59,88	13,17
6	53,27	60,48	13,53

Tabla 20. Absorción de agua

Muestra 11: 50% arcilla + 50% vidrio reciclado molido

Numero probetas	Peso seco gr	Peso saturado gr	Absorción %
1	54,18	58,72	8,38
2	55,39	59,85	8,05
3	53,60	58,26	8,69
4	53,26	58,02	8,94
5	54,88	58,93	7,38
6	54,36	58,85	8,26

Tabla 21. Análisis estadístico de absorción de agua

Tipo de muestra	Valores		\bar{X}	Sn	Cv
	Max	Min			
100% arcilla + 0% vidrio molido	18,62	17,17	17,91	0,49	2,74
95% arcilla + 5% vidrio molido	18,11	16,78	17,36	0,73	4,19
90% arcilla + 10% vidrio molido	17,51	15,69	16,81	0,73	4,34
85% arcilla + 15% vidrio molido	16,80	16,16	16,39	0,21	1,31
80% arcilla + 20% vidrio molido	16,82	15,60	16,15	0,33	2,05
75% arcilla + 25% vidrio molido	17,83	15,22	15,97	0,90	5,65
70% arcilla + 30% vidrio molido	16,06	15,37	15,73	0,28	1,75
65% arcilla + 35% vidrio molido	16,86	14,46	15,42	1,03	6,69
60% arcilla + 40% vidrio molido	15,40	14,70	14,94	0,28	1,88
55% arcilla + 45% vidrio molido	13,53	12,29	13,20	0,43	3,27
50% arcilla + 50% vidrio molido	8,94	7,38	8,28	0,50	5,99

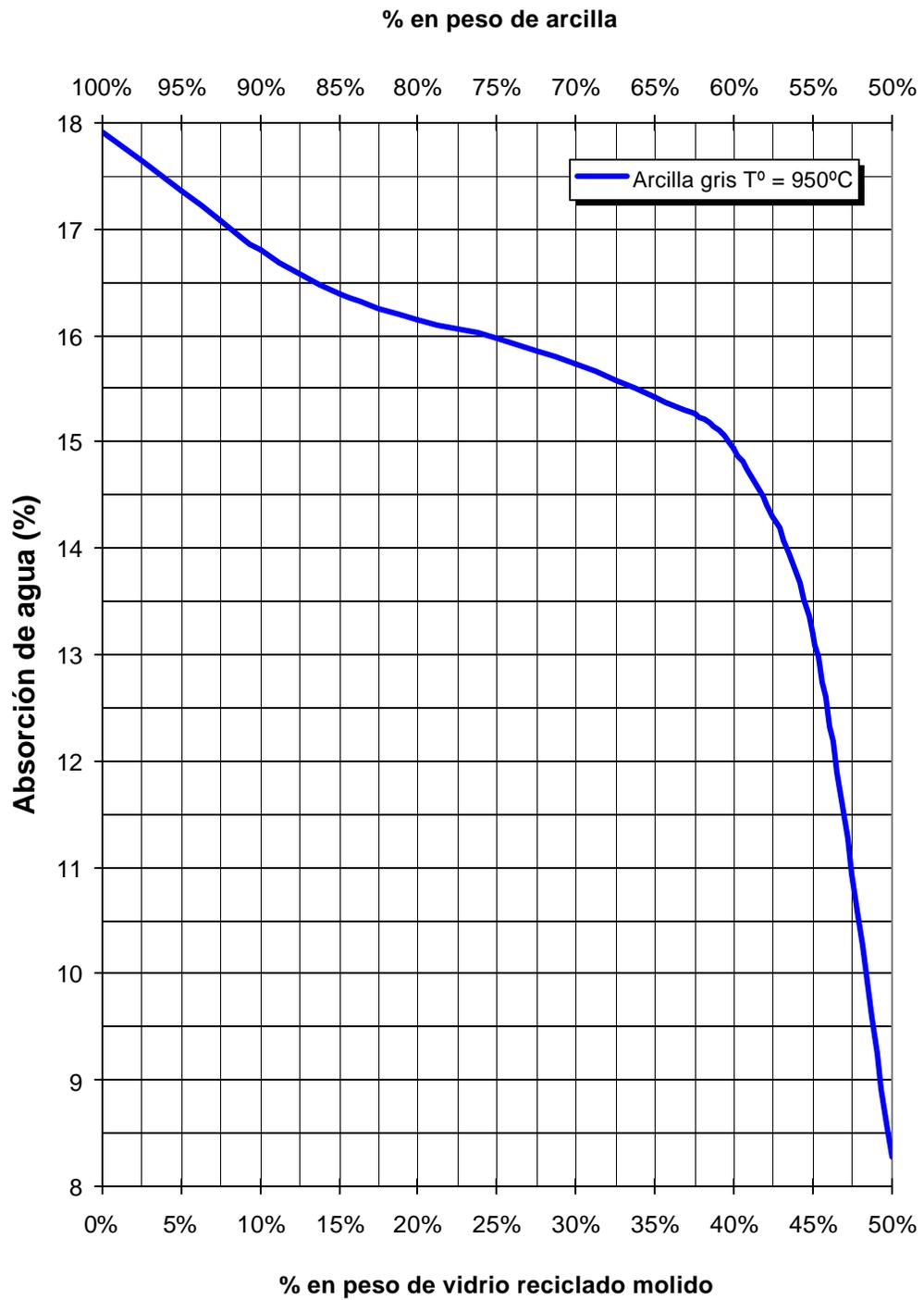
—
X = Media aritmética

Sn = Desviación estándar

Cv = Coeficiente de variación

El porcentaje de arcilla, vidrio y los valores de absorción se representan gráficamente de acuerdo a la Tabla 21 (Figura 24).

Figura 24. Ábaco ensayo de absorción de agua



La gráfica 24, muestra que un aumento del porcentaje de vidrio implica una disminución de la absorción; esto se debe a que el vidrio es mucho más impermeable al agua que las arcillas; el control de su dosificación debe manejarse según los requerimientos del ladrillo.

5.7 RESISTENCIA A LA COMPRESION

Según lo descrito en los numerales 3.1.1 y 4.5.2 los resultados obtenidos se presentan en las Tablas 22 a 32.

Los estadísticos de la resistencia a la compresión se presentan en la Tabla 33.

Tabla 22. Resistencia a la compresión

Muestra 1: 100% arcilla + 0% vidrio reciclado molido

Número probetas	Diámetro (cm)	Área (cm²)	Carga Rotura (Kg)	Esfuerzo Kg/cm²
1	2,718	5,802	1187,951	204,743
2	2,718	5,802	1174,694	202,459
3	2,718	5,802	1121,670	193,320
4	2,718	5,802	1079,862	186,114
5	2,718	5,802	1042,133	179,612
6	2,718	5,802	1024,799	176,624

Tabla 23. Resistencia a la compresión

Muestra 2: 95% arcilla + 5% vidrio reciclado molido

Número probetas	Diámetro (cm)	Area (cm²)	Carga Rotura (Kg)	Esfuerzo Kg/cm²
1	2,628	5,424	1052,330	194,004
2	2,628	5,424	1029,897	189,869
3	2,628	5,424	1000,326	184,417
4	2,628	5,424	977,892	180,281
5	2,628	5,424	938,124	172,950
6	2,628	5,424	923,848	170,318

Tabla 24. Resistencia a la compresión

Muestra 3: 90% arcilla + 10% vidrio reciclado molido

Número probetas	Diámetro (cm)	Area (cm²)	Carga Rotura (Kg)	Esfuerzo Kg/cm²
1	2,653	5,528	919,769	166,385
2	2,653	5,528	908,553	164,356
3	2,653	5,528	882,041	159,560
4	2,653	5,528	873,883	158,084
5	2,653	5,528	865,725	156,609
6	2,653	5,528	837,174	151,444

Tabla 25. Resistencia a la compresión

Muestra 4: 85% arcilla + 15% vidrio reciclado molido

Número probetas	Diámetro (cm)	Area (cm²)	Carga Rotura (Kg)	Esfuerzo Kg/cm²
2	2,657	5,545	984,011	177,471
3	2,657	5,545	960,557	173,241
4	2,657	5,545	938,124	169,195
5	2,657	5,545	929,966	167,724
6	2,657	5,545	922,829	166,436
7	2,657	5,545	902,435	162,758

Tabla 26. Resistencia a la compresión

Muestra 5: 80% arcilla + 20% vidrio reciclado molido

Número probetas	Diámetro (cm)	Area (cm²)	Carga Rotura (Kg)	Esfuerzo Kg/cm²
2	2,663	5,570	987,070	177,221
3	2,663	5,570	973,814	174,841
4	2,663	5,570	957,498	171,912
5	2,663	5,570	945,262	169,715
6	2,663	5,570	927,927	166,603
7	2,663	5,570	905,494	162,575

Tabla 27. Resistencia a la compresión

Muestra 6: 75% arcilla + 25% vidrio reciclado molido

Número probetas	Diámetro (cm)	Area (cm²)	Carga Rotura (Kg)	Esfuerzo Kg/cm²
1	2,705	5,747	940,163	163,598
2	2,705	5,747	922,829	160,582
3	2,705	5,747	906,513	157,743
4	2,705	5,747	882,041	153,484
5	2,705	5,747	859,607	149,581
6	2,705	5,747	822,898	143,193

Tabla 28. Resistencia a la compresión

Muestra 7: 70% arcilla + 30% vidrio reciclado molido

Número probetas	Diámetro (cm)	Area (cm²)	Carga Rotura (Kg)	Esfuerzo Kg/cm²
1	2,704	5,743	814,740	141,878
2	2,704	5,743	797,405	138,860
3	2,704	5,743	793,327	138,149
4	2,704	5,743	789,248	137,439
5	2,704	5,743	783,130	136,374
6	2,704	5,743	778,031	135,486

Tabla 29. Resistencia a la compresión

Muestra 8: 65% arcilla + 35% vidrio reciclado molido

Número probetas	Diámetro (cm)	Area (cm²)	Carga Rotura (Kg)	Esfuerzo Kg/cm²
2	2,713	5,781	1124,729	194,562
3	2,713	5,781	1100,256	190,329
4	2,713	5,781	1077,823	186,448
5	2,713	5,781	1041,114	180,098
6	2,713	5,781	1008,483	174,453
7	2,713	5,781	1004,405	173,748

Tabla 30. Resistencia a la compresión

Muestra 9: 60% arcilla + 40% vidrio reciclado molido

Número probetas	Diámetro (cm)	Area (cm²)	Carga Rotura (Kg)	Esfuerzo Kg/cm²
1	2,703	5,738	765,795	133,454
2	2,703	5,738	754,578	131,499
3	2,703	5,738	746,420	130,077
4	2,703	5,738	726,026	126,523
5	2,703	5,738	718,889	125,279
6	2,703	5,738	705,632	122,969

Tabla 31. Resistencia a la compresión

Muestra 10: 55% arcilla + 45% vidrio reciclado molido

Número probetas	Diámetro (cm)	Area (cm²)	Carga Rotura (Kg)	Esfuerzo Kg/cm²
1	2,712	5,777	820,859	142,102
2	2,712	5,777	813,721	140,866
3	2,712	5,777	793,327	137,335
4	2,712	5,777	757,637	131,157
5	2,712	5,777	749,480	129,745
6	2,712	5,777	744,381	128,862

Tabla 32. Resistencia a la compresión

Muestra 11: 50% arcilla + 50% vidrio reciclado molido

Número probetas	Diámetro (cm)	Area (cm²)	Carga Rotura (Kg)	Esfuerzo Kg/cm²
2	2,692	5,692	2014,927	354,013
3	2,692	5,692	2009,829	353,117
4	2,692	5,692	1998,612	351,147
5	2,692	5,692	1979,238	347,743
6	2,692	5,692	1964,962	345,234
7	2,692	5,692	1958,844	344,160

Tabla 33. Análisis estadístico de resistencia a la compresión (Kg / cm²)

Tipo de muestra	Valores		\bar{X}	Sn	Cv
	Máx	Min			
100% arcilla + 0% vidrio molido	204,743	176,624	190,479	10,678	5,606
95% arcilla + 5% vidrio molido	194,004	170,318	181,973	8,497	4,669
90% arcilla + 10% vidrio molido	166,385	151,444	159,406	4,936	3,097
85% arcilla + 15% vidrio molido	177,471	162,758	169,471	4,754	2,805
80% arcilla + 20% vidrio molido	177,221	162,575	170,478	4,910	2,880
75% arcilla + 25% vidrio molido	163,598	143,193	154,697	6,869	4,441
70% arcilla + 30% vidrio molido	141,878	135,486	138,031	2,044	1,481
65% arcilla + 35% vidrio molido	194,562	173,748	154,315	28,924	18,744
60% arcilla + 40% vidrio molido	133,454	122,969	128,300	3,666	2,858
55% arcilla + 45% vidrio molido	142,102	128,862	135,011	5,328	3,947
50% arcilla + 50% vidrio molido	354,013	344,160	349,236	3,776	1,081

\bar{X} = Media aritmética

Sn = Desviación estándar

Cv = Coeficiente de variación

El porcentaje de arcilla, vidrio y los valores de resistencia a la compresión se representan gráficamente de acuerdo a la Tabla 33 (Figuras 25,26,27,28,29,30,31 y 32).

El comportamiento sinusoidal de las gráficas probablemente se debe a que los materiales no son homogéneos.

Figura 25. Ábaco ensayo de resistencia a la compresión $T^0 = 900^{\circ}\text{C}$

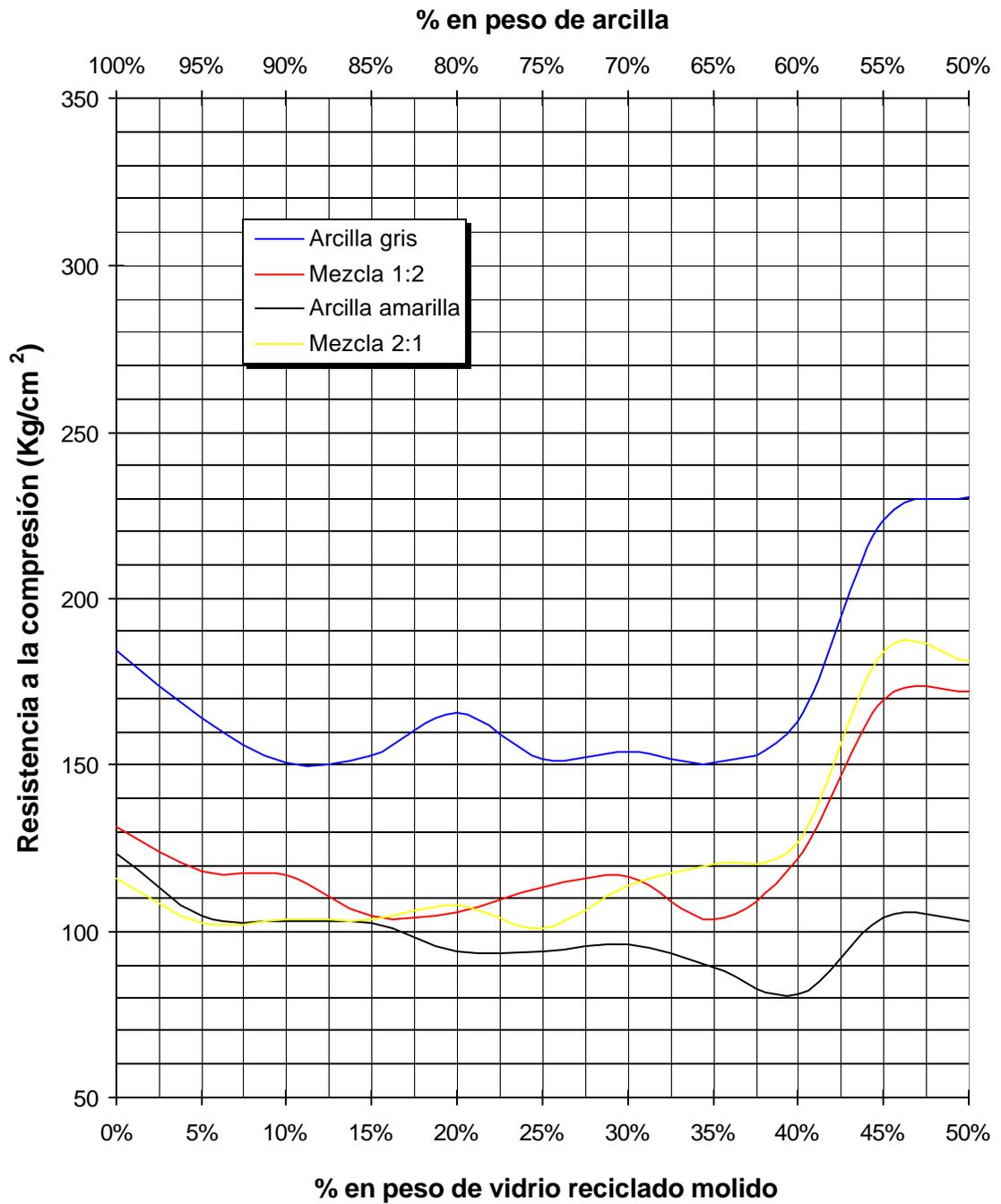


Figura 26. Ábaco ensayo de resistencia a la compresión $T^{\circ} = 950^{\circ}\text{C}$

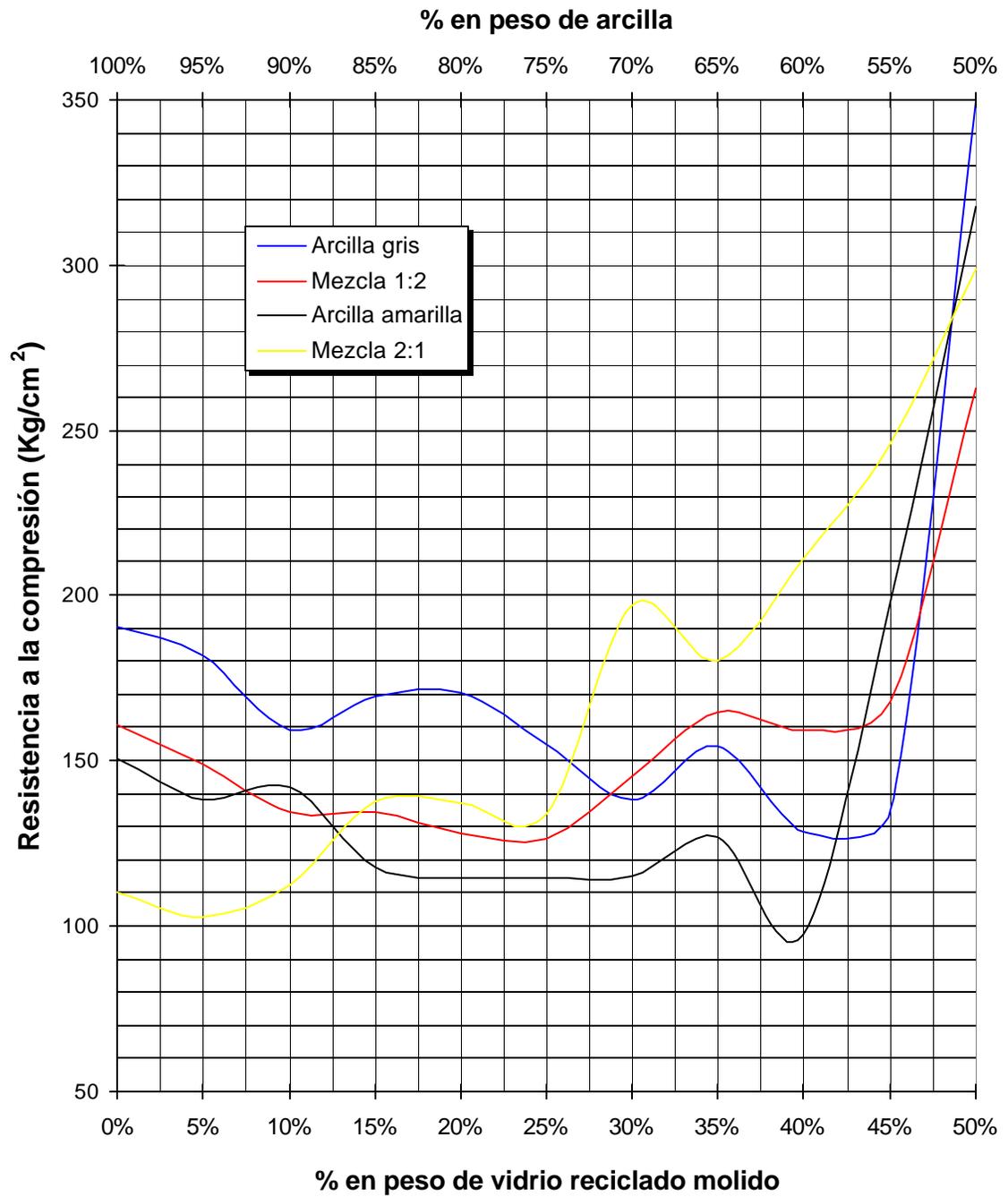


Figura 27. Ábaco ensayo de resistencia a la compresión $T^0 = 1000^{\circ}\text{C}$

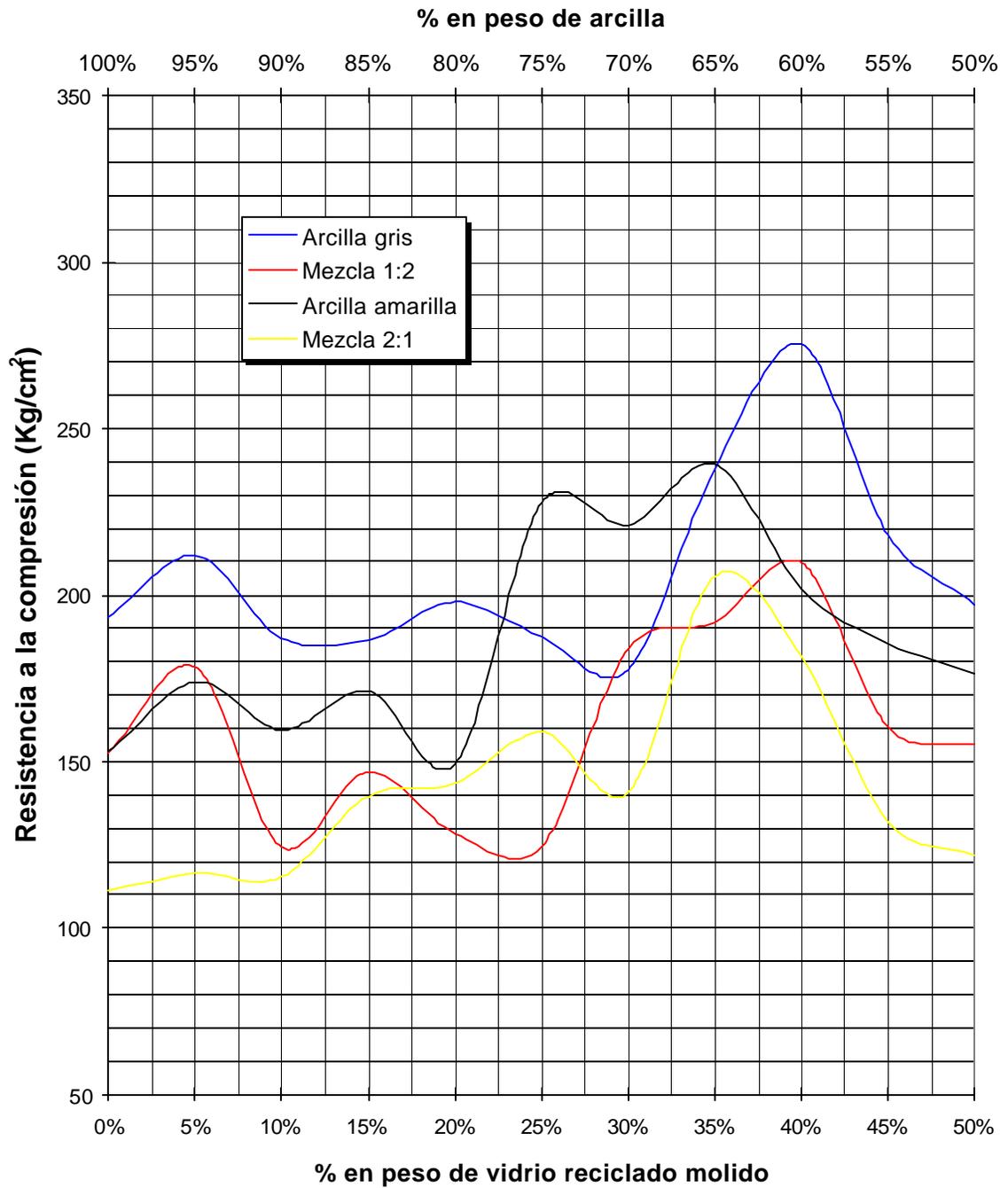


Figura 28. Ábaco ensayo de resistencia a la compresión arcilla gris

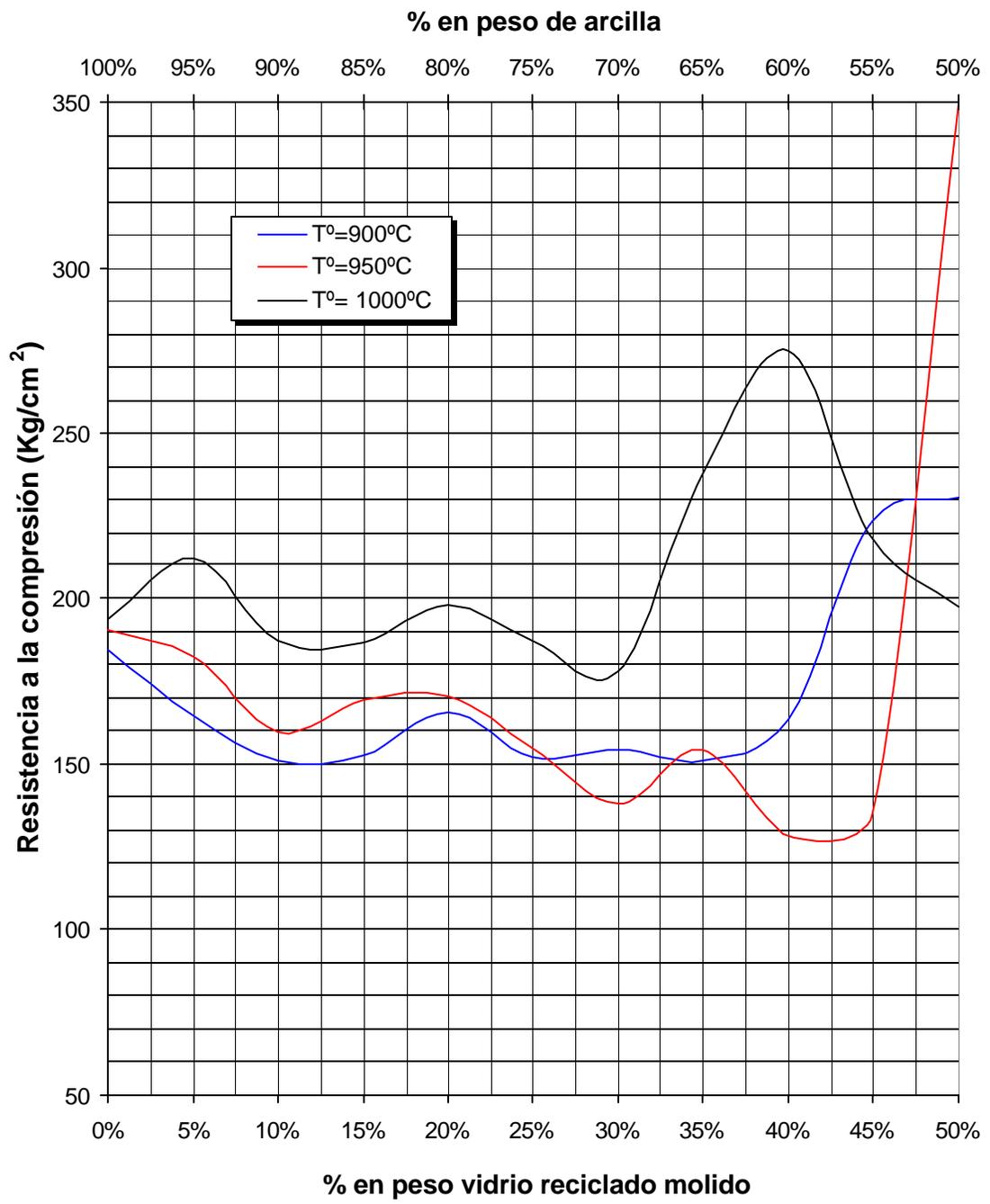


Figura 29. Ábaco ensayo de resistencia a la compresión mezcla 1:2

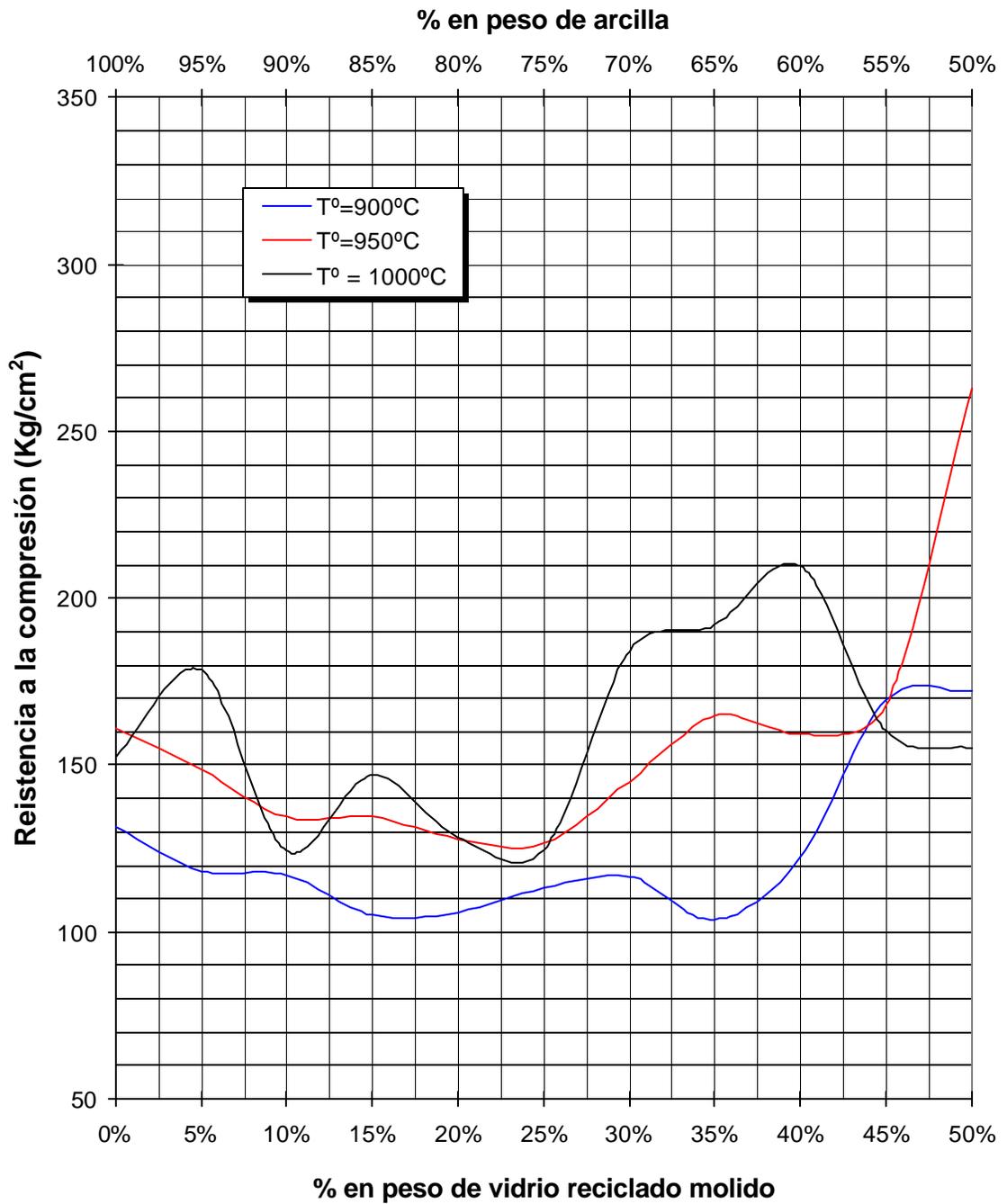


Figura 30. Ábaco ensayo de resistencia a la compresión mezcla 2:1

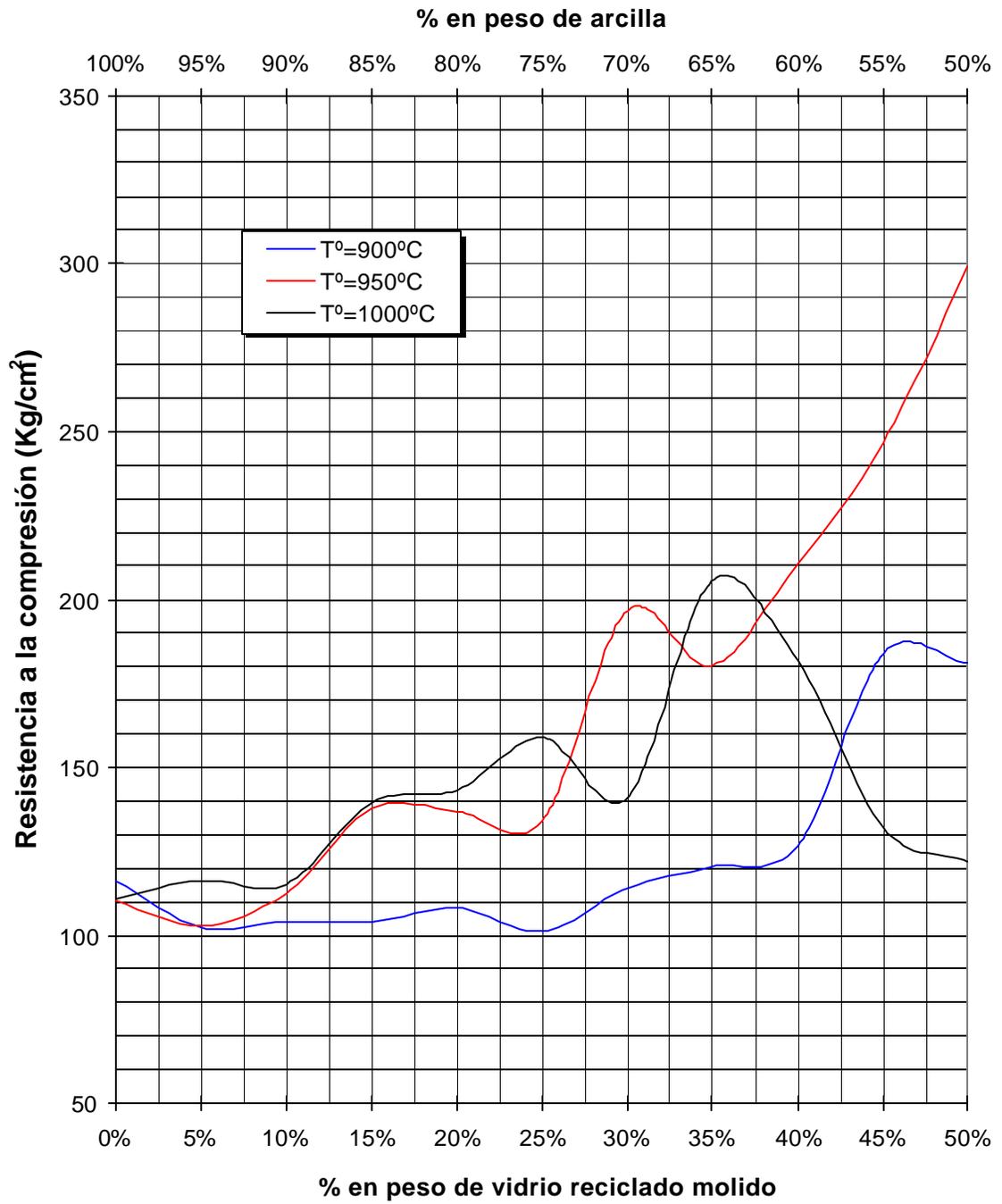


Figura 31. Ábaco ensayo de resistencia a la compresión arcilla amarilla

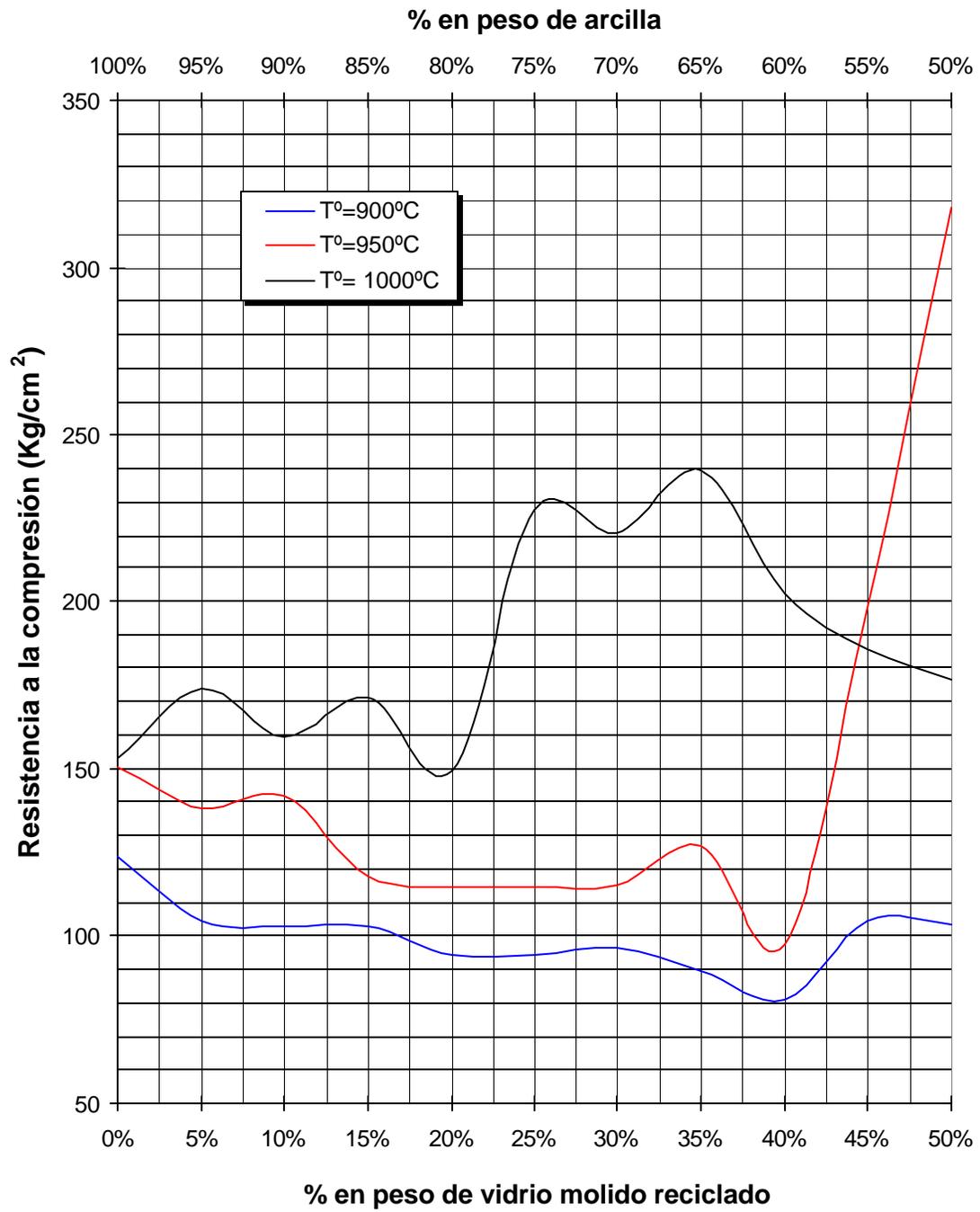
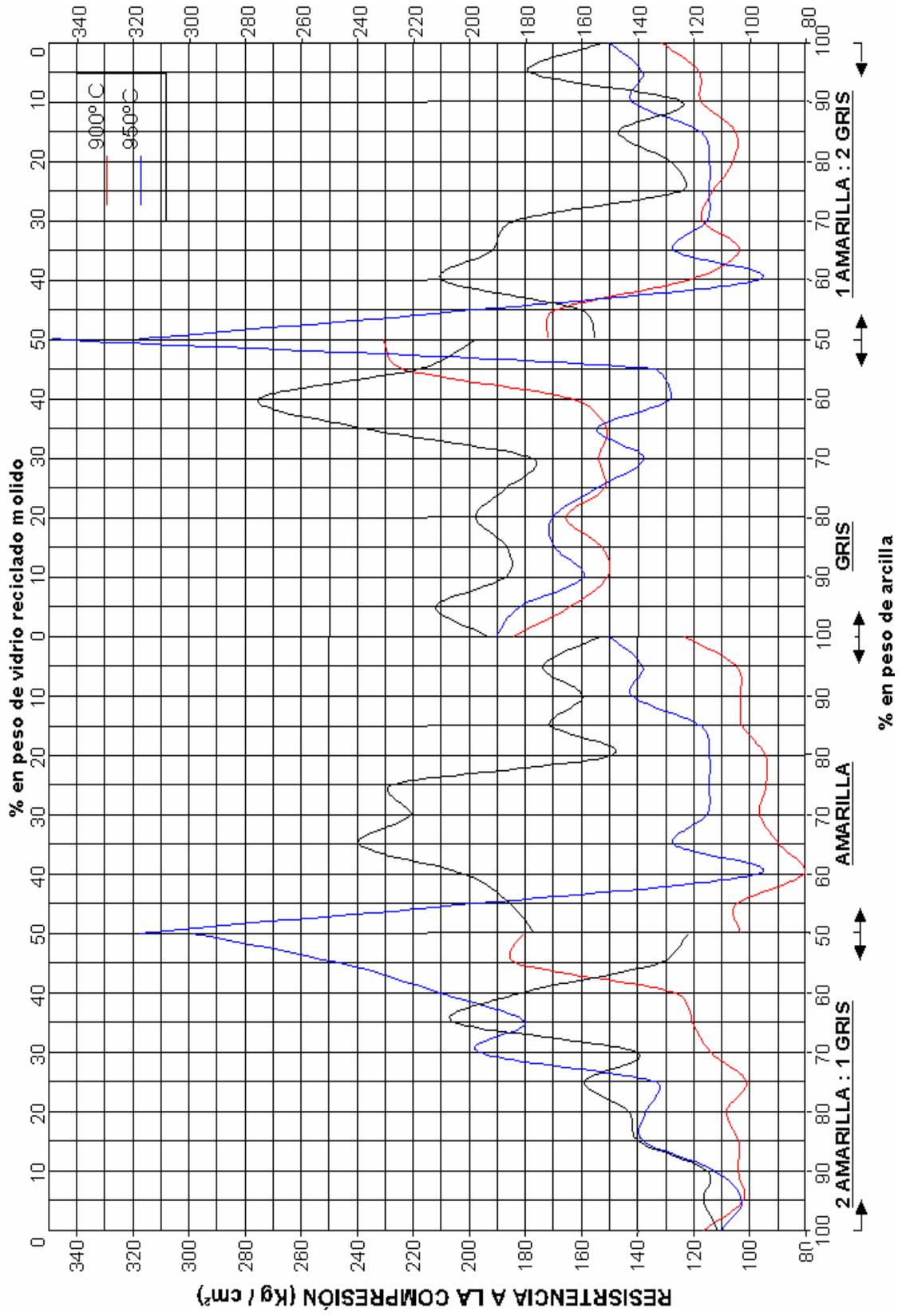


Figura 32. Ábaco general ensayo de resistencia a la compresión



5.8 DESGASTE POR ABRASION

Según lo descrito en los numerales 3.1.1 y 4.5.2 los resultados obtenidos se presentan en las Tablas 34 y 35.

Tabla 34. Estequiometría y temperatura de cocción de los ladrillos

Numero unidades	Estequiometría		Temperatura °C
	% Vidrio	% Arcilla	
1	50	50	950
2	50	50	950
3	50	50	950
4	50	50	950

Tabla 35. Ensayo de desgaste a los ladrillos

Numero unidades	Peso seco inicial calculado	Peso seco final (gr)	Peso seco corregido (gr)	Perdida de peso (%)
1	3.220,20	3.096,99	3.205,39	0,46
2	3.284,60	3.159,21	3.269,79	0,53
3	3.316,80	3.190,33	3.301,99	0,65
4	3.187,90	3.065,78	3.173,09	0,52
Promedio				0,54

6. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

Analizando las gráficas 25, 26 y 27 a una temperatura de cocción de 900°C y 950°C en un porcentaje de vidrio de 0% a 5% la resistencia a la compresión baja. Para la temperatura de 1000°C, en ese rango se presenta el caso contrario, incrementando levemente la resistencia.

Lo anterior se debe a que el vidrio no tiene punto de fusión definido, sino un intervalo de temperatura de transformación comprendido en el rango de 900°C a 950°C, que convierte al vidrio en una masa mecánicamente rígida pero frágil, provocando una disminución en la resistencia. A medida que aumenta la temperatura a 1000°C se pierde un poco la fragilidad debido a que alcanza algo de vitrificación, haciendo aumentar su resistencia, si el porcentaje de vidrio molido adicionado es bajo.

En la gráfica 26 a una temperatura de 950°C y un porcentaje de vidrio adicionado aproximadamente hasta en un 30% o 40% la resistencia a la compresión presentan un comportamiento sinusoidal; del 45% al 50% genera la mayor resistencia a la compresión así: arcilla gris 349.24 Kg/cm², mezcla 1:2 (1 de arcilla amarilla + 2 de arcilla gris) 262.86 Kg/cm², mezcla 2:1 (2 de arcilla amarilla + 1 de arcilla gris) 298.95 Kg/cm², arcilla amarilla 317.92 Kg/cm². Esto, muestra que con porcentaje de 40% a 50% de vidrio la masa mecánicamente rígida, pierde su

fragilidad y aumenta su resistencia porque el vidrio en esos porcentajes se distribuye isotrópicamente cementando al ladrillo.

Comparando las arcillas amarilla y gris, con las mezclas 1:2 y 2:1 se observa que a partir del 40% de vidrio adicionado en peso, las arcillas puras presentan una mayor resistencia a la compresión que las mezclas.

En los diferentes materiales para un porcentaje de vidrio adicionado entre un 35% y 45% con temperatura de cocción a 1000°C, el material se vitrifica perjudicando notoriamente la resistencia; esto confirma que la temperatura óptima de trabajo, está en el intervalo de 900°C a 950°C; un aumento de este parámetro, baja su resistencia.

Para 900°C y a partir de un porcentaje de vidrio del 45%, los materiales presentan una sinterización mínima.

En general la arcilla gris alcanza una mayor resistencia que la arcilla amarilla, lo que probablemente se debe a la cantidad de sílice presente en ellas así: arcilla gris 46.81% y arcilla amarilla 41.32%.

La resistencia a la compresión esta influenciada directamente por la densidad y ésta, probablemente, por la no homogeneidad de los materiales.

De acuerdo a la norma NTC 4205 el valor mínimo requerido de resistencia a la compresión para los ladrillos cerámicos estructurales es de 200 Kg/cm² en promedio de 5 unidades y 150 Kg/cm²; comparando estos valores con los obtenidos en la investigación, se determina que todos los materiales a una temperatura de cocción de 950°C superan la resistencia mínima requerida.

Finalmente podemos decir que los factores que determinan la resistencia a la compresión son: tipo de material, temperatura de cocción, porcentaje de sílice y densidad.

Para una mejor interpretación de los ábacos se presentan las Tablas 36, 37 y 38, donde se analiza cada 5% de cambio de material las variaciones de resistencia.

Tabla 36. Variación de resistencia a compresión de las diferentes arcillas temperatura de cocción 900 °C

Material	0%		5%		10%		15%		20%		25%		30%		35%		40%		45%		50%		
	Kg/cm ²	%	Kg/cm ²	%																			
Arcilla gris	184,18	-19,90	-10,80	-33,48	-18,18	-17,09	-18,58	-10,09	-32,45	-17,62	-30,23	-16,41	-33,22	-18,04	-20,97	-11,39	39,77	21,59	46,48	25,24			
Mescb. 12	13,153	-13,37	-10,16	-14,36	-10,92	-26,48	-20,13	-25,67	-19,51	-8,38	-13,97	-14,85	-11,29	-27,88	-2,120	-9,38	-7,13	37,88	28,80	40,53	30,82		
Ar. clla amarilla	123,60	-18,90	-5,29	-20,54	-16,62	-20,91	-16,92	-29,13	-23,57	-29,41	-23,79	-27,19	-22,00	-34,26	-27,72	-42,69	-34,54	-19,01	-15,38	-20,29	-16,41		
Mescb. 2:1	116,24	-13,75	-11,83	-12,17	-10,47	-12,20	-10,50	-7,91	-6,81	-5,07	-12,97	-2,29	-19,7	4,10	3,52	10,44	8,98	67,59	58,16	84,74	55,89		

Tabla 37. Variación de resistencia a compresión de las diferentes arcillas temperatura de cocción 950 °C

Material	0%		5%		10%		15%		20%		25%		30%		35%		40%		45%		50%		
	Kg/cm ²	%	Kg/cm ²	%																			
Ar. clla gris	180,48	-8,51	-4,47	-31,07	-16,31	-2,101	-11,03	-20,00	-10,50	-35,78	-18,79	-52,45	-27,53	-36,16	-18,99	-62,18	-32,64	-55,47	-29,12	58,76	83,35		
Mescb. 12	16,090	-12,24	-7,61	-26,54	-16,49	-26,60	-16,47	-32,95	-20,48	-34,43	-2,140	-15,84	-9,84	3,76	2,34	-17,5	-1,09	7,10	4,41	10,196	63,37		
Ar. clla amarilla	150,30	-12,05	-8,02	-8,42	-5,60	-32,44	-21,58	-35,83	-23,84	-35,80	-23,82	-35,12	-23,37	-23,37	-23,25	-15,47	-52,91	-35,21	47,70	31,74	111,52		
Mescb. 2:1	110,28	-7,45	-6,75	2,30	2,08	27,60	25,02	26,75	24,26	23,67	21,46	86,38	78,33	70,05	63,52	100,40	91,05	136,23	123,53	188,68	171,10		

Tabla 38. Variación de resistencia a compresión de las diferentes arcillas temperatura de cocción 1000 °C

Material	0%		5%		10%		15%		20%		25%		30%		35%		40%		45%		50%		
	Kg/cm ²	%	Kg/cm ²	%	Kg/cm ²	%	Kg/cm ²	%	Kg/cm ²	%	Kg/cm ²	%	Kg/cm ²	%	Kg/cm ²	%	Kg/cm ²	%	Kg/cm ²	%	Kg/cm ²	%	
Ar. clla gris	183,48	18,41	9,52	-6,38	-3,30	-6,90	-3,57	4,43	2,29	6,27	3,24	-15,76	-8,15	44,48	22,99	817,0	42,23	24,56	12,70	3,79	196		
Mescb. 12	152,50	25,82	16,93	-28,19	-18,49	-5,53	-3,63	-24,21	-5,87	-27,81	-18,24	3147	20,64	39,32	25,78	57,10	37,45	7,82	5,13	2,62	172		
Ar. clla amarilla	152,98	20,80	13,59	6,49	4,24	18,24	11,92	-3,67	-2,40	74,90	48,96	67,85	44,35	86,35	56,45	48,93	31,98	32,54	21,27	23,71	15,50		
Mescb. 2:1	111,09	5,29	4,76	4,17	3,75	28,43	25,59	32,29	29,06	47,83	43,05	29,66	26,70	94,45	85,02	70,43	63,40	20,93	18,84	10,83	9,75		

A partir del análisis de los ábacos de resistencia a la compresión, el material óptimo para realizar bs ensayos de densidad, absorción de agua y desgaste por abrasión es la muestra de arcilla gris a una temperatura de cocción de 950°C.

Dependiendo de la cantidad de masa por unidad de volumen se obtuvo un valor mínimo de densidad de 1.460gr/cm³ para la muestra 1(100% arcilla) y un máximo de 1.789 gr/cm³ para la muestra 11(50% de arcilla y 50% vidrio), de acuerdo a la gráfica 1 se puede deducir que a medida que se incrementa la cantidad de vidrio reciclado molido, el grado de densidad de las probetas se aumenta.

El comportamiento observado en la gráfica 2 de absorción de agua indica que para cada incremento de vidrio reciclado molido en porcentaje de peso se disminuye la absorción, la porosidad y la permeabilidad esto probablemente debido al contenido de sílice presente en el vidrio.

Según el procedimiento descrito en la norma NTC 4017 (ASTM C67) sobre absorción de agua en 24H de inmersión (promedio y máximo individual), se tomó como unidad de mampostería un tipo de material M (unidad de mampostería maciza – ladrillo) para exteriores, donde se establece una absorción de agua máxima en porcentaje de 7 a 13.5% promedio de 5 unidades y un 14% de absorción por unidad, haciendo una comparación con los datos obtenidos en el ensayo de absorción se tiene para la arcilla gris con temperatura de cocción

950°C, superan los valores mínimos de absorción de agua establecidos en dicha norma.

Las piezas prismáticas cerámicas elaboradas con arcilla gris y un porcentaje del 50% de vidrio reciclado molido, cocidos a 950°C fueron sometidas a la prueba de desgaste por abrasión siguiendo los parámetros establecidos en el trabajo de grado denominado Estudio de Unidades de Mampostería Prismática Fase II. Comparando los datos de pérdida de peso obtenidos con los reportados por los autores BELTRAN y CAICEDO de 3.98% para ladrillos cerámicos convencionales y 0.21% para ladrillos cerámicos vidriados por CORAL ASAIN. Esta pérdida se debe a dos razones fundamentales:

1. Pérdida de material en el proceso de colocación de la pieza prismática en la máquina de abrasión.
2. Pérdida en peso en el proceso de rayado con el cepillo de alambre.

La pérdida en peso del 0.54% obtenida en esta investigación es baja comparada con los ladrillos convencionales, por tal razón se puede afirmar que los ladrillos cerámicos con el 50% de arcilla y 50% de vidrio reciclado molido, resisten la abrasión ocasionada por raspadura, contacto u otra circunstancia que represente la fricción de éste.

7. CONCLUSIONES

Las herramientas y los métodos utilizados para la elaboración de las piezas prismáticas cerámicas dieron muy buenos resultados en cuanto a la forma, tamaño, consistencia y textura, contribuyendo así en el alcance de los objetivos propuestos.

El comportamiento de la resistencia a la compresión en piezas prismáticas cerámicas depende del tipo de arcilla, vidrio reciclado molido, temperatura de cocción y densidad. La mejor arcilla a utilizar para alcanzar una mayor resistencia a la compresión, debe ser de baja plasticidad y con un contenido de sílice del orden de 46.81% y de hierro del 4.66%, y que a la vez mezclada con vidrio reciclado molido en un orden del 50% da como resultado la mejor mezcla.

La temperatura óptima de cocción para las piezas prismáticas cerámicas es de 950°C sin importar el tipo de arcilla y el contenido de vidrio.

Al aumentar la cantidad de vidrio reciclado molido a la pasta de fabricación de piezas prismáticas cerámicas, la densidad de estas aumenta y su permeabilidad disminuye.

Los valores obtenidos de absorción de agua y resistencia a la compresión en las piezas prismáticas cerámicas elaboradas con una dosificación a partir del 45% al 50% de arcilla más vidrio reciclado molido y a una temperatura de cocción de 950°C, están dentro de lo especificado según la Norma Técnica Colombiana (NTC 4205).

El color de las piezas prismáticas cerámicas varía dependiendo de la temperatura de cocción y del material de fabricación, el cual esta dentro de una gama de anaranjado claro a un anaranjado claro intenso.

Las piezas prismáticas cerámicas elaboradas con arcilla de baja plasticidad (gris para este caso) y sometidas a una temperatura de cocción de 950°C, son piezas que soportan considerablemente el efecto de la abrasión causado por cualquier contacto externo (0.54%).

RECOMENDACIONES

El mecanismo utilizado para la elaboración y extracción de las piezas prismáticas cerámicas mejora sustancialmente otras propuestas y por lo tanto se sugiere que puede ser empleado para otras investigaciones similares.

Para mejorar las propiedades físico - mecánicas de los ladrillos cerámicos fabricados artesanalmente en la ciudad de Pasto se sugiere trabajar una arcilla de color gris de baja plasticidad y contenido de sílice del orden del 46.81%, con una dosificación en peso de los materiales de 50% arcilla y 50% vidrio reciclado molido y a una temperatura de cocción de 950°C.

Los materiales limo arenosos de baja compresibilidad y con un color amarillo existentes en la región pueden ser utilizados en la elaboración de ladrillos para mampostería no estructural, debido a que su resistencia alcanza los valores mínimos establecidos por la norma NTC 4205.

En el proceso de cocción de las piezas prismáticas cerámicas no se deben utilizar temperaturas que superen los 950°C, ya que se produce un efecto de vitrificación de las probetas y una disminución de su permeabilidad.

Hacer un análisis más detallado del comportamiento de la sílice en la curva de mayor resistividad.

Para ampliar el estudio se puede trabajar sobre un control de la densidad y profundizar sobre la incidencia de ésta respecto a la resistencia.

Se sugiere realizar una regresión no lineal que arroje buenos ajustes para la gráfica de densidad, indicando de manera precisa la relación entre las variables consideradas.

BIBLIOGRAFIA

BELTRAN, Mario Fernando y CAICEDO, Diego. Estudio de Unidades de Mampostería Prismática. Fase II. San Juan de Pasto : 1997. p. 62 - 64. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad de Nariño. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil.

BOWLES, Joseph E. Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil. Bogotá, Colombia : McGraw - Hill. 1981. 212 p.

CORAL ASAIN, Francisco Javier. Vidriado de ladrillos cerámicos utilizando vidrio reciclado. San Juan de Pasto : 1998. 68 p. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad de Nariño. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil.

CORAL, Hugo. Geotecnia I. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto : 1999. p. 75 - 108.

CORDOBA BARAHONA, Carlos y RODRIGUEZ BURGOS, Jesús. Fundamentos de cerámica tradicional. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto : 1996. 97 p. ISBN 958 - 96034 - 0 – 8.

Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2002. © 1993-2001 Microsoft Corporation.

Reservados todos los derechos.

INNOVAR E. A. T. Diagnostico realizado a los ladrillos cerámicos fabricados en Pasto, Ipiales, La Unión, San Pedro de Cartago y Mercaderes (Cauca). 2002.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NOMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Normas Colombianas para la elaboración y presentación de trabajos y tesis de grado. Quinta actualización. Santafé de Bogotá : ICONTEC, 2003. 99 p. NTC 1486.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION. Norma Técnica Colombiana. Ingeniería Civil y Arquitectura. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. Santafé de Bogotá : ICONTEC, 1997. NTC 4205.

----- Ingeniería y Arquitectura. Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería de arcilla. Santafé de Bogotá : ICONTEC, 1997. NTC 4017.

JURADO DORADO, Andrés y VITERI GUERRERO, José Ignacio. Estudio de las propiedades de absorción y resistencia a la compresión en la arcilla empleada para ladrillos de construcción adicionando vidrio reciclado molido. San Juan de Pasto : 2000. 48 p. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad de Nariño. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil.

MARTÍNEZ BECARDINO, Ciro. Apuntes y 600 problemas resueltos. 3ª. Ed.
Bogotá : ECOE, 1978. 385 p.

OJEDA, Janeth y TORRES CORREDOR, Eduardo. Cuantificación de las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos cerámicos producidos en Pasto. San Juan de Pasto : 1989. 583 p. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad de Nariño, Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería.

PEÑA CASTRO, María Pilar. Físicoquímica de los materiales refractarios. C.S.I.C. 1996. p. 62

SINGER, Félix y SINGER, Sonja. Cerámica industrial. Bilbao : 1979. v 3, 225 p.

SPIGEL, Murray R. Teoría y problemas de probabilidad y estadística. México : McGraw - Hill, 1976. 345 p. (Serie de Compendios SCHUAM). ISBN 968-451-102-7.

ANEXOS