

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA  
ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**



**“MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN A BASE DE LODOS  
RESIDUALES PROVENIENTES DEL PROCESO DE FILTRACIÓN  
EN INDUSTRIAS CERVECERAS”**

**Presentada por:  
LUISA CAROL SANTOS PARRA**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAGISTER SCIENTIAE EN  
CIENCIAS AMBIENTALES**

**Lima-Perú**

**2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**“MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN A BASE DE LODOS  
RESIDUALES PROVENIENTES DEL PROCESO DE FILTRACIÓN  
EN INDUSTRIAS CERVECERAS”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAGISTER SCIENTIAE EN  
CIENCIAS AMBIENTALES**

**Presentada por:**

**LUISA CAROL SANTOS PARRA**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

.....  
Ph.D. José Calle Maraví  
**PRESIDENTE**

.....  
Mg. Sc. Rosa Miglio Toledo  
**ASESORA**

.....  
Lic. Rer. Reg. Víctor Aguilar Vidangos  
**MIEMBRO**

.....  
Mg. Sc. Víctor Miyashiro Kiyán  
**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

A mis hijos por ser el motor e inspiración en mi vida.

A la memoria de Alejandro que me animó a continuar  
con mis objetivos planteados.

A mis padres por su apoyo y amor incondicional.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por haberme dado la vida y por acompañarme en cada paso que doy.

# ÍNDICE GENERAL

<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b>	<b>4</b>
2.1. MARCO NORMATIVO PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	4
2.1.1 Exigencias Ambientales que Deben Cumplir las Industrias Cerveceras	4
2.1.2 Disposición de Residuos Sólidos	5
2.1.3 Unidades de Albañilería	9
2.2. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CERVEZA	12
2.2.1. Descripción del Proceso de Producción de la Cerveza	12
2.2.2. Diagrama de Flujos del Proceso de Producción de Cerveza	14
2.2.3. Clarificación	14
2.3. GENERACIÓN DE RESIDUOS EN LA PRODUCCIÓN DE CERVEZA	18
2.3.1. Generación de Residuos en la Producción de Cerveza	18
2.3.2. Tierras Filtrantes Agotadas	20
2.3.3 Situación Actual de la Generación de Residuos en la Industria Cervecera	22
2.4.1. Tierras Diatomeas	24
2.4.2. Arcilla	27
2.4.3. Bentonita	32
2.4.4. Cal	34
2.4.5. Cemento	35
2.4.6. Ceniza Volcánica	36
2.4.7. Tiza	38
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>40</b>
3.1. GENERALIDADES	40
3.1.1. Problema de Investigación	40
3.1.2. Hipótesis	41
3.2. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN	41
3.2.1. Etapa Preliminar	41
3.2.2. Etapa Definitiva	43
3.2.3. Evaluación de la Mezcla Óptima	43
3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL	44

3.3.1. Algoritmos de la Experimentación	44
3.4. MATERIALES	48
3.4.1. Materiales para la Conformación de la Unidad de Albañilería	48
3.5 MÉTODOS	50
3.5.1 Método de elaboración de ladrillos	50
3.5.2 Procedimiento en las Etapas Preliminares	53
3.5.3 Procedimiento en la Etapa Definitiva	53
3.5.4 Evaluación de la Mezcla Óptima	54
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>55</b>
4.1 ETAPA PRELIMINAR I	55
4.2 ETAPA PRELIMINAR II	62
4.3 ETAPA DEFINITIVA	66
4.4 EVALUACIÓN DE LA MEZCLA ÓPTIMA	68
4.4.1 Variación de Dimensiones y Alabeo	68
4.4.2 Resistencia a la Compresión	70
4.4.3 Densidad	71
4.4.4 Módulo de Ruptura	71
4.4.5 Absorción	72
4.4.6 Absorción Máxima	73
4.4.7 Coeficiente de Saturación	74
4.5 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN FRENTE A LA NORMA E 0.70	74
<b>V. CONCLUSIONES</b>	<b>76</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES</b>	<b>77</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>	<b>78</b>
<b>VIII. ANEXOS</b>	<b>81</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Clase de unidad de albañilería para fines estructurales	9
Cuadro 2: Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales	10
Cuadro 3: Requisitos de resistencia	11
Cuadro 4: Requisitos complementarios	11
Cuadro 5: Generación de residuos en la producción de la cerveza	19
Cuadro 6: Generación total en el 2007 de Residuos No Municipales	23
Cuadro 7: Generación Residuos No Peligrosos del Sub Sector Industria -2007	23
Cuadro 8: Generación Residuos y su Reciclaje de una Empresa Cervecera Peruana	24
Cuadro 9: Formulación de las mezclas- Etapa Preliminar I	42
Cuadro 10: Formulación de las mezclas - Etapa preliminar II	42
Cuadro 11: Composición de las tierras diatomeas agotadas utilizadas en la presente investigación	49
Cuadro 12: Composición de la Ceniza utilizada en la presente investigación	50
Cuadro 13: Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión - Etapa Preliminar I	55
Cuadro 14: Cuadro Comparativo de Resistencias Promedio a la Compresión Simple-Etapa Preliminar I	56
Cuadro 15: Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión - Etapa Preliminar II	62
Cuadro 16: Tabla ANOVA	65
Cuadro 17: Resistencia a la compresión Etapa Definitiva	66
Cuadro 18: Resultados de resistencia a la compresión para cada tratamiento	67
Cuadro 19: Dimensiones de las muestras de la mezcla óptima en cm	69
Cuadro 20: Resultados de alabeo de las muestras de la mezcla óptima	69
Cuadro 21: Resultados de resistencia a la compresión de la muestra óptima	70
Cuadro 22: Resultados de densidad de las muestras de la mezcla óptima	71
Cuadro 23: Resultados de módulo de rotura de las muestras de la mezcla óptima	72
Cuadro 24: Resultados de absorción de las muestras de la mezcla óptima	72
Cuadro 25: Resultados de absorción máxima de las muestras de la mezcla óptima	73
Cuadro 26: Clase de unidad de albañilería para fines estructurales	74
Cuadro 27: Requisitos Complementarios NTP 399.613	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Proceso productivo de la cerveza_____	15
Figura 2: Balance general para la fabricación de 1 Hl de cerveza_____	20
Figura 3: Algoritmo del experimento - Etapa Preliminar I_____	45
Figura 4: Algoritmo del experimento - Etapa Preliminar II_____	46
Figura 5. Algoritmo del experimento - Etapa Definitiva_____	47
Figura 6: Algoritmo de la investigación_____	47
Figura 7: Diagrama de Bloques del Proceso en las pruebas preliminares_____	50
Figura 8: Grafico de resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de la Etapa Preliminar I____	59
Figura 9: Resultados de Resistencia a la compresión de la Etapa Preliminar I_____	61
Figura 10: Gráfico de resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de la Etapa Preliminar I____	63
Figura 11: Resultados de Resistencia a la compresión de la Etapa Preliminar II_____	64
Figura 12: Algoritmo del experimento – Etapa Definitiva _____	67
Figura 13: Ubicación de $t_c$ en modelo de distribución t-student _____	68

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1:	PROCEDIMIENTO PARA LAS PRUEBAS DE ENSAYO.....	81
.ANEXO 2:	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	87
ANEXO 3:	ARCHIVO FOTOGRÁFICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	98
ANEXO 4:	HOJAS TECNICAS DE LOS MATERIALES USADOS PARA LA ELABORACION DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERIA...	99

## RESUMEN

La presente investigación se basó en el desarrollo de una metodología para la fabricación de materiales de construcción mediante la reutilización de tierras diatomeas agotadas provenientes del proceso de filtración de la industria cervecera en el Perú. La generación de residuos sólidos del proceso de filtración es uno de los más grandes problemas de la industria cervecera debido a la cantidad de residuos que se producen y a los costos que implica su disposición final. Por ello, se propuso la alternativa de la producción de ladrillos ecológicos que ofrezcan calidad y seguridad, mediante la aplicación de una tecnología limpia y apropiada, aprovechando sus propiedades para la construcción de viviendas económicas. El método de elaboración de materiales de construcción consta de cinco procesos: tratamiento de diatomeas agotadas, dosificación y pesado, mezclado y amasado, moldeado y secado. El presente estudio se llevó a cabo en tres etapas: preliminar I, preliminar II y definitiva; las etapas preliminares I y II se realizaron en el proceso de dosificación y pesado, mientras que la etapa definitiva en el proceso de tratamiento de diatomeas agotadas, luego se efectuó una evaluación de la mezcla óptima para determinar su clasificación de acuerdo con la tabla de requisitos para el ladrillo descritos en la NORMA TÉCNICA E.070 ALBAÑILERÍA. Se concluyó, a) que la mezcla óptima para el ladrillo ecológico está compuesta por un 15 por ciento de tierra diatomea agotada, 30 por ciento de bentonita, 19 por ciento de cal, 24 por ciento agua y 12 por ciento de ceniza volcánica; b) que las tierras diatomeas tratadas inicialmente con ácido clorhídrico presentaron mejores resultados de resistencia a la compresión, con un valor promedio de 23,3 Kg/cm<sup>2</sup>; y c) que el ladrillo ecológico obtenido se encuentra clasificado dentro del Tipo I “Resistencia y durabilidad muy bajas” y apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio de exigencias mínimas.

**Palabras claves:** Tierra diatomea, filtración de cerveza, material de construcción, ladrillo ecológico, reutilización

## ABSTRACT

The present research was based on the development of a methodology for the manufacture of building materials through the reuse of depleted diatomaceous earths from the filtration process of brewing industry in Peru. The generation of solid waste from the filtration process is one of the biggest problems in the brewing industry due to the amount of waste that is produced and the costs involved to its final disposal. Therefore, it was proposed the alternative of the production of ecological bricks that offer quality and safety, through the application of a clean and appropriate technology, taking advantage of its properties for the construction of affordable housing. The method of construction materials development consists of five processes: treatment of depleted diatoms, dosing and weighing, mixing and kneading, molding and drying. The present study was carried out in three stages: preliminary I, preliminary II and final; preliminary stages I and II were carried out in the dosing and weighing process, while the final stage in the process of treatment of depleted diatoms, then an evaluation of the optimal mix was carried out to determine its classification according to the requirements table for the brick described in the TECHNICAL STANDARD E.070 MASONRY. It was concluded, a) that the optimal mixture for the ecological brick is composed of 15 percent depleted diatomaceous earth, 30 percent bentonite, 19 percent lime, 24 percent water and 12 percent volcanic ash; b) that diatomaceous earth initially treated with hydrochloric acid showed better compression resistance, with an average value of 23,3 Kg / cm<sup>2</sup>; and c) that the ecological brick obtained is classified as Type I "Very low strength and durability" and suitable for masonry constructions under minimum service conditions.

**Key Words:** Diatomaceous earth, beer filtration, building material, ecological brick, reuse.

## I. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se muestra el desarrollo de la investigación de una tecnología para la fabricación de un material cerámico, que sirva para la elaboración de ladrillos o unidades de albañilería, utilizando como materia prima principal las tierras diatomeas agotadas producto del proceso de filtración en la fabricación de cerveza. Actualmente, en el proceso de filtración en la industria cervecera se generan grandes volúmenes de tierras diatomeas agotadas, que resultan ser un problema ambiental, debido a su contenido de levaduras, proteínas y microorganismos, este lodo resultante provoca la presencia de microorganismos patógenos (virus, bacterias, hongos, protozoos y helmintos), los cuales pueden sobrevivir suficiente tiempo para desencadenar la contaminación en la cadena trófica (Bloom y Feachem, 1985), además de constituir un volumen considerable, cuya disposición genera costos adicionales, ya que actualmente son derivados a rellenos sanitarios.

La fabricación de ladrillos supone un ahorro energético al ser ladrillos sin cocción, lo que derivaría en una reducción de las emisiones de gases y la disminución del consumo de petróleo en comparación con el proceso productivo de las ladrilleras convencionales. En muchos países, en el sector de la construcción, existe una nueva tendencia de diseño de construcción con sistemas de ahorro de energía y bajas emisiones de dióxido de carbono a la atmosfera. En el sector de la construcción el uso del ladrillo (arcilla cocida) constituye el 51,7 por ciento del total de materiales utilizados, en su mayoría en zonas urbanas (INEI, 2001-2016); sin embargo, su producción genera un gran impacto medio ambiental, ya que implica el uso de altos niveles de energía y una gran dependencia del petróleo. En el Perú, la fabricación de ladrillos se realiza en todas las regiones con una producción de 298 895 miles de unidades para el 2012 (INEI); por lo general, las empresas grandes son las que están adecuadamente formalizadas ante los gobiernos locales y ante la autoridad sectorial (Ministerio de la Producción). Estas empresas, en su mayoría, poseen tecnologías desarrolladas en cuanto a tipos de horno y combustibles, lo cual les permite obtener productos de mejor calidad y con mejores posibilidades de controlar o prevenir los

impactos ambientales de su actividad industrial. Por el contrario, la gran mayoría de empresas ladrilleras de micro y pequeño tamaño, distribuidas a nivel nacional, presentan un alto grado de informalidad y utilizan técnicas artesanales para la fabricación de sus productos. Las ladrilleras artesanales emplean hornos fijos de fuego directo, techo abierto y tiro ascendente para la cocción, también denominada quemado o simplemente quema de ladrillos. Las paredes de estos hornos no proveen un buen aislamiento porque son delgadas, y en su geometría tienden a tener una gran área horizontal de cocción, características que restan eficiencia tanto en velocidad de cocción como en calidad de producto, sobre todo cuando se usan combustibles sólidos como el carbón; lo que compensan los artesanos con el uso de combustibles altamente contaminantes, pero de bajo precio y alto poder calorífico como llantas usadas, plásticos y aceite quemado de vehículos que generan emisiones de gases altamente tóxicos y cancerígenos como óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), compuestos orgánicos volátiles (COV), hidrocarburos aromáticos poli nucleares, dioxinas, furanos, benceno, bifenilos poli clorados y metales pesados como As, Cd, Ni, Zn, Hg, Cr, V, etc. Estos elementos y compuestos provocan irritación a la piel, ojos y membranas mucosas, trastornos en las vías respiratorias, en el sistema nervioso central, depresión y eventualmente cáncer; características que los hacen inaceptables para ser utilizados con este fin (PRAL y COSUDE, 2010).

Actualmente, el principal problema del manejo de residuos sólidos en el Perú es la escasez de lugares adecuados destinados a su disposición final, se estima que el país requiere de 190 infraestructuras para la disposición final de residuos sólidos; sin embargo, en el año 2014 existían solo 11 rellenos sanitarios con todos los permisos y autorizaciones correspondientes, y 10 instalaciones para la disposición de residuos del ámbito no municipal a nivel nacional (PLANRES, 2016-2014). Para el 2015, la industria cervecera tuvo una producción anual de 1 356 011 336 litros (PRODUCE, 2015) lo que equivale aproximadamente a 6102 toneladas por año de tierras diatomeas agotadas generadas. Se espera que esta investigación contribuya al desarrollo de una metodología para la reutilización de un producto de desecho de la industria cervecera y a mitigar problemas de disposición y manejo de este tipo de residuo industrial.

## **ANTECEDENTES**

En los últimos años a nivel internacional en países como Brasil, Argentina y República Dominicana se vienen construyendo un sin número de casas con ladrillos ecológicos prensados por ser una fabricación en frío sin cocción, económica y limpia sin ningún desecho ni residuo, siendo una alternativa tecnológicamente viable ([www.hyperbrick.com](http://www.hyperbrick.com)). En Nicaragua se viene construyendo casas económicas a partir de materiales compactados hechos de tierras diatomeas (Aguilar Morán H., 1980 y Quiñónez de la Cruz F., 2001) y geólogos argentinos y españoles (convenio firmado entre el Ente para el Desarrollo de la Región Sur de Río Negro y el Instituto para los Materiales de la Construcción de Madrid) planean aprovechar los importantes yacimientos de diatomeas que se encuentran en la localidad de Ingeniero Jacobacci en Argentina para la construcción de ladrillos. Estas investigaciones demostraron que además de ser livianos, poseen propiedades técnicas como: elevada resistencia, buen aislante térmico y acústico y representan una gran alternativa para la construcción de viviendas económicas de interés social.

## **OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar la potencialidad de reuso de las tierras diatomeas agotadas resultantes del proceso de filtración de la cerveza, como materia prima para la fabricación de ladrillos.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Desarrollar un método para la fabricación de los ladrillos en base a las tierras diatomeas agotadas con bajo consumo energético.
- Determinar la composición óptima de materiales para la conformación de ladrillo a base de las tierras diatomeas agotadas que garantice la mayor resistencia a la compresión.
- Determinar el método de tratamiento de la mezcla (tratamiento térmico o tratamiento con ácido clorhídrico) que produzca una mayor resistencia a la compresión en el ladrillo.
- Realizar los ensayos exigidos en la NORMA TÉCNICA E.070 ALBAÑILERÍA y en la NTP 331.017-2003 para determinar la clasificación del ladrillo obtenido.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. MARCO NORMATIVO PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

El desarrollo de la investigación se realiza dentro de un amplio marco normativo peruano, que de manera puntual se puede clasificar, para fines de esta investigación, en tres agrupaciones:

2.1.1 Exigencias que deben cumplir las industrias cerveceras

2.1.2 Disposición de residuos sólidos

2.1.3 Unidades de albañilería

#### **2.1.1 Exigencias Ambientales que Deben Cumplir las Industrias Cerveceras**

##### **a) DECRETO SUPREMO N° 017-2015-PRODUCE “Reglamento de gestión ambiental para la industria manufacturera y comercio interno”**

Según esta norma los titulares de actividades manufactureras deben:

- Incorporar medidas de prevención y mejora continua en la gestión ambiental, promoviendo la aplicación de buenas prácticas ambientales.
- Promover la adopción de procesos productivos y de actividades que utilicen tecnologías e insumos limpios, incorporando el reaprovechamiento de residuos y/o el desarrollo de procesos de reconversión de las industrias contaminantes, entre otras prácticas necesarias para lograr una producción limpia.
- Poner en marcha y mantener programas de prevención de la contaminación, de reaprovechamiento de residuos, cumplir con los límites máximos permisibles y, otros contemplados en el instrumento de gestión ambiental aprobado.

- El titular es responsable por el adecuado manejo ambiental de las emisiones, efluentes, ruidos, vibraciones y residuos sólidos que se generen como resultado de los procesos y operaciones en sus instalaciones; así como, por cualquier daño al ambiente que sea causado como consecuencia del desarrollo de sus actividades.

**b) Otras leyes aplicables:**

- **LEY-28245-CONGRESO**

Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.

- **DS-008-2005-PCM**

Aprueban el Reglamento de la Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.

- **LEY-27446-CONGRESO**

Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental.

Y SU MODIFICATORIA MEDIANTE DECRETO LEGISLATIVO N° 1078.

- **LEY-28611-CONGRESO**

Ley general del Ambiente. NOTA: Sustituye al Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales aprobado por Decreto Legislativo No 613.

**2.1.2 Disposición de Residuos Sólidos**

**a. Ordenanza N° 1778 Gestión metropolitana de residuos sólidos municipales y su modificatoria Ordenanza N°1915**

Establece los procedimientos técnicos y administrativos que aseguren una gestión y manejo adecuado de los residuos sólidos en la provincia de Lima por parte de las personas naturales y jurídicas, de derecho público o privado, que generen residuos sólidos y de aquellos que desarrollen servicios y/o actividades vinculadas a la gestión de los residuos sólidos, determinando sus responsabilidades.

## **b. D.L. 1278 Decreto legislativo que aprueba la ley de gestión integral de residuos sólidos**

Dispone los lineamientos para el manejo de Residuos Sólidos. Estableciendo derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades de la sociedad en su conjunto, para asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos, sanitaria y ambientalmente adecuada, para la prevención de riesgos ambientales y protección de la salud.

### **Artículo 2.- Finalidad de la gestión integral de los residuos sólidos**

La gestión integral de los residuos sólidos en el país tiene como primera finalidad la prevención o minimización de la generación de residuos sólidos en origen, frente a cualquier otra alternativa. En segundo lugar, respecto de los residuos generados, se prefiere la recuperación y la valorización material y energética de los residuos, entre las cuales se cuenta la reutilización, reciclaje, compostaje, coprocesamiento, entre otras alternativas siempre que se garantice la protección de la salud y del medio ambiente.

La disposición final de los residuos sólidos en la infraestructura respectiva constituye la última alternativa de manejo y deberá realizarse en condiciones ambientalmente adecuadas, las cuales se definirán en el reglamento del presente Decreto Legislativo emitido por el Ministerio del Ambiente.

### **Artículo 6.- Lineamientos de la Gestión Integral de Residuos Sólidos**

La gestión integral de los residuos sólidos deberá estar orientada a:

- ... c) Promover la investigación e innovación tecnológica puesta al servicio de una producción cada vez más ecoeficiente, la minimización en la producción de residuos y la valorización de los mismos.
- .. e) Fomentar la valorización de los residuos sólidos y la adopción complementaria de prácticas de tratamiento y adecuada disposición final.
- .. g) Desarrollar y usar tecnologías, métodos, prácticas y procesos de producción y comercialización que favorezcan la minimización o valorización de los residuos sólidos y su manejo adecuado.

### **Artículo 29.- Gestión de residuos no municipales**

Las autoridades con competencia sobre las actividades en cuyo desarrollo se genera los residuos materia de este Decreto Legislativo, deben exigir todas las medidas que resulten necesarias para asegurar el manejo selectivo, la prevención de impactos y riesgos ambientales, así como el uso de equipos, instalaciones e infraestructuras adecuadas para su manejo ambiental y sanitariamente adecuado, de acuerdo a los mandatos y criterios del presente Decreto Legislativo.

### **Artículo 55.- Manejo integral de los residuos sólidos no municipales**

El generador, operador y cualquier persona que intervenga en el manejo de residuos no comprendidos en el ámbito de la gestión municipal, es responsable por su manejo seguro, sanitario y ambientalmente adecuado, así como por las áreas degradadas por residuos, de acuerdo a lo establecido en el presente Decreto Legislativo, su Reglamento, normas complementarias y las normas técnicas correspondientes.

De conformidad con la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, el generador, empresa prestadora de servicios, operador y cualquier persona que intervenga en el manejo de residuos que genere daño al ambiente está obligado a adoptar inexcusablemente las medidas para su restauración, rehabilitación o reparación según corresponda o cuando lo anterior no fuera posible, a compensar en términos ambientales los daños generados, sin perjuicio de otras responsabilidades administrativas, civiles o penales.

Los generadores de residuos del ámbito no municipal se encuentran obligados a:

- ... c) Establecer e implementar las estrategias y acciones conducentes a la valorización de los residuos como primera opción de gestión.
- d) Asegurar el tratamiento y la adecuada disposición final de los residuos que generen.
- e) Conducir un registro interno sobre la generación y manejo de los residuos en las instalaciones bajo su responsabilidad a efectos de cumplir con la Declaración Anual de Manejo de Residuos.
- f) Reportar a través del SIGERSOL, la Declaración Anual de Manejo de Residuos Sólidos.

### **Artículo 58.- Responsabilidad por daños en la gestión y manejo de residuos**

Los generadores, operadores de residuos, municipalidades y quienes intervengan en el manejo de estos, son responsables administrativa, civil y penalmente, según corresponda, por los daños derivados del inadecuado manejo de los residuos sólidos. La contratación de terceros para el manejo de los residuos no exime a su generador o poseedor de la responsabilidad de verificar la vigencia y alcance de la autorización otorgada a la empresa contratada.

El generador o poseedor de los residuos es considerado responsable cuando por negligencia o dolo contribuyó a la generación del daño. Esta responsabilidad se extiende durante todos los procesos o las actividades para el manejo de los residuos, hasta por un plazo de veinte (20) años contados a partir de la disposición final.

#### **c. Resolución Ministerial N° 174-2017-MINAM “Disponen la prepublicación del proyecto de decreto supremo que aprueba el reglamento de la ley de gestión integral de residuos sólidos, aprobada mediante D. Leg. N° 1278, en el portal del ministerio”**

El proyecto de Reglamento se desarrolló teniendo en cuenta las tendencias modernas y actuales políticas sobre manejo de residuos sólidos, priorizando en primer lugar la prevención o minimización de generación de residuos sólidos en el origen; y, en segundo lugar, la valorización de los residuos sólidos a través del impulso de una nueva industria del reciclaje. De esta manera, se garantizará un manejo adecuado, gradual y sostenido de los residuos, según la cantidad y peligrosidad, para su disposición final, la cual debe realizarse en los rellenos sanitarios.

#### **d. Otras leyes aplicables:**

- **LEY-28256-CONGRESO**

Ley que regula el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos

### 2.1.3 Unidades de Albañilería

#### a. Resolución ministerial N° 011-2006-vivienda “Norma técnica E.070 albañilería”

Esta Norma establece los requisitos y las exigencias mínimas para el análisis, el diseño, los materiales, la construcción, el control de calidad y la inspección de las edificaciones de albañilería estructuradas principalmente por muros confinados y por muros armados.

#### Art 5.2 Clasificación para fines estructurales.

Para efectos del diseño estructural, las unidades de albañilería tendrán las características indicadas en el Cuadro 1.

**Cuadro 1: Clase de unidad de albañilería para fines estructurales**

CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSION (máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN $f_b$ mínimo en MPa (kg/cm <sup>2</sup> ) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4,9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6,9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9,3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12,7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17,6 (180)
Bloque P <sup>(1)</sup>	± 4	± 3	± 2	4	4,9 (50)
Bloque NP <sup>(2)</sup>	± 7	± 6	± 4	8	2,0 (20)

(1) Bloque usado en la construcción de muros portantes  
(2) Bloque usado en la construcción de muros no portantes

FUENTE: Norma técnica E.070 albañilería

#### Art 5.3 Limitaciones en su aplicación

El uso o aplicación de las unidades de albañilería estará condicionado a lo indicado en el Cuadro 2. Las zonas sísmicas son las indicadas en la NTE E.030 Diseño Sismo resistente.

## Cuadro 2: Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales

<b>TABLA 2 LIMITACIONES EN EL USO DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA PARA FINES ESTRUCTURALES</b>			
TIPO	ZONA SÍSMICA 2 Y 3		ZONA SÍSMICA 1
	Muro portante en edificios de 4 pisos a más	Muro portante en edificios de 1 a 3 pisos	Muro portante en todo edificio
Sólido Artesanal *	No	Si, hasta dos pisos	Si
Sólido Industrial	Si	Si	Si
Alveolar	Si Celdas totalmente rellenas con grout	Si Celdas parcialmente rellenas con grout	Si Celdas parcialmente rellenas con grout
Hueca	No	No	Si
Tubular	No	No	Si, hasta 2 pisos

\*Las limitaciones indicadas establecen condiciones mínimas que pueden ser exceptuadas con el respaldo de un informe y memoria de cálculo sustentada por un ingeniero civil.

FUENTE: Norma técnica E.070 albañilería

### b. NTP 331.017 - 2003 “Unidades de albañilería. Ladrillos de arcilla usados en albañilería. Requisitos”

La presente Norma Técnica Peruana establece los requisitos que deben cumplir los ladrillos de arcilla destinados para uso en albañilería estructural y no estructural donde la apariencia externa no es un requerimiento.

Esta Norma Técnica Peruana se aplica a los ladrillos de arcilla, sólidos o con perforaciones, utilizados como unidades de albañilería estructural, o no estructural, es decir, que deben o no soportar cargas, conformar albañilería confinada, muros de cierre y tabiques.

#### Art.5. Clasificación

Inciso 5.1 Tipos: Los ladrillos de arcilla elaborados de acuerdo con esta NTP deberán estar conforme a los cuatro tipos, tal como sigue:

Numeral 5.1.1 Tipo 21: Para su uso donde se requiere alta resistencia a la compresión y resistencia a la penetración de la humedad y a la acción severa del frío.

Numeral 5.1.2 Tipo 17: Para uso general donde se requiere moderada resistencia a la compresión y resistencia a la acción del frío y a la penetración de la humedad.

Numeral 5.1.3 Tipo 14: Para uso general donde se requiere moderada resistencia a la compresión.

Numeral 5.1.4 Tipo 10: Para uso general donde se requiere moderada resistencia a la compresión.

### Art. 6.2 Requisitos físicos

Numeral 6.2.1 Resistencia: El ladrillo cumplirá los requisitos de resistencia a la compresión para el tipo especificado tal como se prescribe en la Cuadro 3. Para determinar la resistencia a la compresión, ensayar la unidad con la fuerza de compresión perpendicular a la superficie de asiento de la unidad.

**Cuadro 3: Requisitos de resistencia**

Tipo □	Resistencia a la compresión, mínimo, respecto al área bruta promedio, MPa	
	Promedio de 5 ladrillos	Unidad individual
21	21	17
17	17	15
14	14	10
10	10	8

NOTA 2: Cuando se requieren ladrillos con resistencias mayores que las prescritas por esta Norma Técnica Peruana, el comprador especificará la resistencia mínima.

FUENTE: NTP- 331-017

Numeral 6.3.2 Durabilidad: El ladrillo cumplirá los requisitos complementarios para el tipo especificado tal como se describe en el Cuadro 4. Cuando el tipo no se especifica, regirán los requisitos del Tipo 21.

**Cuadro 4: Requisitos complementarios**

Tipo □	Absorción de agua, mediante 5 h de ebullición, máx., %		Coeficiente de saturación, máx. <sup>A</sup> □	
	Promedio de 5 ladrillos	Unidad individual	Promedio de 5 ladrillos	Unidad individual
21	17,0	20,0	0,78	0,80
17	22,0	25,0	0,88	0,90
14 y 10	Sin límite	Sin límite	Sin límite	Sin límite

<sup>A</sup> El coeficiente de saturación es la relación de absorción mediante inmersión en agua fría durante 24 h a la absorción después de 5 h de inmersión en agua en ebullición.

FUENTE: NTP- 331-017

**c. NTP- 399.613:2017 “Unidades de albañilería. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería.**

Esta norma establece los procedimientos para el muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería. Se aplica para el control de calidad de ladrillos cocidos usados como unidades de albañilería. Como los procedimientos para la resistencia a la compresión, módulo de rotura, alabeo, absorción, entre otros.

## **2.2. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CERVEZA**

### **2.2.1. Descripción del Proceso de Producción de la Cerveza**

La cerveza es la bebida resultante de fermentar mediante levaduras seleccionadas el mosto procedente de malta de cebada, solo o mezclado con otros productos amiláceos transformables en azúcares por digestión enzimática, sometido a un proceso de cocción y adicionado con lúpulo y/o sus derivados.

Se pueden realizar varias clasificaciones de los muchos tipos de cerveza existentes en el mercado, dependiendo del criterio de clasificación seleccionado. En función del tipo de fermentación, el amplio abanico de variedades de cerveza se puede reducir a dos grandes grupos:

- Cervezas de fermentación baja, también conocidas como “tipo lager”. Se utiliza fundamentalmente levadura del género *Saccharomyces uvarum* que se deposita en el fondo de los depósitos tras la fermentación. La fermentación tiene lugar a temperaturas comprendidas entre los 8°C y los 14°C. La mayor parte de las cervezas elaboradas en España encajan en este grupo.
- Cervezas de fermentación alta, también conocidas como “tipo ale”. Se utiliza levadura del género *Saccharomyces cerevisiae*. Este tipo de levaduras tiende a ascender a la superficie durante la fermentación. El proceso de fermentación tiene lugar normalmente a temperaturas comprendidas entre 15°C y 25°C.

Las materias primas para la producción de cerveza son malta de cebada, adjuntos (principalmente maíz y arroz), lúpulo, agua y levadura. Los métodos de producción

difieren de una planta cervecera a otra, así como los tipos de cerveza y los equipos de fabricación. Sin embargo, el proceso de fabricación de cualquier tipo de cervecera consta de cuatro fases, que se desglosan en diversas etapas:

- Fabricación del mosto
- Fermentación y guarda
- Filtración
- Estabilización microbiológica y envasado

El proceso general de fabricación de cerveza se puede resumir como se indica a continuación:

El grano (la malta y otros cereales no malteados llamados adjuntos) se recibe en las cerveceras a granel y se transfiere a los silos tras ser pesada y limpiada. La cebada malteada se muele previamente con el objetivo de romper el endospermo, causando el mínimo daño posible a la cascarilla.

Después de la molienda, la harina resultante (denominada sémola, harina gruesa o harina fina, en función de su paso por distintas cribas, además de la cascarilla desprendida del grano) se macera en agua a temperaturas seleccionadas para liberar mediante la acción enzimática un extracto fermentable, que sirve de substrato a las levaduras en la fase de fermentación.

Se pueden añadir adjuntos como fuente suplementaria de carbohidratos tanto en la caldera de maceración o empaste (p. ej. maíz o arroz), como en la cuba de cocción (p. ej. sacarosa o glucosa/maltosa en forma de jarabe). El mosto se separa del bagazo durante la etapa de filtración del mosto. Después de completada la separación, el bagazo se almacena en silos y normalmente se emplea como alimento para el ganado.

El mosto se lleva a ebullición junto con el lúpulo en la etapa conocida como cocción. Durante la etapa de cocción tienen lugar una serie de reacciones muy variadas y complejas, una de las cuales es la solubilización e isomerización de las sustancias amargas y aceites del lúpulo. Un grueso coágulo de materia proteínica precipitada se separa del mosto por efecto del calor. Este coágulo se conoce con el nombre de “turbios calientes”. El mosto se

clarifica en una cuba conocida con el nombre de remolino o whirlpool, separando el precipitado proteínico. Posteriormente se enfría el mosto hasta la temperatura de inoculación de la levadura, entre 8°C y 12°C.

Al mosto clarificado y enfriado se le inyecta aire estéril previamente a la fase de fermentación para favorecer el crecimiento de la levadura. A la cerveza resultante de la fermentación se le somete a una etapa de enfriamiento, favoreciendo la decantación de levaduras y otras sustancias enturbiantes del producto. A esta operación se le conoce con el nombre de guarda, maduración o decantación.

Después de la guarda o maduración y separación de los sólidos decantados, la cerveza se clarifica por filtración, normalmente en filtros de tierra de diatomeas, membranas, cartones, etc. Por último, se realizan las operaciones de carbonatación, aditivación, estabilización microbiológica y envasado, cuyo orden dentro del proceso depende del tipo de proceso utilizado.

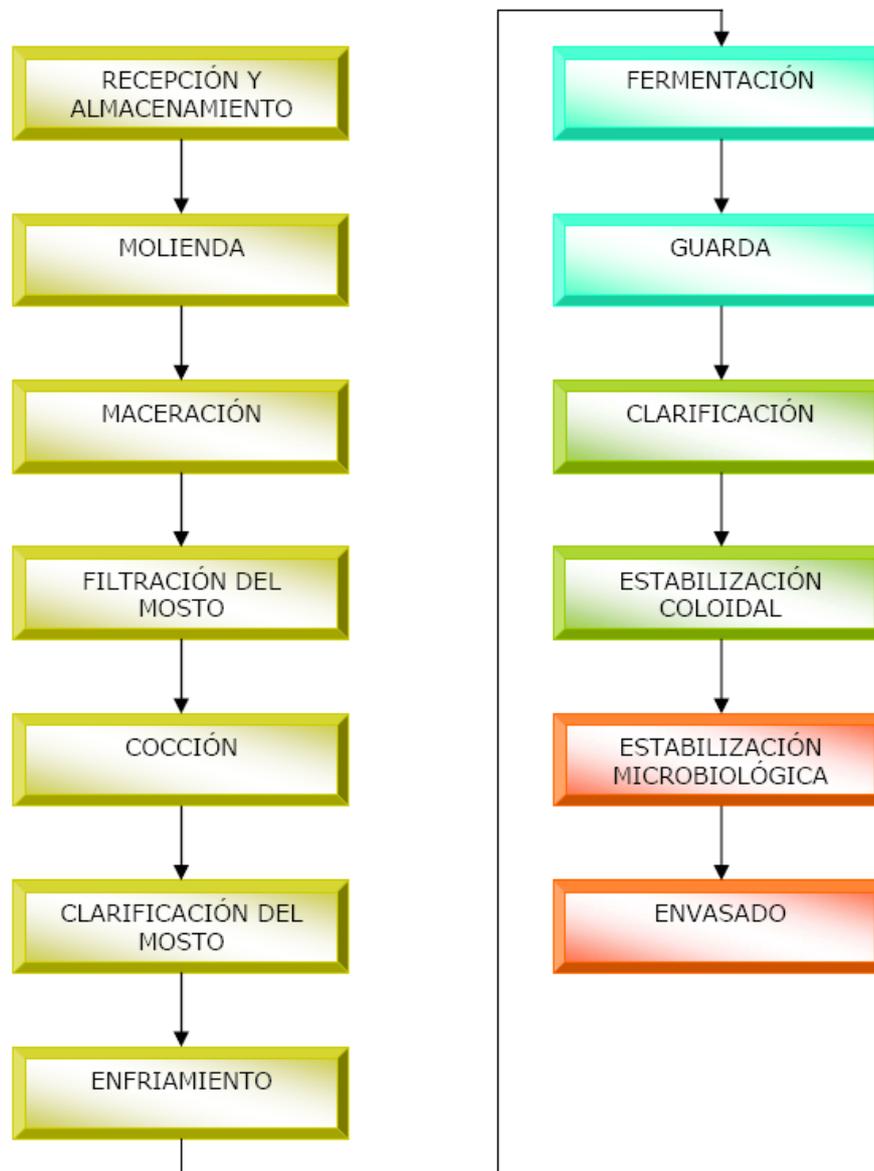
### **2.2.2. Diagrama de Flujos del Proceso de Producción de Cerveza**

En la figura 1 se muestra el proceso general de producción de cerveza. Se destacan en diferentes colores las distintas operaciones agrupadas de acuerdo a las cuatro fases productivas principales; fabricación del mosto, fermentación y guarda, filtración y estabilización microbiológica/coloidal y envasado.

### **2.2.3. Clarificación**

Según la Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del sector cervecero (2005), el objetivo de la fase de filtración (que incluye las operaciones de clarificación y estabilización coloidal) es la obtención del nivel especificado de claridad y del retraso del enturbiamiento natural de la cerveza desde su elaboración hasta su consumo. La clarificación tiene lugar normalmente en filtros de tierra de diatomeas (esqueletos silíceos de antiguas algas marinas), utilizando para ello filtros de marcos y placas, de platos o de bujías.

Sobre la tierra de diatomeas se produce la filtración propiamente dicha, actuando el filtro como soporte de la torta filtrante. Existen otras técnicas que no emplean tierras, como los filtros de cartones, filtros de membrana y la filtración tangencial combinada con centrifugación.



**Figura 1: Proceso productivo de la cerveza**

**FUENTE: Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del sector cervecero, 2005**

Opcionalmente e indistintamente del método de clarificación empleado, se puede realizar una centrifugación como etapa previa a las operaciones de filtración propiamente dichas.

El fin de la centrifugación es eliminar la mayor cantidad posible de levadura y otros precipitados. Las centrífugas que suelen emplearse en la industria cervecera son las de cámara tubular/discos.

Antes de comenzar la filtración se puede someter a la cerveza a un golpe de frío (-1,5°C) en un intercambiador de calor de placas para mejorar la filtrabilidad. El principio de funcionamiento de los filtros de tierra de diatomeas es el siguiente:

La suspensión de diatomeas se bombea a presión desde su tanque de mezcla hacia la carcasa donde están los soportes filtrantes, así se va formando una torta filtrante firme pero porosa por deposición de diversas precapas en el cuerpo del filtro. Normalmente se forman dos precapas, la segunda de tamaño de partícula más fino que la primera.

A continuación, se bombea la corriente de cerveza. Para evitar la colmatación del filtro y para efectuar el mayor número de pases de cerveza a través de la misma torta, se dosifica en continua tierra fresca de diatomeas a la corriente entrante de cerveza y de este modo se va conformando paulatinamente el cuerpo de la torta filtrante.

Los sistemas más empleados en la clarificación de la cerveza son:

a) Filtro de bujías

Estos filtros consisten en un grupo de discos muy próximos entre sí, montados sobre un vástago acanalado de modo que forman una pila de filtración. Se monta un cierto número de estas pilas sobre una placa soporte, y el conjunto se instala en una carcasa resistente a la presión.

Sobre las pilas de filtración o bujías se crea la capa de tierra de diatomeas a través de la cual se hace pasar la cerveza, donde quedan retenidos los sólidos en el transcurso de la filtración. El sistema es sensible a los cambios de presión, aunque como se trata de sistemas estáticos apenas están sometidos a desgaste mecánico.

El lavado se hace a contracorriente con agua y/o gas a presión, evacuándose los lodos de limpieza en forma pastosa por la parte inferior del equipo.

b) Filtros de platos o placas horizontales.

La diferencia de estos filtros con respecto a los de bujías radica en que las tortas filtrantes reposan sobre elementos horizontales, evitando que se rompan aún en ausencia de presión.

Esto tiene la ventaja de que si se interrumpe la filtración puede reiniciarse sin problemas, e incluso se pueden filtrar sucesivamente varios líquidos distintos sin cambiar estas capas. Los platos o placas horizontales sobre las que se forman las capas filtrantes de diatomeas, se montan de modo que forman un bloque vertical, dentro de un recipiente cilíndrico resistente a la presión.

La descarga de las capas filtrantes ya gastadas se hace sin necesidad de arrastrarlas con agua, haciendo girar las placas soporte, para lo que llevan un motor en la parte superior o inferior del filtro. En todo caso, hace falta una última limpieza con duchas de agua para eliminar los restos.

c) Filtros de marcos y placas

Se trata de un filtro de placas verticales, donde alternan marcos huecos con placas acanaladas cubiertas a ambos lados por los soportes filtrantes. El conjunto se ensambla herméticamente con el fin de formar una unidad estanca a los líquidos. La suspensión de diatomeas entra por los marcos huecos y se forma la capa filtrante sobre los soportes filtrantes de las dos placas contiguas al marco. La cerveza pasa a través del medio y por la superficie acanalada de las placas del filtro, desde donde sale al exterior por el canal de descarga que tiene cada placa.

La torta puede lavarse utilizando placas de lavado especiales. El retiro de la torta agotada puede realizarse manualmente, siendo necesario abrir la prensa, aunque hay modelos que disponen de medios para elevar o mover mecánicamente las placas y marcos.

d) Filtros de cartón.

Los filtros de cartón no utilizan como medio filtrante tierra de diatomeas, sino fibras de celulosa. La estructura del equipo es muy similar a la de los filtros de marcos y placas. El efecto filtrante se debe más a fenómenos de adsorción de las fibras que al tamizado a través de las mismas. Estos filtros son muy sensibles a los cambios bruscos de presión, por tanto,

el caudal debe mantenerse uniforme y la presión diferencial mínima. Es un tipo de filtro que se colmata fácilmente si no va acompañado de una clarificación previa.

e) Filtros de protección o defensa

Opcionalmente, pueden emplearse filtros de protección o defensa ante un posible paso de partículas de tierra procedente de los filtros anteriores y los finos de PVPP (polivinilpirrolidona) después de la estabilización coloidal. Estos filtros de defensa pueden ser de fibras de celulosa, filtros de cartuchos de polipropileno, filtros trap, etc. En cualquier caso, su función principal no es la de clarificar la cerveza por retención de levaduras y otros sólidos suspendidos, sino la de salvaguardar la funcionalidad de los filtros precedente.

## **2.3. GENERACIÓN DE RESIDUOS EN LA PRODUCCIÓN DE CERVEZA**

### **2.3.1. Generación de Residuos en la Producción de Cerveza**

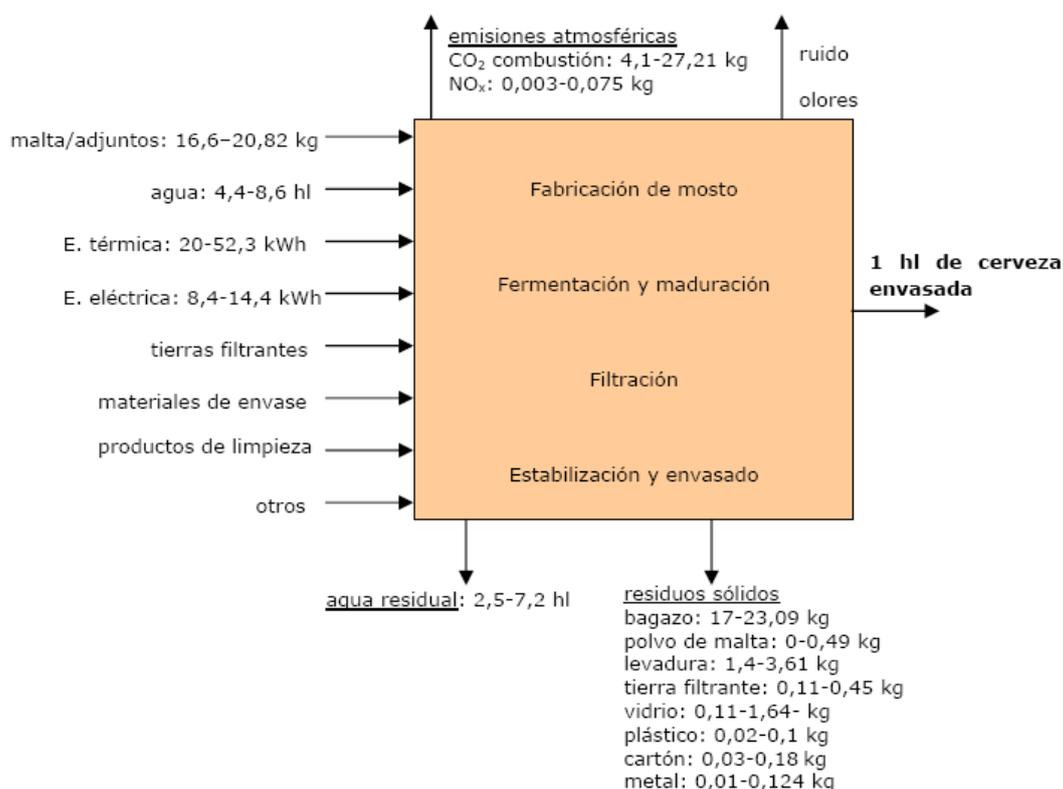
En las diferentes etapas de la producción de cerveza se generan residuos como: aguas residuales, sólidos residuales, emisiones atmosféricas y olores que constituyen aspectos ambientales significativos que son descritos en el Cuadro 5.

**Cuadro 5: Generación de residuos en la producción de la cerveza**

ASPECTO AMBIENTAL	OPERACIÓN QUE LOS ORIGINA	TIPO DE ASPECTO / PARAMETRO CONTAMINANTE
Consumo de materiales	Envasado (limpieza de envases)	Productos. Químicos
	Limpieza de equipo	Productos. Químicos
	Envasado	Envases
Consumo de agua	Limpieza de equipos	Elevado volumen de agua
	Estabilización microbiológica	
	Envasado (limpieza de envases)	
	Cocción	
	Enfriamiento del mosto	
Consumo de energía térmica	Envasado (limpieza de envases)	Elevado consumo de calor
	Estabilización microbiológica	
	Maceración	
	Cocción	
Consumo de energía eléctrica	Tratamiento de agua de proceso	Elevado consumo de electricidad
	Enfriamiento del mosto	
	Fermentación	
Generación de aguas residuales	Envasado (limpieza de envases)	DQO, SS, pH, Conductividad, T°.
	Tratamiento de aguas de proceso	Cl, pH, conductividad
	Limpieza de equipos	DQO, SS, N, P, pH, Conductividad, T°.
	Estabilización microbiológica	Caudal, T°.
	Enfriamiento del mosto	Caudal, T°.
Generación de residuos sólidos	Filtración del mosto	Bagazo
	Clarificación del mosto	Turbios
	Fermentación	Levaduras
	Clarificación de la cerveza	Tierras diatomeas
	Envasado	Envases
	Planta de depuración de aguas residuales	Lodos de depuración
Emisiones atmosféricas	Recepción y almacenamiento de materiales	Polvo de malta
	Sala de calderas	CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>
	Planta de frío	NH <sub>3</sub> o HFCs
Olores	Planta de depuración de aguas residuales	Emisión de olores
	Cocción	

**FUENTE: Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del sector cervecero,2005**

En la Figura 2, se muestra un balance de entradas y salidas global que resume en términos generales los valores de consumo y emisiones que se pueden registrar con más frecuencia en las instalaciones cerveceras para el proceso de elaboración de un hectolitro de cerveza envasada. Así mismo, nos muestra la generación de residuos y carga contaminante de la producción de la cerveza.



**Figura 2:** *balance general para la fabricación de 1 hl de cerveza*

**FUENTE:** Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del sector cervecero, 2005

### 2.3.2. Tierras Filtrantes Agotadas

Las tierras filtrantes agotadas constituyen un tipo de material residual de cierta dificultad en su manejo y gestión, tanto por su naturaleza y volumen generado, como por la falta actual de alternativas reales de valorización.

En la actualidad se está realizando un gran esfuerzo por encontrar alternativas al uso de las tierras filtrantes, dando como resultado algunas soluciones muy prometedoras que no son de aplicación general al día de hoy con las suficientes garantías técnicas, de calidad de producto y de rentabilidad económica.

Por tanto, la solución más factible en este momento se centra en su recogida, segregación y cesión a gestores autorizados o empresas que se puedan servir de ellas en sus actividades (material de construcción, relleno de canteras, etc.), con el objetivo principal de evitar su vertido junto con las aguas residuales, esto supone minimizar la carga contaminante del vertido (especialmente sólidos en suspensión y carga orgánica) y la mezcla con otros subproductos o residuos generados en la instalación.

Las tierras de diatomeas agotadas utilizadas en la fase de filtración de la cerveza son uno de los mayores problemas de gestión de residuos en la industria cervecera, tanto por la cantidad generada como por la dificultad de encontrar oportunidades de valorización como subproducto.

Estas dificultades tienen su base en las características particulares del residuo; matriz inerte calcárea con un alto contenido en sólidos orgánicos y grado de humedad elevada.

En los últimos años los profesionales del sector cervecero y de los sectores y servicios afines vienen realizando un gran esfuerzo por encontrar alternativas al uso de las tierras filtrantes. Por otro lado, se han encontrado y probado soluciones muy prometedoras, pero ciertos condicionantes técnicos y económicos no hacen posible actualmente la implantación generalizada de los nuevos métodos de filtración de cerveza. Un ejemplo a este respecto es la filtración de flujo tangencial combinada con una centrifugación previa.

Los lodos de depuradora también tienen una gestión relativamente complicada en ciertos casos.

Las tierras de diatomeas agotadas utilizadas en la fase de filtración de la cerveza presentan las características propias del material inicial de origen silíceo más las características adquiridas por la presencia en el residuo de las sustancias orgánicas coloidales y restos de levadura que han sido separadas de la cerveza.

Al tener un elevado contenido en humedad, las tierras han perdido la condición inicial de material pulverulento que le confería el carácter de peligrosidad por inhalación.

Para la gestión interna de las tierras de diatomeas agotadas deben preverse las medidas de control ya mencionadas para las otras categorías de residuos respecto a la recogida y almacenamiento y gestión apropiada, observando las condiciones adecuadas de seguridad e higiene.

Las alternativas de valorización de las tierras de diatomeas también están en función de su contenido en humedad, pero en general pueden ser valorizadas para su uso como:

- enmienda del suelo
- co-substrato para compostaje
- reciclaje para fabricación de materiales de construcción

### **2.3.3 Situación Actual de la Generación de Residuos en la Industria Cervecera**

Durante el 2014, el mercado cervecero presentó un crecimiento de 1.6 por ciento respecto al año anterior, alcanzó un volumen de 13.7 millones de hl (Fuente: CCR Empresa de Investigación de Mercados). Según la Figura 2, se observa que por cada hectolitro de cerveza producida se generan de 0.11 a 0.45 Kg de tierras diatomea usadas, por lo que se puede estimar que aproximadamente por año la industria cervecera está produciendo 1507 Toneladas métricas de tierras diatomeas por año, de las cuales un porcentaje es reutilizado como abono orgánico, mientras que el resto es desechado.

En el Cuadro 6 se observa que el sector industrial es responsable de la generación de 44 977 TM/año de residuos sólidos no peligrosos, de los cuales un 16.2 por ciento corresponde a la clasificación de otros, dentro de esta clasificación podemos deducir que tierras diatomeas se encontrarían formando parte de este porcentaje que constituye 7289TM/año, según el Cuadro 7.

**Cuadro 6: Generación total en el 2007 de Residuos No Municipales**

<b>PANORAMA DE LA GENERACIÓN DE RESIDUOS DEL AMBITO NO MUNICIPAL POR SECTORES 2007</b>			
<b>SECTOR- S/SUBSECTOR - SS</b>	<b>RESIDUOS SÓLIDOS PELIGROSOS (TM/AÑO)</b>	<b>RESIDUOS SÓLIDOS NO PELIGROSOS (TM/AÑO)</b>	<b>RESIDUO HIDROBIOLÓGICO (TM/AÑO)</b>
S.SALUD	2143.22	0	
S.VIV.Y CONST.	0	5663.1	
S.S PESQUERIA	1013.63	3989.6	5441.36
S.INDUSTRIA	68643	44977	
S.S.ENERGETICO	1206.45	0	
S.S.MINERO	37205.66	301571.4	
S. TRANSPORTE	1572.27	731.8	
<b>TOTAL</b>	<b>111784.23</b>	<b>356932.9</b>	<b>5441.36</b>

**Fuente: Informe de la situación actual de los residuos sólidos no municipales 2008**

**Cuadro 7: Generación Residuos No Peligrosos del Sub Sector Industria -2007**

<b>GENERACIÓN DE RESIDUOS NO PELIGROSOS DEL SUBSECTOR INDUSTRIA 2007</b>		
<b>Composición de los residuos No Peligroso</b>	<b>TM/AÑO</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Materia Orgánica	3275	7.28
Plástico	1906	4.24
Papel y Cartón	21088	46.87
Vidrio	8639	19.20
Metal/latas	1445	3.21
Textiles	1355	3.01
Otros (tierra, polvo, papel higienico y afines)	7289	16.20
<b>TOTAL</b>	<b>44997</b>	<b>100.00</b>

**Fuente: Dirección de Asuntos Ambientales de Industria. Ministerio de Producción Set 2008**

Así mismo en el Cuadro 8 del reporte de desarrollo sostenible de una empresa cervecera peruana en el 2011 se puede observar que la cantidad de residuos generados peligrosos y no peligros que son enviados a botaderos es de 27065 Toneladas Métricas anuales, dentro

de los cuales se puede inferir que se encuentra parte de las tierras diatomeas agotadas que no hayan sido recicladas y que podrían ser utilizadas como materia prima para la fabricación de los ladrillos ecológicos que son objeto de estudio del presente trabajo.

**Cuadro 8: Generación Residuos y su Reciclaje de una Empresa Cervecera Peruana**

GENERACIÓN DE RESIDUOS Y SU RECICLAJE				Variación Porcentual (2010-2011)
	2009	2010	2011	
Total residuos generados peligrosos y no peligrosos (a)	237079.15 Ton	272562.41 Ton	285763.25 Ton	4.80%
Total residuos peligrosos u no peligrosos reciclados o vendidos (b)	223342 Ton	250762.71 Ton	258698 Ton	3.16%
Porcentaje residuos reciclados (b)/(a)	94.23%	92.02%	90.55%	
Total residuos peligrosos y no peligrosos enviados a botaderos (a)-(b)	13737.15 Ton	21799.7 Ton	27065.25 Ton	24.15%
Porcentaje de residuos peligrosos y ni peligrosos enviados a botaderos	5.80%	8.00%	9.47%	

Fuente: Reporte de Desarrollo Sostenible 2011 de una empresa cervecera

## 2.4. MATERIAS PRIMAS DE USO POTENCIAL EN LA FABRICACIÓN DE UNIDADES DE ALBAÑILERIA

### 2.4.1. Tierras Diatomeas

#### a. Composición y Propiedades

La diatomita es una roca silíceas de origen sedimentario, presentando diversos grados de consolidación; principalmente está constituida de restos fosilizados de diatomeas. La diatomita representa una forma única de sílica ya que no se ha encontrado otro material que tenga sus características de estructura física.

La diatomita pura está formada por sílica opalina o hídrica, presentando en solución sólida o como una parte esencial del complejo de ópalo, pequeñas cantidades de componentes inorgánicos asociados – alúmina, hierro, tierras alcalinas, metales alcalinos – y otros constituyentes menores. La diatomita también contiene cantidades inusuales de agua libre, la cual puede variar de 10 a 60 por ciento o más. Los depósitos más importantes del mundo, se caracterizan por ser depósitos del tipo seco, en donde la diatomita se presenta como material de peso liviano. La densidad aparente (base seca) in situ varía de 0.32 a 0.64TM/m<sup>3</sup>.

El valor de la diatomita sin tratamiento se basa principalmente en la naturaleza de las partículas diatomáceas, contenido de sílice, carbonatos, argelita o impurezas solubles y el grado de compactación del manto o estrato. En general la diatomita es extremadamente porosa, baja conductividad de calor y electricidad, químicamente inerte; capaz de absorber y retener gran cantidad de líquidos con los cuales tiene grandes superficies de contacto (Cifuentes et al., 1997).

#### **a. Origen y Formación Geológica**

La diatomita es una roca formada por caparazones de algas unicelulares llamadas diatomeas con dimensiones microscópicas. Estas plantas aparecieron durante la transición del Cretáceo al Terciario, formando colonias en agua dulce o salobre de acuerdo con su especie. Los caparazones, formados por sílice amorfa (ópalo) y acumuladas a considerables profundidades, sufrieron subsecuente compactación convirtiéndose en depósitos potenciales de diatomitas. Cuando se elevan por encima de los niveles de agua, expuestos a lixiviación y erosión, tales sedimentos constituyen los depósitos actuales de interés.

La abundancia extraordinaria de diatomitas en el Perú está vinculada con la intensa actividad hidrotermal durante el Terciario y principios del Cuaternario que aportó la sílice para los caparazones de diatomeas. Las rocas ricas en diatomeas marinas abundan en los departamentos de Ica, Piura y Tumbes; los sedimentos constituidos presentan grosores de algunos cientos de metros. Los depósitos del Mioceno, existentes en la costa, están íntimamente vinculados con los de fosfatos. Los depósitos con diatomeas lacustres se conocen en los departamentos de Cajamarca, Ancash, Junín, Ayacucho, Cuzco y Arequipa.

El depósito Tarucani en el departamento de Arequipa presenta un potencial estimado de 50 MM de TM. La composición representativa es la siguiente: SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>.

Cerca de Arequipa también se explota las diatomitas de Polobaya. La diatomita en la formación Ayacucho tiene 85 a 98 por ciento de ópalo (SiO<sub>2</sub> amorfo).

## **b. Características y Usos**

### Filtración

El uso más importante y espectacular de la diatomita es como ayudante de filtración para la clarificación y purificación de una gran variedad de líquidos en el proceso químico, metalúrgico, alimentos, fármacos, bebidas, petróleo y otras industrias. Las partículas de un producto apropiado de diatomitas molidas permiten, en el proceso de filtración, la formación de una torta de poros abiertos en el cual las impurezas o partículas suspendidas son capturadas, supliendo de esta manera un filtrado bien clarificado libre de tales impurezas. Existen varios grados de diatomita de variados tamaños y formas de partículas, los cuales forman tortas de diferentes porosidades y capacidades de filtración.

### Relleno

La diatomita es un importante mineral de relleno, extensión, revestimiento, etc, para diversas composiciones y materiales fabricados. El orden de importancia relativa es en cubiertas de protección (pinturas, barnices, lacas), papel, insecticidas, plásticos, composiciones asfálticas, fertilizantes y una extensa variedad de productos térmicos. Estos incluyen varillas de soldadura, tintas de impresión, compuestos para lacrados; explosivos, fósforos, revestimiento dental y muchos otros.

### Aislamiento

La diatomita utilizada como materia prima para la manufactura de elementos de estructuras aislantes del calor y frío, incluye ladrillos, bloques y cementos. La diatomita aislante y ladrillos refractarios se utilizan en la construcción de hornos kiln y de recocido, calentadores y otros equipos de tratamiento térmico.

### Aplicaciones de Procesos

Uno de los usos importantes de la diatomita es cuando actúa como soporte o agente para llevar a efecto el proceso de catálisis. Para el primer caso, se tiene la notable catálisis del vanadio para oxidación del dióxido de azufre en la fabricación de ácido sulfúrico; el segundo caso ocurre en la catálisis de tierra diatomácea para los procesos de hidrogenación de níquel. También actúa como promotor de reacciones, en la ruptura de emulsiones, en procesos de asentamiento; en fundición para lavado de moldes o compuesto de partición.

Los usos de la diatomita como absorbente ocurren en múltiples procesos: Desinfectantes químicos; cartuchos de dinamita solidificada; materiales granulares en combinación con agentes desecantes, particularmente silicatos de tierras alcalinas; limpiadores industriales de pisos; empaques y despacho de materiales líquidos; manufactura de sintéticos ultramarinos y pigmentos similares.

La relativa suavidad, pero efectiva acción de la diatomita constituye el componente abrasivo en la formulación de limpiadores para obtener el acabado de pulimento y brillo de automóviles y metales en general. La diatomita también es de uso preferencial como agente acondicionante para prevenir el endurecimiento y/o adherencia del nitrato de amonio de uso en la agricultura y otros productos químicos fertilizantes; así como de diversos materiales industriales.

#### **Materiales Estructurales**

En el campo de los materiales de construcción, la diatomita se utiliza en la fabricación de varios tipos de ladrillos, placas/tabiques (mayólica, losetas, tejas, baldosas), los mismos que pueden ser unidos con diferentes materiales incluyendo arcillas, cemento portland, yeso, cal o magnesio. Adicionalmente los morteros, argamasas, enlucidos y estucos contienen tierras diatomáceas. También, en combinaciones procesadas de ingredientes activos de superficie y entrapamiento de aire con diatomita, se ha logrado obtener una adecuada composición de baja capacidad de retención de agua, mejorando la calidad del concreto.

Las mezclas de diatomitas constituyen excelentes composiciones en la perforación de pozos petrolíferos, ya sea como modificadores de los lodos de perforación o bien para la cementación de los huecos de perforación (Cifuentes et al.,1997).

#### **2.4.2. Arcilla**

Las arcillas se forman a partir de la alteración de rocas por meteorización, formando nuevas rocas y minerales pertenecientes a suelos de tipo sedimentario. Clasificados por su textura como clásticos, en ellas se mantienen antígenos unidos por un matriz cementante. Así se determina la presencia común de cuarzo, carbonatos y feldespatos no alterados en la arcilla. El contenido de arcilla o roca alterados es directamente proporcional a los factores

climáticos. (Ferran, 2002) Estos autores demostraron como la cantidad de arcilla aumentaba en función de la humedad y la temperatura.

Existen varios tipos de arcillas: arcillas con una misma composición química, pero con diferente disposición interna de los átomos (polimorfismo) y arcillas con una misma disposición geométrica de los átomos, pero con composiciones ligeramente diferentes.

El término arcilla no sólo tiene connotaciones mineralógicas, sino también de tamaño de partícula, en este sentido se consideran arcillas todas las fracciones con un tamaño de grano inferior a 2  $\mu\text{m}$ . Según esto todos los filosilicatos pueden considerarse verdaderas arcillas si se encuentran dentro de dicho rango de tamaños, incluso minerales no pertenecientes al grupo de los filosilicatos (cuarzo, feldespatos, etc.) pueden ser considerados partículas arcillosas cuando están incluidos en un sedimento arcilloso y sus tamaños no superan las 2  $\mu\text{m}$ .

Las arcillas son constituyentes esenciales de gran parte de los suelos y sedimentos debido a que son, en su mayor parte, productos finales de la meteorización de los silicatos que, formados a mayores presiones y temperaturas, en el medio exógeno se hidrolizan.

#### **a. Propiedades Físico-Químicas**

Las importantes aplicaciones industriales de este grupo de minerales radican en sus propiedades físico-químicas. Dichas propiedades derivan, principalmente, de:

- Su extremadamente pequeño tamaño de partícula (inferior a 2  $\mu\text{m}$ ).
- Su morfología laminar (filosilicatos).
- Las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.

Como consecuencia de estos factores, presentan, por una parte, un valor elevado del área superficial y, a la vez, la presencia de una gran cantidad de superficie activa, con enlaces no saturados. Por ello pueden interactuar con muy diversas sustancias, en especial compuestos polares, por lo que tienen comportamiento plástico en mezclas arcilla-agua con elevada proporción sólido/líquido y son capaces en algunos casos de hinchar, con el desarrollo de propiedades reológicas en suspensiones acuosas.

Por otra parte, la existencia de carga en las láminas se compensa, como ya se ha citado, con la entrada en el espacio interlaminar de cationes débilmente ligados y con estado variable de hidratación, que pueden ser intercambiados fácilmente mediante la puesta en contacto de la arcilla con una solución saturada en otros cationes, a esta propiedad se la conoce como capacidad de intercambio catiónico y es también la base de multitud de aplicaciones industriales.

### **b. Superficie específica**

La superficie específica o área superficial de una arcilla se define como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna (en el caso de que esta exista) de las partículas constituyentes, por unidad de masa, expresada en  $\text{m}^2/\text{g}$ .

Las arcillas poseen una elevada superficie específica, muy importante para ciertos usos industriales en los que la interacción sólido-fluido depende directamente de esta propiedad.

A continuación, se muestran algunos ejemplos de superficies específicas de arcillas:

Caolinita de elevada cristalinidad hasta  $15 \text{ m}^2/\text{g}$

Caolinita de baja cristalinidad hasta  $50 \text{ m}^2/\text{g}$

Halloisita hasta  $60 \text{ m}^2/\text{g}$

Illita hasta  $50 \text{ m}^2/\text{g}$

Montmorillonita  $80\text{-}300 \text{ m}^2/\text{g}$

Sepiolita  $100\text{-}240 \text{ m}^2/\text{g}$

Paligorskita  $100\text{-}200 \text{ m}^2/\text{g}$

### **c. Capacidad de Intercambio catiónico**

Es una propiedad fundamental de las esmectitas. Son capaces de cambiar, fácilmente, los iones fijados en la superficie exterior de sus cristales, en los espacios interlaminares, o en otros espacios interiores de las estructuras, por otros existentes en las soluciones acuosas envolventes. La capacidad de intercambio catiónico se puede definir como la suma de todos los cationes de cambio que un mineral puede adsorber a un determinado pH. Es equivalente a la medida del total de cargas negativas del mineral. Estas cargas negativas pueden ser generadas de tres formas diferentes:

- Sustituciones isomórficas dentro de la estructura.
- Enlaces insaturados en los bordes y superficies externas.
- Disociación de los grupos hidroxilos accesibles.

El primer tipo es conocido como carga permanente y supone un 80 por ciento de la carga neta de la partícula; además es independiente de las condiciones de pH y actividad iónica del medio. Los dos últimos tipos de origen varían en función del pH y de la actividad iónica. Corresponden a bordes cristalinos, químicamente activos y representan el 20 por ciento de la carga total de la lámina.

A continuación, se muestran algunos ejemplos de capacidad de intercambio catiónico (en meq/100 g):

Caolinita: 3-5

Halloisita: 10-40

Illita: 10-50

Clorita: 10-50

Vermiculita: 100-200

Montmorillonita: 80-200

Sepiolita-paligorskita: 20-35

### **c. Capacidad de absorción**

Algunas arcillas encuentran su principal campo de aplicación en el sector de los absorbentes ya que pueden absorber agua u otras moléculas en el espacio interlaminar (esmectitas) o en los canales estructurales (sepiolita y paligorskita).

La capacidad de absorción está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad) y se puede hablar de dos tipos de procesos que difícilmente se dan de forma aislada: absorción (cuando se trata fundamentalmente de procesos físicos como la retención por capilaridad) y adsorción (cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y el líquido o gas adsorbido, denominado adsorbato).

La capacidad de adsorción se expresa en porcentaje de adsorbato con respecto a la masa y depende, para una misma arcilla, de la sustancia de que se trate. La absorción de agua de arcillas absorbentes es mayor del 100 por ciento con respecto al peso.

#### **d. Hidratación e hinchamiento**

La hidratación y deshidratación del espacio interlaminar son propiedades características de las esmectitas, y cuya importancia es crucial en los diferentes usos industriales. Aunque hidratación y deshidratación ocurren con independencia del tipo de catión de cambio presente, el grado de hidratación sí está ligado a la naturaleza del catión interlaminar y a la carga de la lámina.

La absorción de agua en el espacio interlaminar tiene como consecuencia la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento. Este proceso depende del balance entre la atracción electrostática catión-lámina y la energía de hidratación del catión. A medida que se intercalan capas de agua y la separación entre las láminas aumenta, las fuerzas que predominan son de repulsión electrostática entre láminas, lo que contribuye a que el proceso de hinchamiento pueda llegar a disociar completamente unas láminas de otras. Cuando el catión interlaminar es el sodio, las esmectitas tienen una gran capacidad de hinchamiento, pudiendo llegar a producirse la completa disociación de cristales individuales de esmectita, teniendo como resultado un alto grado de dispersión y un máximo desarrollo de propiedades coloidales. Si, por el contrario, tienen Ca o Mg como cationes de cambio su capacidad de hinchamiento será mucho más reducida.

#### **e. Plasticidad**

Las arcillas son eminentemente plásticas. Esta propiedad se debe a que el agua forma una envuelta sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas.

La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia, nuevamente, de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento.

Generalmente, esta plasticidad puede ser cuantificada mediante la determinación de los índices de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de Retracción). Estos límites marcan una separación arbitraria entre los cuatro estados o modos de comportamiento de un suelo sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso (Jiménez, et al., 1975).

La relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla. Existe una gran variación entre los límites de Atterberg de diferentes minerales de la arcilla, e incluso para un mismo mineral arcilloso, en función del catión de cambio. En gran parte, esta variación se debe a la diferencia en el tamaño de partícula y al grado de perfección del cristal. En general, cuanto más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástico es el material.

#### **f. Tixotropía**

La tixotropía se define como el fenómeno consistente en la pérdida de resistencia de un coloide, al amasarlo, y su posterior recuperación con el tiempo. Las arcillas tixotrópicas cuando son amasadas se convierten en un verdadero líquido. Si, a continuación, se las deja en reposo recuperan la cohesión, así como el comportamiento sólido. Para que una arcilla tixotrópica muestre este especial comportamiento deberá poseer un contenido en agua próximo a su límite líquido. Por el contrario, en torno a su límite plástico no existe posibilidad de comportamiento tixotrópico. (García *et al.*, 2001)

#### **2.4.3. Bentonita**

La bentonita, es un tipo de arcilla del grupo de las esmectitas. Los depósitos de bentonita se encuentran en forma de capas o cuerpos lenticulares intercalados con lutitas y areniscas lacustres y marinas, cuyas capas varían desde centímetros hasta metros.

Las bentonitas pueden ser de diversos colores, desde el blanco hasta el gris, amarillo, verde, azul y negro; sin embargo, en los afloramientos el color amarillo o verde amarillento es el más frecuente, y que se debe a la acción del intemperismo. Frecuentemente tienen características de apariencia cerosa y jabonosa.

La bentonita está compuesta principalmente de montmorillonita (no menor del 85 por ciento) la cual procede de cenizas volcánicas, en forma de láminas muy finas con un diámetro rara vez mayor de 0,05 micrones; así mismo por otros minerales arcillosos como la beidellita, illita y caolinita (estos dos últimos entre el 5 al 10 por ciento del total), cristobalita en menor proporción, a veces zeolitas, micas, feldespatos, cuarzo, piroxenos, zircón, atapulgita, sepiolita, calcita, y en general minerales pertenecientes a rocas ígneas y minerales dentríticos (Delgado,1990).

La montmorillonita es una arcilla del grupo de las esmectitas, del tipo 2:1, es decir conformada por dos capas tetraédricas de silicio entre una capa octaédrica de aluminio. Los tetraedros están unidos unos a otros compartiendo los oxígenos situados en sus vértices y sus bases están en el mismo plano para formar una red hexagonal.

Es frecuente encontrar sustituciones isomórficas de magnesio y de hierro por el aluminio en la capa octaédrica, y del aluminio por el silicio de la capa tetraédrica, suministrando de este modo una carga neta negativa. Esta carga es compensada por la atracción de cationes de cambio y el agua de hidratación, que se ubican entre las láminas. Los cationes de cambio más comunes son:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ti}^{4+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ , entre otros.

### Clasificación de las Bentonitas

Entre los tipos de bentonitas, las más comerciales son:

#### 1) Bentonita Tipo WYOMING (Bentonita Sódica).

El ion sodio es permutable, cuya característica más destacada es su excepcional afinidad por el agua, caracterizada por su alta capacidad de hinchamiento en su estructura (Swelling), pudiendo aumentar hasta 15-25 veces su volumen y 30-50 veces su peso, formando una masa plástica, gelatinosa y deslizante, de apariencia de jabón blando. Su propiedad es de formar suspensiones coloidales en agua. Esta arcilla es ampliamente utilizada para los lodos de perforación de los pozos de petróleo. La bentonita sódica se conoce en el mercado mundial con los nombres de acuagel, macogel, quickgel y barroco, entre otros.

#### 2) Bentonita Tipo MISSISSIPI (bentonita cálcica).

El ión permutable en este caso es el  $\text{Ca(II)}$ , es llamado también sub-bentonitas, presenta una baja hinchabilidad, pero adquieren la propiedad de decolorar muchos tipos de aceites, grasas, u otros líquidos en su estado natural compitiendo con las tierras Fuller.

Perú cuenta con varios yacimientos de bentonita, ubicados en la zona central (Junín), norte (Piura) y sur (Ica) del país. En su composición mineralógica asocia pequeñas porciones de cuarzo, algo de biotita y óxidos de hierro dispersos en la masa (DELGADO, 1990).

Desde hace más de un año, se viene trabajando en el Perú en la preparación de materiales adsorbentes a partir de arcillas peruanas del tipo bentonita, las cuales después de un proceso de activación termo-ácido y de apilaramiento con aluminio y circonio, se vienen probando en la adsorción de metales, y en particular del cromo de los efluentes residuales de una curtiembre.

Dichas arcillas bentoníticas han sido denominadas:

- MONT A, a la bentonita de apariencia granular y de coloración blanco humo, procedente de yacimientos ubicados en el departamento de Piura;
- MONT B, a la bentonita de apariencia pulvurenta y coloración ocre claro, proporcionada por la Compañía Agregados Calcáreos y procedente de yacimientos ubicados en la ciudad de Huancayo.

#### **2.4.4. Cal**

Se utiliza la cal para la estabilización de los suelos finos arcillosos sobre todo en montmorilloníticos a partir de contenidos de un 4 a 10 por ciento. La resistencia a la compresión de la tierra estabilizada con cal puede ser fácilmente multiplicada por 4 o 5. La utilización de la cal permite el empleo de tierras en el momento de abstracción con alto contenido de agua. Al agregar productos con propiedades puzolánicas se confiere cierta hidráulica a la cal emitiendo fácilmente un aumento sensible a la resistencia mecánica, sobre todo para masas poco aireadas. Las cales fabricadas con ciertos contenidos de arcilla y a mayor temperatura adquieren también propiedades hidráulicas.

En cuanto a su endurecimiento el exceso de agua utilizado en el amasado de la pasta es sustituido por CO<sub>2</sub>, contenido en la atmósfera pasando de nuevo del estado hidróxido a carbonato cálcico y cerrando el ciclo iniciado en su obtención. Este proceso de carbonatación por contacto con el aire es un proceso lento. Las cales en general son productos muy plásticos, capaces de absorber grandes tensiones y deformaciones sin disminuir su capacidad resistente.

### **2.4.5. Cemento**

Es una sustancia de polvo fino hecha de argamasa de yeso capaz de formar una pasta blanda al mezclarse con el agua y que se endurece espontáneamente en contacto con el aire. Los cementos pertenecen a la clase de materiales denominados aglomerantes en construcción, como la cal aérea y el yeso (no hidráulico), el cemento endurece rápidamente y alcanza resistencias altas; esto gracias a reacciones complicadas de la combinación cal – sílice (Jiménez et al., 2006)

#### **a. Cemento portland**

Según la Norma Técnica Peruana, el cemento Pórtland es un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del Clinker compuesto esencialmente por silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas sulfato de calcio como adición durante la molienda, Es decir:

$$\text{Cemento Pórtland} = \text{Clinker Pórtland} + \text{Yeso}$$

El Clinker Pórtland es un producto semiacabado de forma de piedras negruzcas de tamaños de 3/4” aproximadamente, obtenido de la calcinación de una mezcla de materiales calcáreos y arcillosos en proporciones convenientes, hasta llegar a una fusión incipiente (Clinkerización) a 1450 °C. Está compuesto químicamente por Silicatos de calcio, aluminatos de calcio, ferroaluminatos de calcio y otros en pequeñas cantidades, los cuales se forman por la combinación del Óxido de Calcio (CaO) con los otros óxidos: dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>), óxido de aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y óxido férrico (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

El Clinker Pórtland se enfría rápidamente y se almacena en canchas al aire libre.

El cemento Pórtland es un polvo muy fino de color verdoso. Al mezclarlo con agua forma una masa (pasta) muy plástica y moldeable que luego de fraguar y endurecer, adquiere gran resistencia y durabilidad (Jiménez et al., 2006).

#### **b. Tipos de cemento portland:**

Tipo I: normal es el cemento Pórtland destinado a obras de concreto en general, cuando en las mismas no se especifica la utilización de otro tipo (edificios, estructuras industriales, conjuntos habitacionales). Libera más calor de hidratación que otros tipos de cemento.

Tipo II: de moderada resistencia a los sulfatos, es el cemento Pórtland destinado a obras de concreto en general y obras expuestas a la acción moderada de sulfatos o donde se requiera moderado calor de hidratación, cuando así sea especificado (puentes, tuberías de concreto).

Tipo III: Alta resistencia inicial, como cuando se necesita que la estructura de concreto reciba carga lo antes posible o cuando es necesario desencofrar a los pocos días del vaciado.

Tipo IV: Se requiere bajo calor de hidratación en que no deben producirse dilataciones durante el fraguado.

Tipo V: Usado donde se requiera una elevada resistencia a la acción concentrada de los sulfatos (canales, alcantarillas, obras portuarias).

#### TIPOS DE CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO:

-Pórtland Puzolánico tipo IP: Donde la adición de puzolana es del 15 –40 por ciento del total.

-Pórtland Puzolánico tipo I(PM): Donde la adición de puzolana es menos del 15 por ciento

-Pórtland Puzolánico tipo P: Donde la adición de puzolana es más del 40 por ciento

#### **2.4.6. Ceniza Volcánica**

La ceniza volcánica se compone de fragmentos de roca pulverizada, minerales y vidrio volcánico, creadas durante las erupciones volcánicas, de menos de 2 mm de diámetro. La ceniza volcánica término también se utiliza a menudo libremente para referirse a todos los productos Erupción de explosivos, incluyendo partículas mayores de 2 mm. La ceniza volcánica se forma durante las erupciones volcánicas explosivas cuando los gases disueltos en el magma se expanden y se escapan violentamente a la atmósfera. La fuerza del gas que se escapa rompe el magma y lo propulsa a la atmósfera donde se solidifica en fragmentos de roca volcánica y vidrio. Ceniza también se produce cuando el magma entra en contacto con el agua durante las erupciones freatomagmáticas, haciendo que el agua se evapore explosivamente al vapor de agua que conduce a la rotura de un magma. Una vez en el aire, la ceniza es transportada por el viento hasta miles de kilómetros de distancia.

### **a. Propiedades Químicas**

Los tipos de minerales presentes en la ceniza volcánica dependen de la química del magma que entró en erupción. Teniendo en cuenta que los elementos más abundantes que se encuentran en el magma son la sílice y el oxígeno, los diversos tipos de magma producidos durante las erupciones volcánicas se explican más comúnmente en términos de su contenido de sílice. Las erupciones de baja energía de basalto producen una ceniza de color oscuro característico que contiene de 45 - 55 por ciento sílice que generalmente es rica en hierro y magnesio. Las erupciones más explosivas riolita producen una ceniza felsic que es alta en sílice, mientras que otros tipos de cenizas con una composición intermedia tienen un contenido de sílice entre 55 - 69 por ciento.

Durante mucho tiempo se ha reconocido que una gama de compuestos de sulfato y haluro se movilizan fácilmente a partir de ceniza volcánica fresca. Se considera más probable que estas sales se formen como consecuencia de la disolución ácida rápida de las partículas de ceniza dentro de penachos de erupciones que se piensa suministrar los cationes que participan en la deposición de sales de sulfato y haluro.

Mientras que algunas especies iónicas se han sido reportados en la ceniza fresca lixiviados las especies más abundantes encontrados generalmente son los cationes  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  y los aniones  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ . Las relaciones molares entre los iones presentes en los lixiviados sugieren que, en muchos casos, estos elementos están presentes en forma de sales simples, tales como  $\text{NaCl}$  y  $\text{CaSO}_4$ . En un experimento de lixiviación secuencial en la ceniza de la erupción del Monte St. Helens 1980, se encontró que las sales de cloruro son el más fácilmente soluble, seguido de sales de sulfato, compuestos de flúor son, en general, sólo escasamente soluble, con la excepción de las sales de fluoruro de metales alcalinos y compuestos tales como hexafluorosilicato de calcio. El pH de los lixiviados de cenizas frescas es muy variable, dependiendo de la presencia de un gas ácido condensado en la superficie de la ceniza.

La estructura cristalina sólida de las sales le permite actuar más como un aislante de un conductor. Sin embargo, una vez que las sales se disuelven en una solución por una fuente de humedad, la ceniza puede ser corrosiva y eléctricamente conductora. Un estudio reciente ha demostrado que la conductividad eléctrica de la ceniza volcánica aumenta con el aumento de contenido en humedad, aumentar el contenido de sal soluble, y el aumento

de la compactación. La capacidad de las cenizas volcánicas para conducir la corriente eléctrica tiene importantes implicaciones para los sistemas de suministro de energía eléctrica.

#### **b. Componentes**

Partículas de cenizas volcánicas durante la erupción erupciones magmáticas se componen de diversas fracciones de partículas vítricas, cristalinos o lítica. Cenizas producidas durante las erupciones magmáticas de baja viscosidad producir una gama de diferentes piroclastos dependientes en el proceso eruptivo. Por ejemplo, la ceniza obtenida de fuentes de lava de Hawai se compone de piroclastos sideromelane que contienen microlitos raros y fenocristales. Erupciones poco más viscosas de forma basalto de una variedad de piroclastos de gotitas sideromelane irregulares a los bloques tachylite. En contraste, la mayoría de ceniza de alta sílice comprende productos pulverizados de piedra pómez, fenocristales individuales y algunos fragmentos líticos.

Ceniza generada durante las erupciones freáticas se compone principalmente de alteración hidrotermal fragmentos líticos y minerales, normalmente en una matriz de arcilla. Superficies de las partículas se recubren a menudo con agregados de cristales de zeolita o arcilla y sólo relicto texturas permanecen para identificar los tipos piroclasta.

#### **c. Densidad**

La densidad de las partículas individuales varía con diferentes las erupciones. La densidad de la ceniza volcánica es variable; entre 700-1200 Kg/m<sup>3</sup> de piedra pómez, 2350-2450 kg/m<sup>3</sup> que fragmentos de vidrio, 2700-3300 Kg/m<sup>3</sup> de cristales, y desde 2600 hasta 3200 Kg/m<sup>3</sup> de partículas líticas. Desde grueso y partículas más densas se depositan cerca de la fuente, de vidrio fino y fragmentos de piedra pómez son relativamente enriquecidos en depósitos de caída de ceniza en las localizaciones distales. La alta densidad y dureza, junto con un alto grado de angularidad, hacen que algunos tipos de ceniza volcánica muy abrasivo.

#### **2.4.7. Tiza**

La tiza es un polvo fino color blanco, ligeramente crema compuesto por carbonato de calcio de alta pureza 99 por ciento. Fabricada por un proceso de micronizado, se presenta

en estado de polvo fino. Se descompone a 825 C°. Es soluble al agua. La tiza posee diversas aplicaciones industriales, tanto por sus propiedades químicas que determinan su uso como fuente de CaCO<sub>3</sub>, como por sus propiedades físicas (color brillo, compactación, resistencia mecánica) que determinan su uso como cargas absorbentes y blanqueadores y como materiales pétreos para construcción. El carbonato de calcio, el principal componente de la piedra caliza, es muy utilizada para neutralizar la acidez del suelo y suministrar calcio (Ca) para la nutrición de las plantas. La piedra caliza es una roca sedimentaria común que se encuentra ampliamente distribuida en depósitos geológicos. Se ha utilizado a lo largo de la historia como material de construcción, como agente de cementación, y en la agricultura para mejorar los suelos ácidos

La granulometría de la cal agrícola es importante en la determinación de la rapidez con que reacciona con la acidez del suelo. La piedra caliza de tamaño de partícula más pequeña reacciona rápidamente ya que posee más superficie expuesta para la reacción química. Las partículas más grandes son más lentas en reaccionar, pero constituyen una fuente sostenida, a largo plazo, de neutralización de la acidez. La cal agrícola es más soluble en suelos ácidos que en suelos neutros o alcalinos. La presencia de CaCO<sub>3</sub> en el suelo es detectada por la efervescencia que se produce cuando se aplica una gota de ácido fuerte.

El carbonato de calcio se caracteriza por las siguientes propiedades:

- Alta pureza, lo que deja de lado cualquier efecto catalítico adverso en el envejecimiento de los polímeros
- Alto grado de blancura
- Bajo índice de refracción, permitiendo tonos pastel y blancos
- Baja abrasividad, mejorando el tiempo de vida de las máquinas y equipos
- Buena dispersabilidad (particularmente en los grados recubiertos)
- Bajo costo.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. GENERALIDADES**

El desarrollo de la presente investigación se llevó a cabo en el laboratorio de suelos y concretos de la Universidad Católica de Santa María en la ciudad de Arequipa, dicha investigación contó con tres etapas: la etapa preliminar I y II, y la etapa definitiva.

En las etapas preliminares, a través de ensayos realizados en el laboratorio de suelos y concreto mediante la técnica de ensayo y error, se determinó la composición óptima de la masa para fabricar ladrillos en base a los valores obtenidos en la prueba de resistencia a la compresión de cada muestra.

En la etapa definitiva, con los resultados obtenidos en las etapas preliminares se seleccionó la composición adecuada y se agregaron variables en el proceso de tratamiento de tierras diatomeas agotadas aplicando dos métodos: tratamiento térmico y tratamiento con ácido clorhídrico.

La muestra con mejores resultados de resistencia a la compresión fue analizada totalmente (variación de las dimensiones, densidad, módulo de rotura, absorción máxima, coeficiente de saturación) para corroborar las características técnicas que permitieron su clasificación como ladrillo de construcción, comparándola luego con la Norma E 070.

##### **3.1.1. Problema de Investigación**

En el proceso de filtración en la industria cervecera se obtiene un lodo residual de tierras diatomeas agotadas, el cual resulta ser un problema ambiental debido a su contenido de levaduras, proteínas y microorganismos con el riesgo de producir gérmenes patógenos en el ambiente. Para dar solución a este problema ¿Será posible reutilizar este lodo compuesto por tierras diatomeas como subproducto para elaborar ladrillos u otro tipo de material cerámico sin ser sometido al horneado como el ladrillo convencional cocido?

### **3.1.2. Hipótesis**

Las tierras diatomeas agotadas obtenidas en el proceso de filtración de la cerveza pueden ser reutilizadas para la elaboración de materiales de construcción, ya que está compuesta en su mayor parte por sílice y con la adición de otros materiales se puede formar una masa óptima capaz de cumplir con las especificaciones técnicas para ladrillo de construcción.

## **3.2. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN**

### **3.2.1. Etapa Preliminar**

Esta etapa se subdivide en dos sub etapas denominadas: etapa preliminar I y etapa preliminar II, que se detallarán líneas abajo, cuyas variables de operación son:

#### **Variable Dependiente: Característica técnica para ladrillo de construcción**

- Resistencia a la Compresión: define el nivel de la calidad estructural, el nivel de resistencia a la intemperie o a cualquier otra causa de deterioro.

#### **Variable Independiente: Diferentes mezclas que serán probadas en esta investigación**

- M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13, M14, M15, M16, M17.

#### **Variables Intervinientes**

- Tiempo de secado, temperatura, humedad.

#### **a. Etapa Preliminar I**

En esta etapa se probó con diferentes composiciones de mezcla utilizando distintos materiales para analizar su resistencia a la compresión, seleccionándose solo aquellas que tuvieron un mejor resultado.

En la Cuadro 9 solo se presenta la formulación de nueve composiciones que obtuvieron mejores resultados de todo el universo de pruebas preliminares realizadas a nivel de laboratorio.

**Cuadro 9: Formulación de las mezclas- Etapa Preliminar I**

MATERIA PRIMA	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Diatomea	13	15	24	28	17	22	20	13	15
Ceniza	10	12	14	22	13	16	4	10	12
Cal Apagada	6	19	24	12	7	9	25	22	19
Tiza	-	-	-	-	-	-	12	13	13
Bentonita	26	30	12	22	32	-	-	-	-
Cemento	-	-	-	-	-	6	-	-	-
Agua	45	24	26	16	31	47	39	42	41

Estas mezclas se prepararon según el procedimiento descrito en el 5.5.1 y fueron sometidas al ensayo de resistencia a la compresión cuyo procedimiento se encuentra descrito en el Anexo I ítem 1.2. Los resultados se muestran en el capítulo VI. Análisis e interpretación de resultados, Cuadro 13.

#### b. Etapa Preliminar II

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos de la Etapa Preliminar I, se procedió a seleccionar solo aquellos materiales que tuvieron mejores performances, por lo que se eliminó el uso del cemento y tiza para la conformación de la mezcla. Se desarrolló una nueva composición teniendo en cuenta valores constantes de cal apagada al 19 por ciento, bentonita al 30 por ciento y agua al 24 por ciento debido al mejor rendimiento en las pruebas de la etapa preliminar I. Las tierras diatomeas se fueron incrementando de manera consecutiva en 2 por ciento para cada muestra. Ver Cuadro 10, formulación de mezclas, etapa preliminar II.

**Cuadro 10: Formulación de las mezclas - Etapa preliminar II**

MATERIA PRIMA	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17
	%	%	%	%	%	%	%	%
Diatomea	10	12	14	16	18	20	22	24
Ceniza	17	15	13	11	9	7	5	3
Cal Apagada	19	19	19	19	19	19	19	19
Bentonita	30	30	30	30	30	30	30	30
Agua	24	24	24	24	24	24	24	24

Se evaluó la resistencia a la compresión de las ocho mezclas de la etapa preliminar II, los resultados se muestran en el Cuadro 15 del Capítulo VI.

### **3.2.2. Etapa Definitiva**

En el proceso de tratamiento de la tierra diatomea agotada a la mezcla seleccionada se le sometió a dos tipos de tratamiento: tratamiento térmico y tratamiento con ácido clorhídrico, con el fin de eliminar la carga bacteriana de la materia en estudio y así obtener un proceso de producción óptimo para la fabricación de los ladrillos. Cabe resaltar que se seleccionó el tratamiento que obtuvo la mayor resistencia a la compresión.

#### **Variable Dependiente: Característica técnica para ladrillo de construcción**

- Resistencia a la compresión: define el nivel de la calidad estructural, el nivel de resistencia a la intemperie o a cualquier otra causa de deterioro.

#### **Variable Independiente: Tratamiento de la muestra**

- Tratamiento térmico y lavado con HCl

#### **Variables Intervinientes**

- Tiempo de secado, temperatura, humedad.

### **3.2.3. Evaluación de la Mezcla Óptima**

La mezcla óptima fue sometida a los siguientes ensayos en laboratorio: resistencia a la compresión, variación de las dimensiones, densidad, módulo de rotura, absorción de agua, absorción máxima y coeficiente de saturación. Los resultados se compararon con la Tabla de Requisitos para ladrillos de la NORMA TÉCNICA E.070 y NTP 331.017 – 2003, logrando de este modo su clasificación.

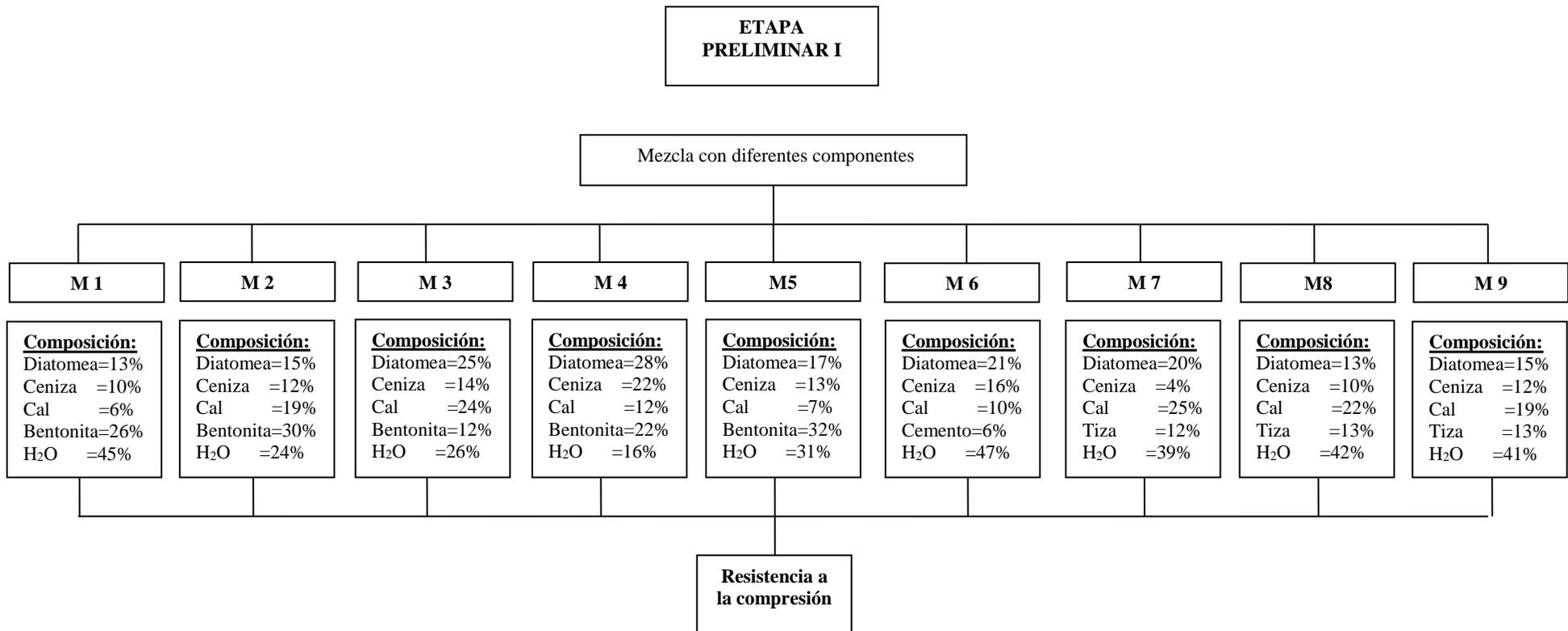
- Resistencia a la compresión: Comprende el nivel de la calidad estructural, el nivel de resistencia a la intemperie o a cualquier otra causa de deterioro
- Variación de las dimensiones: Es el porcentaje de variación de todas las dimensiones
- Densidad: Se ha determinado que existe una relación estrecha entre la densidad de los ladrillos y sus otras propiedades. A mayor densidad mejores propiedades de resistencia y de perfección geométrica.

- Módulo de rotura: Es una medida aproximada de la resistencia a la tracción del ladrillo
- Absorción máxima: Es considerada como una medida de su impermeabilidad. Los valores indicados como máximos en la Norma se aplican a condiciones de uso en que se requiera utilizar el ladrillo en contacto constante con agua.
- Coeficiente de saturación: Es considerado como una medida de la durabilidad del ladrillo cuando se encuentra sometido a la acción de la intemperie

### **3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL**

#### **3.3.1. Algoritmos de la Experimentación**

##### ***a. Etapa Preliminar***



**Figura 3: Algoritmo del experimento - Etapa Preliminar I**

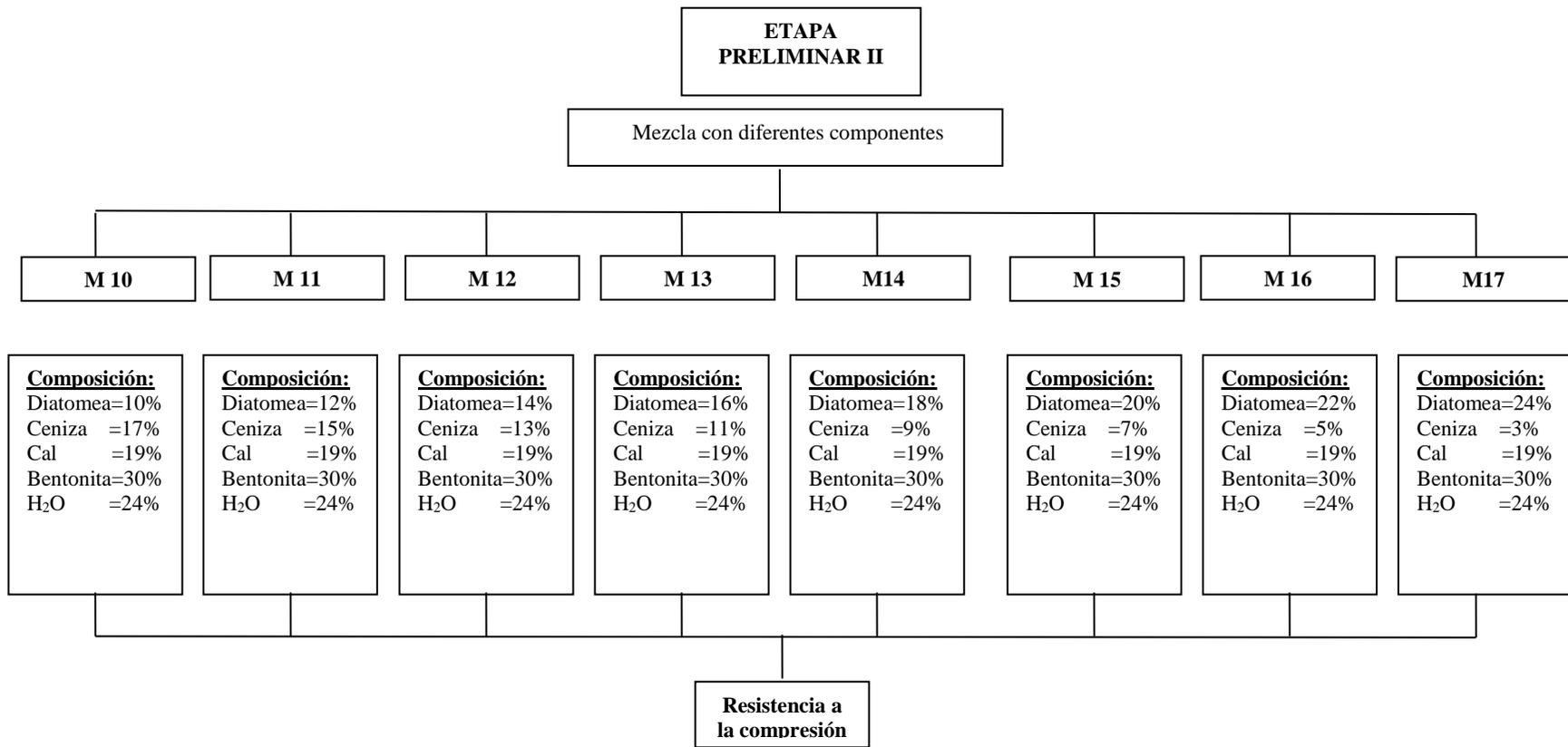
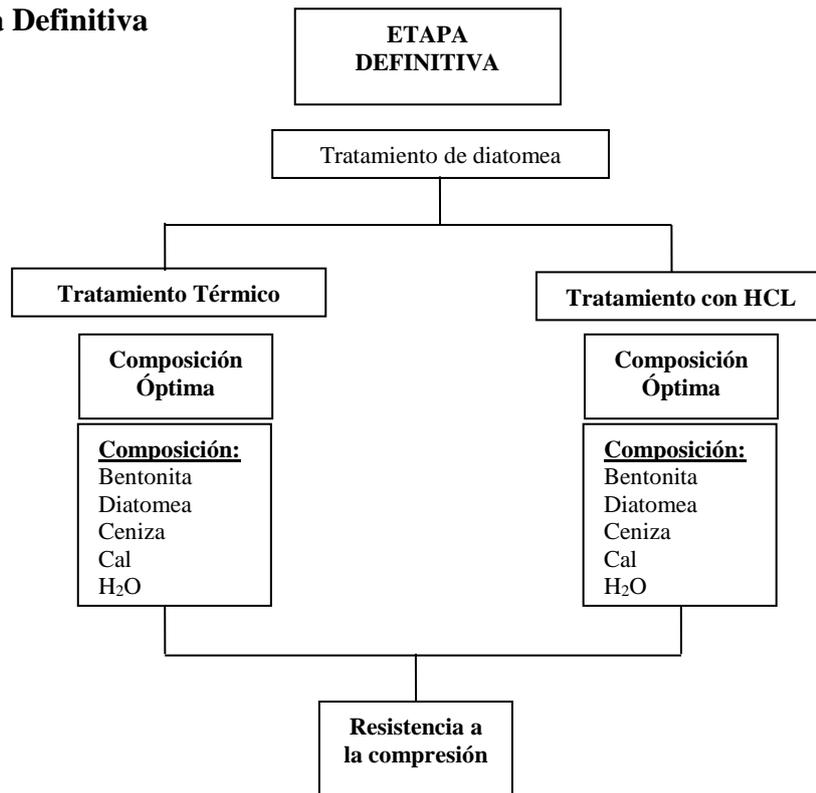


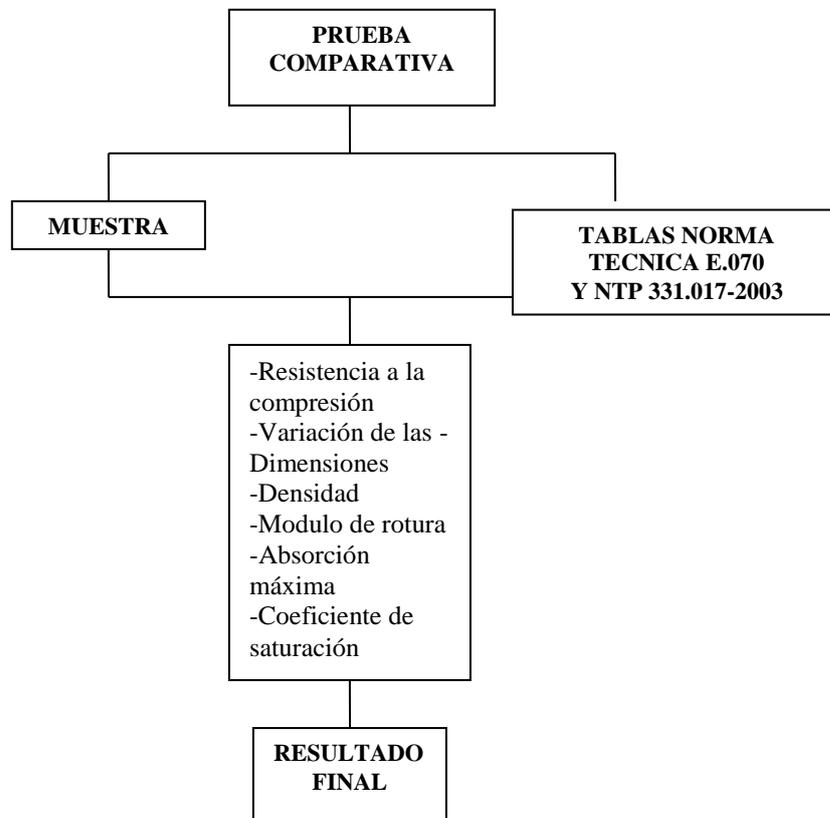
Figura 4: Algoritmo del experimento - Etapa Preliminar II

**b. Etapa Definitiva**



**Figura 5. Algoritmo del experimento - Etapa Definitiva**

**c. Pruebas de Ensayo**



**Figura 6: Algoritmo de la investigación**

### 3.4. MATERIALES

#### 3.4.1. Materiales para la Conformación de la Unidad de Albañilería

Las tierras diatomeas agotadas del proceso de filtración en la producción de cerveza no son una materia prima de fácil accesibilidad por ello no se cuenta con estudios de investigación o documentación específica acerca de su reutilización para la fabricación de materiales de construcción; por lo que uno de los objetivos de la presente investigación fue formar composiciones aleatorias con diferentes materiales para la elaboración de ladrillos de construcción.

Se realizó una revisión bibliográfica para la selección de los materiales a ser utilizados como materia prima para la fabricación de los ladrillos ecológicos a base de tierras diatomeas agotadas, dentro de los cuales se seleccionaron los siguientes materiales: **ceniza volcánica, hidróxido de cal, bentonita, tiza y cemento** (su descripción se encuentra detallada en el ítem 4.4).

Las proporciones utilizadas fueron halladas mediante la técnica ensayo y error, estas mezclas fueron sometidas a la prueba de laboratorio de resistencia a la compresión con el fin de obtener una fórmula final óptima.

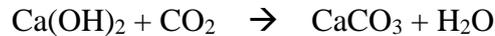
Los materiales fueron seleccionados debido a que su composición es ideal para el desarrollo del material cerámico por sus propiedades plásticas y porque se asemeja mucho a las utilizadas por los artesanos que elaboran este tipo de materiales en la zona.

Para la selección de dichos materiales se tomó en cuenta que los materiales sílicos o silicios y aluminosos como las tierras diatomeas agotadas, por si solos, tienen muy poco o ningún valor cementante; sin embargo, finamente divididas y ante la presencia de humedad, reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a la temperatura ambiente para formar compuestos que poseen propiedades cementantes.

El hidróxido de calcio mezclado con agua y arena en proporciones adecuadas forman argamasas de consistencia más o menos plásticas, las cuales por reacción del hidróxido de calcio con el gas carbónico presente en la atmósfera reconstituyen el carbonato original, cuyos cristales se endurecen lentamente, exigiendo una cierta porosidad que permite por un

lado la evaporación de agua en exceso y, por otro, la penetración del gas carbónico de la atmósfera.

#### Endurecimiento de la cal



Debido a la baja plasticidad de las tierras diatomeas es que se ha considerado la utilización de materiales plásticos ligantes como la bentonita.

Con el fin de poder desarrollar las composiciones adecuadas fue indispensable conocer la composición de las muestras de diatomea residual y ceniza puesto que los otros materiales cuentan con composición definida; se enviaron las muestras de diatomea y ceniza al laboratorio de espectrometría de La Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica para la realización del Análisis de Fases Componentes por difracción de Rayos, para este análisis las muestras fueron irradiadas con rayos x monocromáticos provenientes de un anticátodo de cobre, con filtro de níquel, obteniéndose difractogramas para cada muestra, en el cual se identificaron las fases componentes y se determinó su abundancia, cuyos resultados se muestran en el Cuadro 11 y Cuadro 12.

#### Tierras Diatomeas

Corresponde a un material de granulometría fina constituida principalmente por sílice amorfa como ópalo y otras formas de sílice como cuarzo y cristobalita.

**Cuadro 11: Composición de las tierras diatomeas agotadas utilizadas en la presente investigación**

Mineral	Fórmula	%
Ópalo	SiO <sub>2</sub> .x H <sub>2</sub> O	97,7
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	1,2
Cristobalita	SiO <sub>2</sub>	1,1

Fuente: Resultado de análisis de muestra en el laboratorio de espectrometría de la Universidad Nacional de Ingeniería

#### Ceniza Volcánica

Corresponde a un material granular constituido por abundante plagioclasas, actinolita y cuarzo en menor proporción micas biotita y muscovita.

**Cuadro 12: Composición de la Ceniza utilizada en la presente investigación**

Mineral	Fórmula	%
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	6,2
Plagioclasas	(Na,Ca)AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	67,2
Actinolita	Ca <sub>2</sub> (Mg,Fe) <sub>5</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>	19,4
Biotita	KMg <sub>3</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	5,8
Muscovita	KAl <sub>12</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH,F) <sub>2</sub>	1,4

**Fuente: Resultado de análisis de muestra en el laboratorio de espectrometría de la Universidad Nacional de Ingeniería**

En cuanto a la composición de los siguientes materiales: hidróxido de cal, bentonita, tiza y cemento se encuentran en las hojas técnicas respectivas adjuntas en el Anexo IV, ya que todos ellos son productos comerciales mientras que la ceniza proviene de la cantera de Añashuayco y la diatomea de la industria cervecera.

### 3.5 MÉTODOS

#### 3.5.1 Método de elaboración de ladrillos

El proceso productivo de la elaboración de ladrillos está constituido por las siguientes etapas:



**Figura 7: Diagrama de Bloques del Proceso para elaboración de ladrillos**

## **Descripción de los Métodos Utilizados en el Proceso:**

### **A. Tratamiento de diatomeas agotadas**

- Las tierras diatomeas fueron decantadas evitando en lo posible la salida de los finos.
- Para la eliminación del exceso de humedad y principalmente de las levaduras, fueron sometidas a un proceso de secado, a una temperatura promedio de 100°C por 60 minutos, considerando el volumen a secar. Ya que las levaduras resisten según otros ensayos hasta 66°C en las mejores condiciones un máximo de 130 s en volumen de 50 ml.

### **B. Dosificación y pesado de los materiales**

- Se realizó el pesado por medio de la utilización de una balanza analítica digital con una precisión de 0,1 g.
- Luego se procedió a determinar y registrar la masa del contenedor limpio y seco.
- Se seleccionó los materiales de granulometría fina que conforman cada muestra según los porcentajes de los materiales que conformaran cada espécimen, las cuales se encuentran indicadas en los Cuadros 9 y 10.
- Se colocó el contenedor debidamente centrado para evitar oscilaciones en la medida y con la ayuda de una espátula se inició el pesado de los materiales.
- Se determinó el peso de los materiales de acuerdo a su composición y se procedió al registro de valor.

### **C. Mezclado y Amasado**

- La preparación de la masa se hizo bajo cubierta.
- Los materiales tuvieron una fina granulometría para asegurar mayor superficie de contacto.
- Una vez obtenidos los materiales pesados con las formulaciones de los Cuadros 9 y 10 para cada muestra, se procedió a realizar la mezcla de los componentes hasta que la masa se encuentre bien homogenizada, se añadió agua destilada con la ayuda de una probeta con la cantidad requerida según su formulación

hasta obtener una pasta de consistencia moldeable y que no se pegue en las manos.

- La etapa de la homogeneización de la masa es primordial, el tiempo de mezclado fue de 6 min aprox. Luego se dejó reposar la masa de 15 a 30 min.
- Una vez homogenizada la masa se procedió al moldeo.

Nota:

La verificación de la humedad puede ser hecha, con razonable precisión de la siguiente manera práctica:

a) coger una poco de la mezcla y apretar enérgicamente entre los dedos y la palma de la mano; al abrir, la mezcla deberá tener la marca dejada por los dedos;

b) dejando la mezcla caer de una altura cerca de 1 metro, sobre una superficie dura, ella deberá pulverizarse al chocarse con la superficie, si eso no ocurriera, la mezcla estará muy húmeda.

#### **D. Moldeo del ladrillo**

- La etapa de moldeo es la parte primordial de todo el proceso ya que de ello dependerá la estética final de cada muestra, para ello se utilizó moldes de metal especialmente diseñados para la obtención de muestras cubicas de 5\*5\*5 cm de diámetro interno, el molde está diseñado para poder elaborar 5 muestras cubicas, de manera que se pudiera obtener un mínimo de 3 muestras aptas para cada formulación.
- Se procedió a aceitar toda la superficie del molde metálico utilizando aceite de cocina para evitar que los ladrillos se adhieran a las paredes al momento de secarse.
- Se colocó manualmente la mezcla homogenizada en el molde asegurándose que no queden espacios vacíos y se cubra correctamente el espacio de cada ladrillo. Quitando los excesos con una espátula. Repitiendo el proceso para cada concentración.
- La manipulación de los ladrillos formados se hizo con cuidado, tomando el ladrillo con las 2 manos para no dañar las aristas.

## **E. Secado**

- Para que el ladrillo tenga una mayor resistencia y sea menos poroso es importante que el secado sea lento
- Los ladrillos fueron colocados en la sombra (en un ambiente húmedo) durante 72 horas aproximadamente.
- Los ladrillos fueron mantenidos húmedos a través de un regador.
- Luego de las 72 horas se desmoldaron los ladrillos, y se pusieron sobre una bandeja metálica para ser llevadas al horno a una temperatura entre 70 a 115°C por tiempo aproximado de 60 min.

### **3.5.2 Procedimiento en las Etapas Preliminares**

Las Etapas preliminares se subdividieron en dos partes, ambas siguieron los mismos métodos de elaboración de ladrillos descritos en el 5.5.1, pero en la **Etapa Preliminar I** el objetivo fue hallar la composición óptima utilizando una mezcla cuyos componentes fijos fueron: diatomea, cal apagada, ceniza volcánica y agua y los componentes variables tiza, cemento o bentonita; de modo que el que obtuvo la mayor resistencia fue el material seleccionado para realizar nuevas formulaciones. En la **Etapa Preliminar II** se trabajó con el material seleccionado en la etapa preliminar I variando la proporción adicionada de las tierras diatomeas. Se realizaron 3 repeticiones por espécimen, para cada prueba de ensayo.

### **3.5.3 Procedimiento en la Etapa Definitiva**

Para las pruebas definitivas se compararon dos tratamientos en el proceso de tratamiento de la tierra diatomea: uno térmico y otro con ácido clorhídrico (HCl). Es decir, la única variación se hará en la primera parte del proceso que corresponde a la etapa de tratamiento de las tierras diatomeas, siendo el método de preparación del ladrillo el que se encuentra en la Figura 7 y se describe con mayor detalle en el ítem 5.5.1.

Los métodos de tratamiento a los que fueron sometidos son:

#### **Tratamiento Térmico**

- Las tierras diatomeas fueron decantadas evitando en lo posible la salida de los finos.

- Para la eliminación del exceso de humedad y principalmente de las levaduras, fueron sometidas a un proceso de secado, a una temperatura promedio de 100°C por 60 minutos, considerando el volumen a secar.

#### **Tratamiento con HCl**

- Las tierras diatomeas fueron decantadas evitando en lo posible la salida de los finos.
- Para la eliminación del exceso de humedad fueron expuestas al sol, por periodos prolongados de 2 días, alternando la tierra en ese tiempo, luego se mezcló con una solución de HCl para la eliminación de las levaduras.

### **3.5.4 Evaluación de la Mezcla Óptima**

Para esta etapa, tanto la composición de los ladrillos como el método de tratamiento de las tierras diatomeas agotadas ya se encuentran definidas, por lo que el método de preparación de los ladrillos es el mismo detallado en el ítem 5.5.1.

En la etapa de ensayos en el laboratorio además de los ensayos de Resistencia a la compresión se realizaron: variación de dimensiones, densidad, módulo de rotura, absorción, absorción máxima, y coeficiente de saturación cuyos resultados fueron comparados con los valores de la Tabla de Requisitos para ladrillos de la NORMA TÉCNICA E.070 y NTP 331.017 – 2003, lográndose así su clasificación.

Los métodos de ensayo realizados en esta etapa se detallan en el Anexo I.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 ETAPA PRELIMINAR I

Los resultados del ensayo de resistencia a la compresión para cada formulación (descrita en el Cuadro 9) se muestran en el siguiente cuadro:

**Cuadro 13: Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión  
Etapa Preliminar I**

MUESTRA	R1 (kg/cm <sup>2</sup> )	R2 (kg/cm <sup>2</sup> )	R3 (kg/cm <sup>2</sup> )	PROMEDIO (kg/cm <sup>2</sup> )	DESVIACIÓN ESTANDAR	COEF. DE VARIACIÓN
M1	12.54	12.94	13.31	12.93	0.39	2.98
M2	20.17	21.30	19.18	20.22	1.06	5.25
M3	1.53	1.45	1.78	1.59	0.17	10.85
M4	1.97	2.37	2.02	2.12	0.22	10.28
M5	7.66	8.32	7.51	7.83	0.43	5.50
M6	1.14	1.91	1.50	1.52	0.39	25.40
M7	11.00	13.20	11.03	11.74	1.26	10.74
M8	13.50	12.18	11.12	12.27	1.19	9.72
M9	6.66	7.30	6.21	6.72	0.55	8.15

Los resultados de resistencia obtenidos para las diferentes formulaciones en la **ETAPA PRELIMINAR I** muestran valores a la compresión simple muy dispersos (Cuadro 13). La muestra M2 alcanza la mayor resistencia promedio de 20,22 Kg/cm<sup>2</sup> y una desviación estándar de 1,06. Las siguientes muestras con mayor promedio son M1, M8 y M7 con cargas aproximadas de 12.93 Kg/cm<sup>2</sup>, 12.27 Kg/cm<sup>2</sup> y 11.74 Kg/cm<sup>2</sup> y una desviación estándar de 0.39, 1.19 y 1.26.

Estos resultados permiten la agrupación de las muestras en forma descendente teniendo en cuenta la cercanía de sus valores de manera significativa. De acuerdo a este procedimiento se han conformado cuatro grupos: que indicamos a continuación: Grupo 1 con M2, Grupo 2 con M1, M7 y M8, Grupo 3 con M5 y M9 y Grupo 4 con M4, M3 y M6, cabe destacar que en estos grupos se cuantifican las diferencias significativas de cargas; es decir, entre el grupo 1 y grupo 2 hay una diferencia promedio de resistencia a la compresión de  $7.91 \text{ Kg/cm}^2$ , entre el segundo y tercer grupo la diferencia es de  $5.04 \text{ Kg/cm}^2$ ; finalmente, la diferencia entre el tercer grupo y el cuarto grupo es de  $5.52 \text{ Kg/cm}^2$  (Ver cuadro 14).

**Cuadro 14: Cuadro Comparativo de Resistencias Promedio a la Compresión Simple**

**Etapa Preliminar I**

	M2	M1	M8	M7	M5	M9	M4	M3	M6
Componente	G - 1	G - 2			G - 3		G - 4		
<b>Resis. Prom. (Kg/cm2)</b>	<b>20.22</b>	<b>12.93</b>	<b>12.27</b>	<b>11.74</b>	<b>7.83</b>	<b>6.72</b>	<b>2.12</b>	<b>1.59</b>	<b>1.52</b>
<b>Desviación Estandar</b>	<b>1.06</b>	<b>0.39</b>	<b>1.19</b>	<b>1.76</b>	<b>0.43</b>	<b>0.55</b>	<b>0.22</b>	<b>0.17</b>	<b>0.39</b>
Diatomea (%)	15	13	13	20	17	15	28	24	21
Ceniza (%)	12	10	10	4	13	12	22	14	16
Cal hidratada (%)	19	6	22	25	7	19	12	24	10
Bentonita (%)	30	26	--	--	32	--	22	12	--
Cemento (%)									6
Tiza (%)			13	12		13			

Con esta clasificación se puede deducir que la formulación que contiene bentonita en un 30% es la que ofrece mayor resistencia a la compresión, mientras que la que contiene cemento al parecer tiene un comportamiento antagónico puesto que la resistencia obtenida es muy baja, por lo que se considera a la muestra M2 como patrón para la siguiente etapa debido a que cumple con la Norma E 0.70 Albañilería. Esta norma señala que el valor mínimo de resistencia característica de compresión axial de las unidades de albañilería es de  $20 \text{ Kg/cm}^2$  ó  $2.0 \text{ MPa}$  que corresponde al Bloque NP (bloque usado en la construcción de muros no portantes).

Para una mejor comprensión de los resultados se analiza el comportamiento de cada uno de los componentes para las diferentes formulaciones planteadas en la preparación de la mezcla para la fabricación del ladrillo, detallado a continuación.

La diatomea, como componente base para la elaboración de las muestras, está compuesta químicamente en su mayoría por dióxido de silicio que le proporciona una alta capacidad de absorción; de tal manera, que al reaccionar con los otros componentes le otorga cohesión y plasticidad a la mezcla del espécimen. Sin embargo, las formulaciones planteadas muestran que en porcentajes bajos la resistencia del bloque se va incrementando hasta llegar a un límite del 15% que corresponde a la muestra M2, por encima de este valor baja considerablemente su resistencia. Probablemente esta particularidad se deba a que es un producto reutilizado proveniente del proceso de filtración de la cerveza, donde sus propiedades antes mencionadas ya se han colmatado. Por esta razón, parece que su máximo rendimiento se obtiene hasta un 15% en la mezcla, es decir, por encima de este valor la resistencia cae.

En cuanto a las cenizas volcánicas, se puede apreciar en el Cuadro 13 que su adición en las dosificaciones no tiene influencia relevante en la resistencia de los bloques, este material podría estar comportándose como un árido estéril para las diferentes formulaciones, esta particularidad podría deberse a su composición química. Se observa también que a mayor porcentaje de ceniza en la mezcla la resistencia es menor. La proporción normal de arena en un ladrillo debe ser entre el 50% a 60% ya que en su composición química el  $\text{SiO}_2$  es el mayor componente. Por lo que al parecer el aporte de la ceniza en la mezcla completa el contenido necesario de sílice en el espécimen otorgándole, además, cohesión a la mezcla. Como se aprecia en el Cuadro 14, en la preparación de las pastas donde se utiliza la bentonita, la ceniza volcánica presenta porcentajes bajos en sus mezclas (M2 y M1 con mayor resistencia), esta característica posiblemente se deba a que la bentonita aporta el  $\text{SiO}_2$  entre el 60% de su composición química. Probablemente, si la bentonita estaría presente en todos de las muestras en una proporción correcta los valores de resistencia aumentarían.

Respecto a la cal hidratada se resalta su poder aglutinante como una de sus principales propiedades; así mismo, este componente puede utilizarse como elemento cohesivo en

la elaboración de las muestras. Los porcentajes diseñados en las diferentes muestras presentan resultados muy dispersos, demostrando que no hay un efecto notorio en la muestra, se puede apreciar que la muestra M2 con mayor resistencia obtenida contiene el 19% que representa el porcentaje medio de cal en relación a los valores extremos como el de la muestra M1 con 6% de cal con el menor porcentaje y el de la muestra M7 con 25% que corresponde al mayor porcentaje de cal hidratada con resistencias menores a la muestra M2.

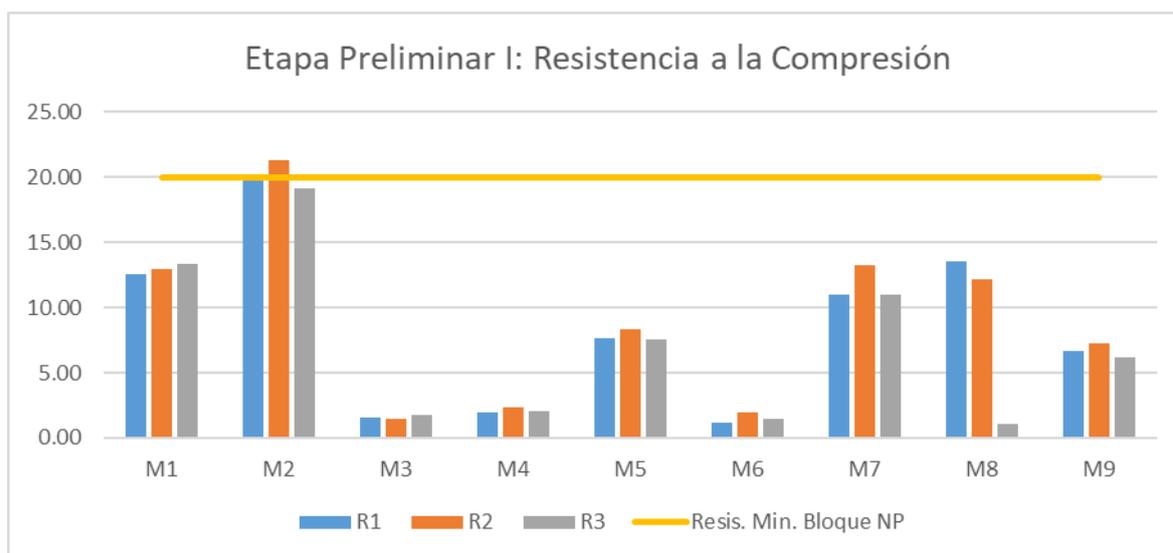
La bentonita presenta características óptimas para la fabricación de materiales de construcción y agregados por su elevada superficie específica, gran capacidad de hinchamiento, buena plasticidad, lubricidad, alta impermeabilidad y baja compresibilidad. En cuanto a su presencia como componente en de las muestras M1, M2, M3, M4 y M5 se encuentra en porcentajes altos; la muestra M2 con el 30% representa el porcentaje óptimo para la preparación de la mezcla para la fabricación de ladrillos ya que logró la resistencia más alta. La bentonita por ser una arcilla le atribuye a las muestras propiedades anteriormente destacadas; si se utiliza tierra diatomea natural (no agotada) su porcentaje como componente se reduciría aumentando probablemente su resistividad debido a que resaltaría las propiedades de la diatomea. Así mismo, en su composición química posee alúmina que, junto al sílice le debe proporcionar algunas propiedades como resistencia al ataque de otros químicos, mejora su punto de fusión de los demás elementos evitando fundición a temperaturas menores de 2072°C.

El cemento es utilizado como material aglutinante, cuenta con propiedades de adherencia y cohesión y permite la unión de fragmentos minerales entre sí formando un todo compacto; sin embargo, a pesar de las características descritas anteriormente no se ha logrado obtener el efecto esperado en la presente formulación, la resistencia conseguida de 1.52 Kg/cm<sup>2</sup> viene a ser la más baja en esta etapa. El cemento como componente en combinación con la cal debería producir una alta resistencia; sin embargo, su adición no tiene relevancia en la resistencia y esto probablemente se deba al contenido de materia orgánica de la diatomea agotada que atribuye un comportamiento antagónico reduciendo su resistencia; de alguna forma la materia orgánica presente estaría evitando la formación de los cristales (que le confieren la

alta resistencia) que se forman al agregar agua al cemento, o simplemente sería un efecto de reactividad química de los componentes de la mezcla.

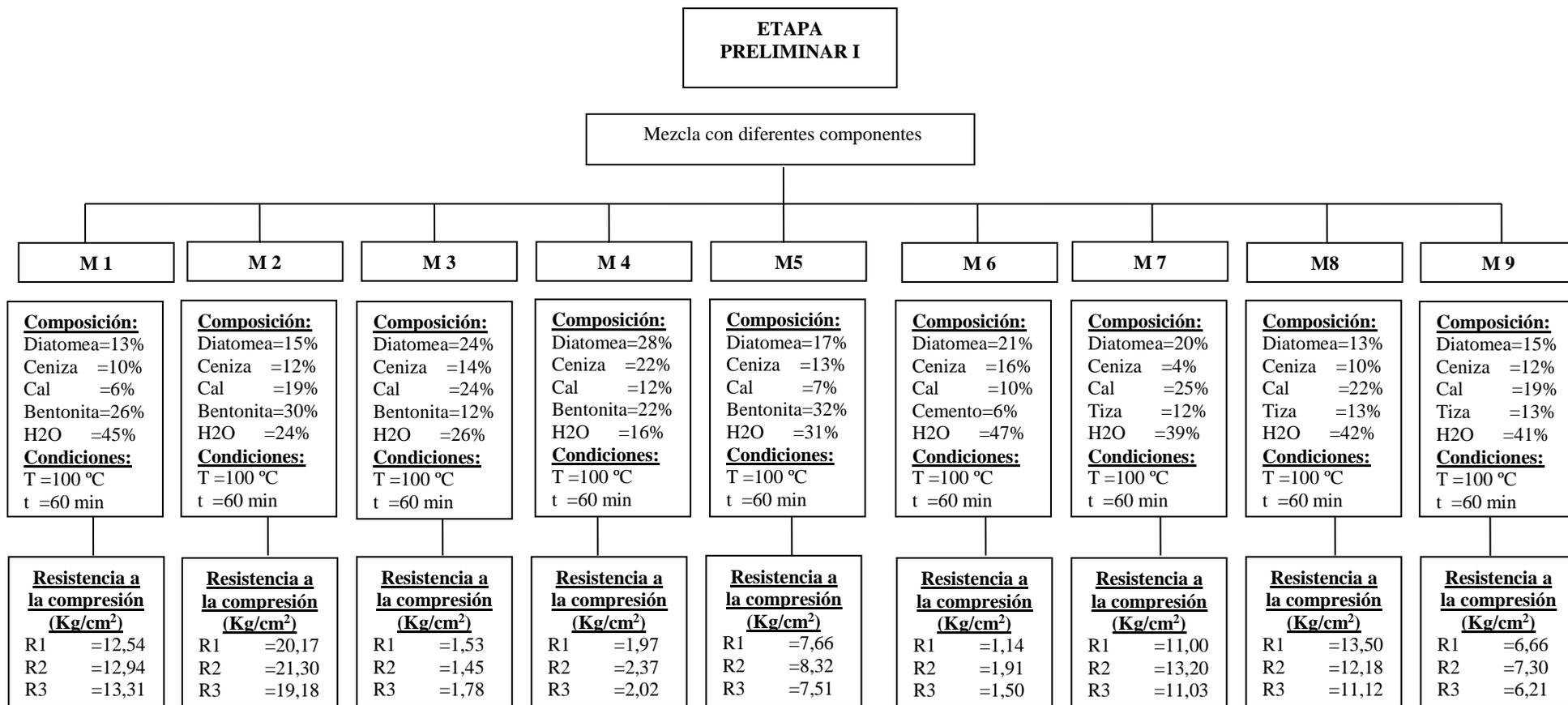
En las formulaciones para las muestras M7, M8 y M9 donde se ha utilizado la tiza o carbonato de calcio como sustituto de la bentonita los resultados de sus resistencias son inferiores a la muestra M2, apreciándose que la adición máxima total de cal dentro de cada formulación llega a un límite de 35% obteniéndose una resistencia de  $12,27\text{Kg/cm}^2$ , por encima de ese porcentaje pierde cohesión, la cal presente en las muestras elaborados estaría siendo aportada por la cal hidratada, además del carbonato de calcio.

Cabe resaltar que en el presente trabajo se están utilizando algunos materiales no convencionales en la formulación de las diferentes mezclas para la fabricación de ladrillos. Actualmente, en el ámbito local no existen estudios previos para ser tomados como punto de partida, por este motivo no ha sido posible proyectarnos a una determinada resistencia, se han probado formulaciones al tanteo para lograr una resistencia que se encuentre dentro de los parámetros permisibles de la Norma E 0.70 Albañilería.



**Figura 8: Grafico de resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de la Etapa Preliminar I.**

En resumen, como se aprecia en la Figura 8, el espécimen M2 es el único que supera el valor mínimo de la prueba resistencia característica de compresión, especificada en la Norma E 0.70 cuya clasificación corresponde al Bloque NP (bloque usado en la construcción de muros no portantes) con un valor de 20,22 Kg/cm<sup>2</sup>. Por lo que se determinó que la muestra M2 es la composición óptima de materiales para la conformación de ladrillo a base de las tierras diatomeas agotadas, siendo una mezcla hallada por ensayo error que comprende un 15 por ciento de tierra diatomea agotada, 30 por ciento de bentonita, 19 por ciento de cal, 24 por ciento de agua y 12 por ciento de ceniza. Esta mezcla fue elegida como base para el inicio de la etapa preliminar II.



**Figura 9: Resultados de Resistencia a la compresión de la Etapa Preliminar I**

## 4.2 ETAPA PRELIMINAR II

En la Etapa Preliminar II las muestras (cuya formulación se encuentra detallada en el Cuadro 10) fueron sometidos al ensayo de resistencia a la compresión, cuyos resultados se muestran en la Cuadro 15.

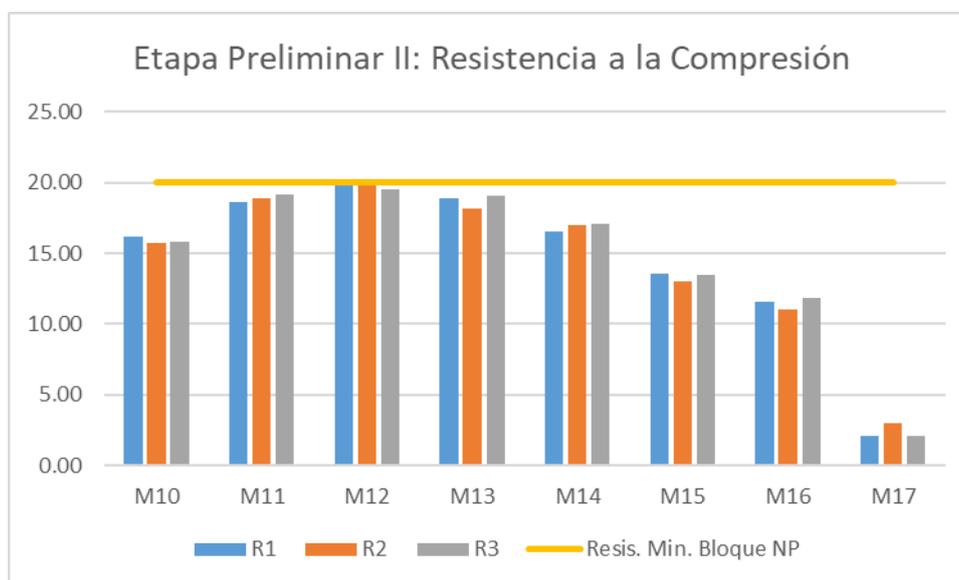
**Cuadro 15: Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión  
Etapa Preliminar II**

MUESTRA	R1 (kg/cm <sup>2</sup> )	R2 (kg/cm <sup>2</sup> )	R3 (kg/cm <sup>2</sup> )	PROMEDIO (kg/cm <sup>2</sup> )	DESVIACIÓN ESTANDAR	COEF. DE VARIACIÓN
M10	16.21	15.68	15.84	15.91	0.27	1.71
M11	18.59	18.85	19.14	18.86	0.28	1.46
M12	19.84	20.12	19.54	19.83	0.29	1.46
M13	18.85	18.14	19.04	18.68	0.47	2.54
M14	16.54	16.98	17.12	16.88	0.30	1.79
M15	13.54	12.98	13.46	13.33	0.30	2.27
M16	11.57	11.05	11.88	11.50	0.42	3.65
M17	2.04	3.01	2.05	2.37	0.56	23.54

En esta etapa se determinó el efecto que causa la adición del porcentaje de tierra diatomea agotada sobre la formulación base obtenida en la etapa preliminar I; es decir, se evaluó el comportamiento de la muestra frente a la adición de 2% de diatomea en cada espécimen, iniciando con un 10% hasta 24%, lo que da como resultado una curva de crecimiento que va en aumento hasta llegar a un tope máximo de 14% con una resistencia promedio de 19.83 Kg/cm<sup>2</sup> para luego ir decreciendo hasta una resistencia de 2.37 Kg/cm<sup>2</sup>. Esto quiere decir que aproximadamente el espécimen está llegando a un 45% de contenido sílice en su composición antes de presentar una disminución en la compacidad de la unidad, ya que cuando se tiene sílice en exceso (para ladrillos convencionales entre 50 a 60%) se pierde cohesión y homogeneidad.

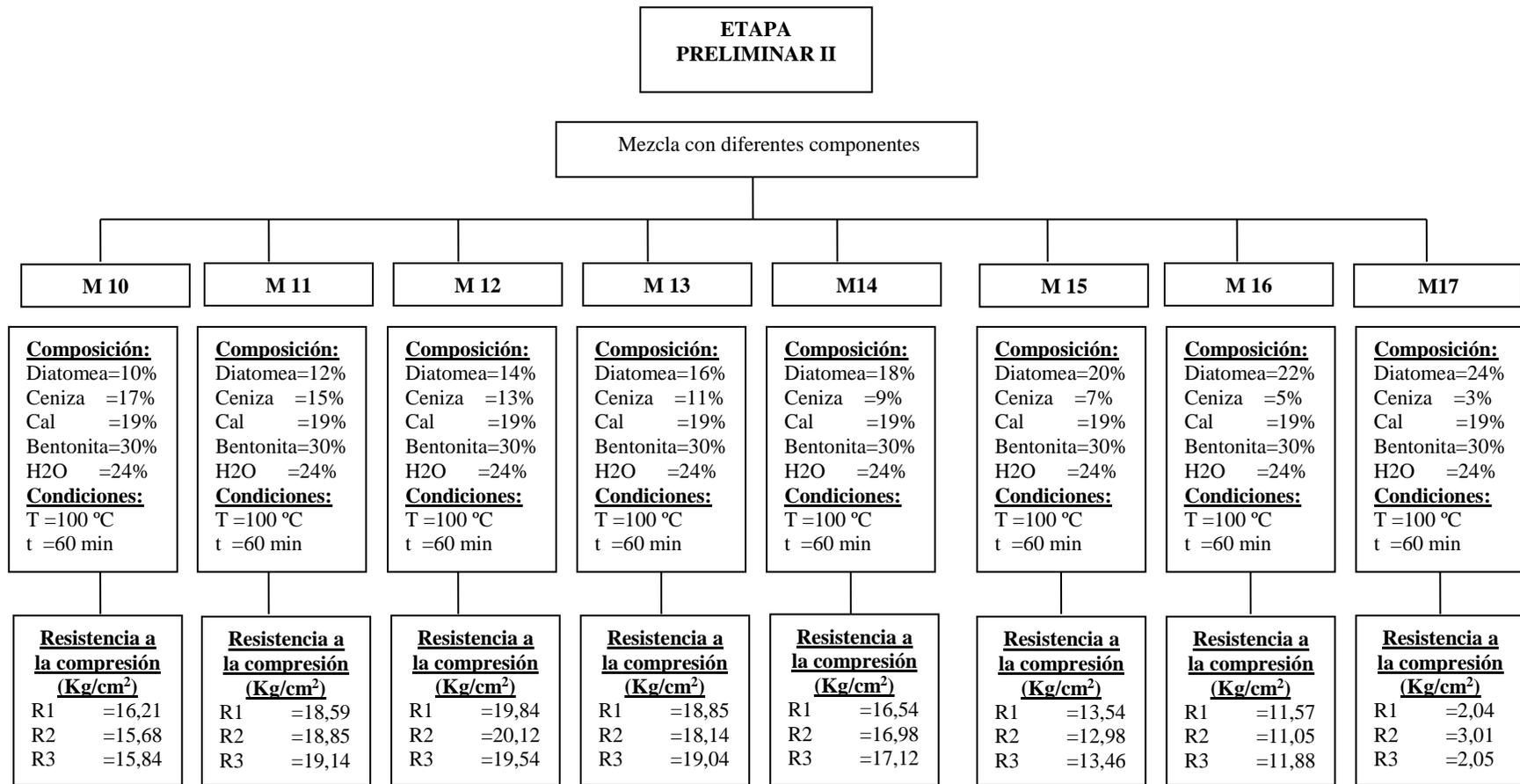
Según los resultados mostrados en el Cuadro 15, la resistencia a la compresión más alta se obtiene con la formulación M12 que contiene 14 por ciento de tierras diatomeas agotadas, 13 por ciento de ceniza volcánica, 19 por ciento de cal apagada, 30 por ciento de

bentonita y 24 por ciento de H<sub>2</sub>O. Dicha muestra ofrece una resistencia máxima promedio de 19,83 Kg/cm<sup>2</sup> con una desviación estándar de 0.29. Así mismo, podemos observar en el Cuadro 15 que los valores del coeficiente de variación son menores al 23.5 por ciento, lo cual indica una baja variabilidad en los resultados.



**Figura 10: Gráfico de resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de la Etapa Preliminar II.**

Con estos resultados se aprecia que si agregamos más de 15% de diatomea en la formulación la curva de crecimiento para la resistencia a la compresión empieza a disminuir, por lo que se concluye que la formulación óptima sigue siendo la encontrada en la etapa preliminar I correspondiente a la muestra M2 ya que se obtiene una resistencia promedio de 20,22 Kg/cm<sup>2</sup> superando la resistencia mínima para ser clasificada como bloque NP según la Norma E 0.70. Esta composición se utilizó en la etapa definitiva de la investigación.



**Figura 11: Resultados de Resistencia a la compresión de la Etapa Preliminar II**

Así mismo, en la etapa preliminar II, se aplicó el diseño completamente aleatorizado (DCA) que se encuentra desarrollado en el Anexo II inciso 2.3, el que permite determinar si existe una diferencia o no entre las mezclas utilizadas para la elaboración de las muestras. En este resultado se observa una gran dispersión de los datos, lo que indica que sí hay diferencia entre las resistencias de los ladrillos debido a la variación del porcentaje de diatomeas. Sin embargo, es necesario determinar si esta variación es estadísticamente significativa, para lo cual se plantea la prueba de hipótesis.

$$H_0: M_{10}=M_{11}=M_{12}=M_{13}=M_{14}=M_{15}=M_{16}=M_{17}$$

$H_1$ : Al menos una prueba es diferente.

Obteniéndose el Cuadro 16 de análisis de la varianza (ANOVA).

**Cuadro 16: ANOVA de la variación del porcentaje de diatomeas**

FUENTE	SS	SS	g:l	MS	Fc	Ft(0,05;4;10)	Ho
TRATAMIENTO	Sstrat	15.5000	7	2.2143	57.0631	0,9997	Rechazada
ERROR	SSE	0.6209	16	0.0388			
TOTAL	Sstot	16.1209	23				

De acuerdo al resultado obtenido se rechaza la hipótesis nula porque  $F_c \gg F_t$ . Es decir, existe una diferencia entre las muestras.

Habiéndose determinado que sí hay diferencia estadísticamente significativa entre los valores de la resistencia del producto, se elaboró una función que relaciona el efecto del porcentaje de diatomeas sobre la resistencia del ladrillo mediante un análisis de regresión.

Este análisis estadístico se encuentra desarrollado en el Anexo II ítem 2.4, donde se obtiene un modelo de segundo grado según la siguiente ecuación:

$$Y = -0.177x^2 + 5.108x - 17.30$$

$$R^2 = 0.971$$

El valor obtenido para el coeficiente de determinación  $R^2$  indica que el modelo considera el 97.1 por ciento de la variabilidad de los datos, por lo que se puede afirmar que el ajuste es confiable.

Al hacer el ploteo se observa que se obtiene una mejor resistencia a la compresión cuando se utiliza 15% de tierra diatomea agotada. Según se muestra en la Figura 4 del Anexo II.

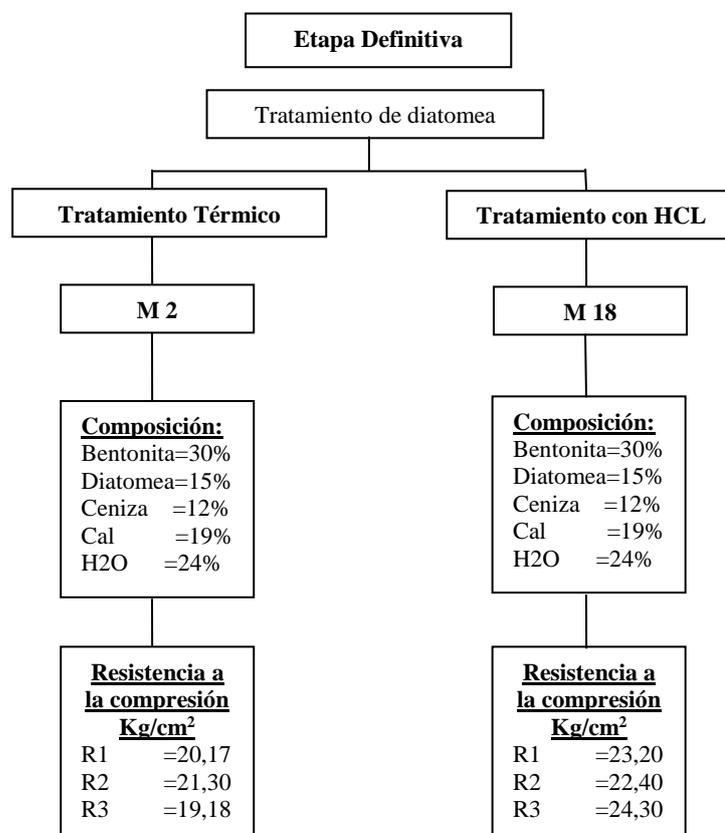
### 4.3 ETAPA DEFINITIVA

Los resultados de resistencia a la compresión para los dos tratamientos: térmico y con HCl, (procedimiento descrito en el ítem 5.5.1) son los siguientes:

**Cuadro 17: Resistencia a la compresión Etapa Definitiva**

MUESTRA	TIPO DE TRATAMIENTO	R1 (kg/cm <sup>2</sup> )	R2 (kg/cm <sup>2</sup> )	R3 (kg/cm <sup>2</sup> )	PROMEDIO (kg/cm <sup>2</sup> )
M2	TRATAMIENTO TERMICO	20.17	21.30	19.18	20.22
M18	TRATAMIENTO CON HCL	23.20	22.40	24.30	23.30

Se observa que la muestra sometida al tratamiento con ácido clorhídrico tiene mayor resistencia a la compresión con un valor promedio de 23.30kg/cm<sup>2</sup> y con una desviación estándar de 0.95, por lo que se determinó utilizar este tratamiento en todas las pruebas para la evaluación de la mezcla óptima. Este resultado podría deberse a que a menor pH las tierras diatomeas suelen tener mejor capacidad de absorción o de colmatación.



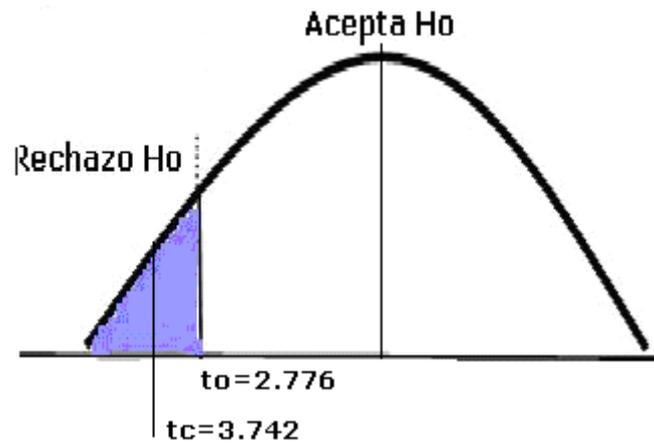
**Figura 12: Algoritmo del experimento – Etapa Definitiva**

Una vez que fue determinada la función de variación y la cantidad en la que resulta más adecuado agregar la diatomea, se evaluó el efecto del tratamiento sobre la diatomea, probándose los tratamientos con HCl y con calor para la muestra seleccionada. Para lo cual se aplicó una prueba t- student utilizando los datos del Cuadro 17.

**Cuadro 18: Resultados de Resistencia a la compresión para cada tratamiento**

MUESTRA	TIPO DE TRATAMIENTO	R1 (kg/cm2)	R2 (kg/cm2)	R3 (kg/cm2)	PROMEDIO (kg/cm2)	DESVIACIÓN ESTANDAR	COEF. DE VARIACIÓN %
M2	TRAT. TERMICO	20.17	21.30	19.18	20.22	1.06	5.25
M18	TRAT. CON HCL	23.20	22.40	24.30	23.30	0.95	4.09

Obteniéndose el siguiente resultado:



**Figura 13: Ubicación de  $t_c$  en modelo de distribución t-student**

El valor de  $t_c$  cae en la zona de rechazo, por lo tanto,  $H_0$  no es cierta. Resultado que permite afirmar, con un 95 por ciento de confianza, que existe diferencia significativa, es decir, el tratamiento previo con ácido clorhídrico mejora los resultados en la resistencia del ladrillo.

#### **4.4 EVALUACIÓN DE LA MEZCLA ÓPTIMA**

##### **4.4.1 Variación de Dimensiones y Alabeo**

Se calculó la variación de dimensiones con la siguiente fórmula obteniéndose los resultados del Cuadro 20:

$$V = \frac{DE - MP}{DE} * 100$$

Donde:

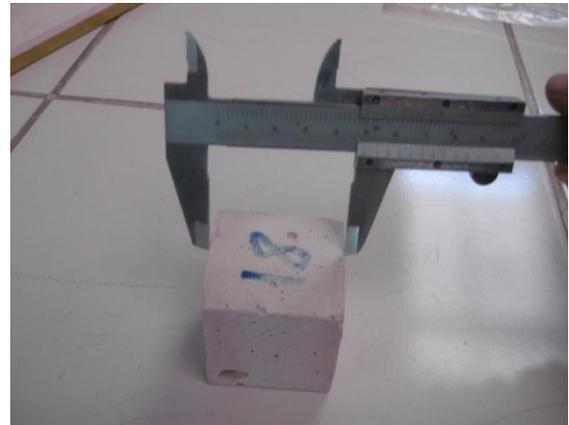
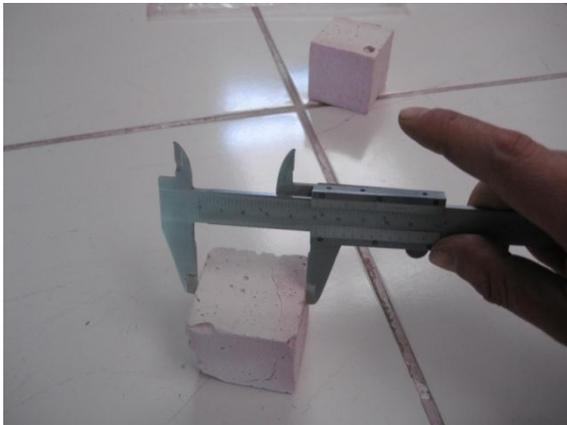
V: Variación de la dimensión en porcentaje

DE: Dimensión especificada en milímetros

MP: Medida promedio en cada dimensión en milímetros

**Cuadro 19: Dimensiones de las muestras de la mezcla óptima en cm**

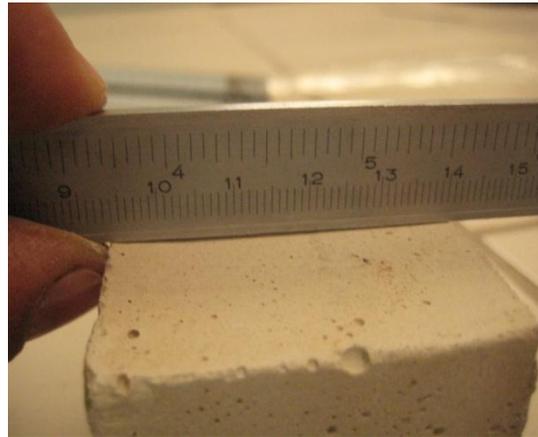
Muestra	LARGO	ANCHO	ALTO
1	4.80	4.80	4.72
2	4.90	4.75	4.75
3	4.90	4.80	4.74
4	4.75	4.90	4.78
5	4.80	4.80	4.80
<b>Promedio</b>	4.83	4.81	4.76
<b>V%</b>	3.40	3.80	4.84



La prueba de alabeo solo se mide en superficies de muestras cóncavas

**Cuadro 20: Resultados de alabeo de las muestras de la mezcla óptima**

Muestra	SUPERIOR mm	INFERIOR mm
1	1.00	0.00
2	0.00	0.25
3	0.50	0.50
4	0.75	0.30
5	0.10	0.25
<b>Promedio</b>	0.47	0.26



#### 4.4.2 Resistencia a la Compresión

Para el cálculo de la resistencia a la compresión se utilizó la siguiente ecuación, cuyos resultados podemos observar en el Cuadro 22:

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

Donde:

C: Es la resistencia del ladrillo en Kg /cm<sup>2</sup>.

W: Es la carga de rotura aplicada, indicada por la máquina en Kg.

A: Es el promedio de las áreas brutas superior e inferior del espécimen en cm<sup>2</sup>.

**Cuadro 21: Resultados de Resistencia a la compresión de la muestra óptima**

Muestra	Diamet. (cm)	Área	W	C
1	4.8	18.1	420	23.2
2	4.83	18.29	410	22.4
3	4.85	18.49	450	24.3
<b>Promedio</b>				23.3



#### 4.4.3 Densidad

**Cuadro 22: Resultados de densidad de las muestras de la mezcla óptima**

Muestra	P.S.S.S (g)	P.S. (g)	P.H.	DENS. g/cm <sup>3</sup>
			(g)	
1	169.65	63.41	116.03	0.498
2	164.46	61.58	113.02	0.5
3	159.46	55.52	107.35	0.499
<b>Promedio</b>				0.499



#### 4.4.4 Módulo de Ruptura

El módulo de ruptura no procede en esta muestraG. A continuación, se presentan las cargas aplicadas:

**Cuadro 23: Resultados de módulo de rotura de las muestras de la mezcla óptima**

Muestra	Diámetro(cm)	Área	Kg F.	S kg/cm2
1	4.84	18.39	18	1.00
2	4.78	17.91	21	1.20
3	4.89	18.78	13	0.70
<b>Promedio</b>				0.967



#### 4.4.5 Absorción

Tiempo de saturación 24 horas, horno a 110°.

**Cuadro 24: Resultados de absorción de las muestras de la mezcla óptima**

Muestra	Ws (g)	Wd (g)	A %
1	164.46	114.82	43.23
2	159.32	112.62	41.47
3	161.19	112.98	42.67
<b>Promedio</b>	161.66	113.47	42.46

$$A = \frac{W_s - W_d}{W_d} * 100$$

Donde:

A: Es el contenido de agua absorbida en porcentaje

Wd: Es la masa del espécimen seco en gramos

Ws: Es la masa del espécimen saturado luego de 24 h de inmersión en agua fría en gramos.



#### 4.4.6 Absorción Máxima

Tiempo de ebullición 5 horas, horno a 110°.

**Cuadro 25: Resultados de absorción máxima de las muestras de la mezcla óptima**

Muestra	Wb (g)	Wd (g)	Amax %
1	169.65	116.03	46.21
2	161.93	111.76	44.89
3	165.46	113.27	46.08
<b>Promedio</b>	165.68	113.69	45.73

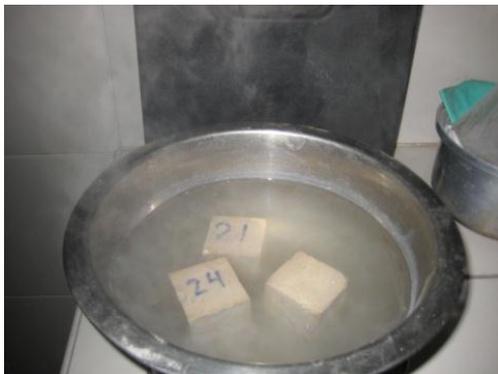
$$A_{\max} \% = \frac{Wb - Wd}{Wd} * 100$$

Donde:

$A_{\max} \%$ : Es el contenido de agua absorbida, en porcentaje

$Wd$  : Es la masa del espécimen seco en gramos

$Wb$  : Es la masa del espécimen saturado luego de 5 horas de ebullición en gramos.



#### **4.4.7 Coeficiente de Saturación**

$$\text{Coeficiente de saturación} = \frac{161,66-113,58}{165,68-113,58}$$

$$\text{Coeficiente de saturación} = 0,92$$

$$\text{Coeficiente de saturación} = \frac{W_{s2}-W_d}{W_{b5}-W_d}$$

Donde:

Wd: Es la masa del espécimen seco en gramos

Ws2: Es la masa del espécimen saturado luego de 24 h de inmersión en agua fría en gramos.

Wb5: es la masa del espécimen saturado luego de 5 horas de ebullición en gramos.

#### **4.5 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN FRENTE A LA NORMA E 0.70**

##### **a. Tabla de Requisitos para ladrillos de la Norma Técnica E. 070**

Haciendo una comparación de los resultados obtenidos en la investigación con los requisitos de la Norma E.070 se observa que la unidad de albañilería propuesta en el presente trabajo tiene una resistencia característica a compresión promedio de 23,3 Kg/cm<sup>2</sup>, que la ubica en la clase BLOQUE NP. Así mismo, el ladrillo presenta un resultado promedio en la característica de variación de dimensiones de 4.01% y en alabeo con un resultado promedio de 0.37 mm ambos valores se pueden ubicar en la clasificación de Bloque NP tal como se puede apreciar en el Cuadro 27 de la Norma E 0.70 que se muestra a continuación:

**Cuadro 26: Clase de unidad de albañilería para fines estructurales**

<b>TABLA 1 CLASE DE UNIDAD DE ALBAÑILERIA PARA FINES ESTRUCTURALES</b>					
CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSION (máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN $f_b$ mínimo en MPa (kg/cm <sup>2</sup> ) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4,9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6,9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9,3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12,7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17,6 (180)
Bloque P <sup>(1)</sup>	± 4	± 3	± 2	4	4,9 (50)
Bloque NP <sup>(2)</sup>	± 7	± 6	± 4	8	2,0 (20)

(1) Bloque usado en la construcción de muros portantes

(2) Bloque usado en la construcción de muros no portantes

FUENTE: Norma E.070

Por otro lado, en cuanto a los requisitos complementarios descritos en la norma NTP399.617-2003, las unidades estructurales se encuentran clasificadas dentro de la unidad de albañilería tipo 14 y 10 ya que los resultados obtenidos en cuanto a la “Absorción Máxima” en la presente investigación es de 45.73 por ciento y el coeficiente de saturación obtenido es de 0,92.

**Cuadro 27: Requisitos Complementarios NTP 399.613**

**TABLA 3 - Requisitos complementarios**

Tipo □	Absorción de agua, mediante 5 h de ebullición, máx., %		Coeficiente de saturación, máx. <sup>A</sup> □	
	Promedio de 5 ladrillos	Unidad individual	Promedio de 5 ladrillos	Unidad individual
21	17,0	20,0	0,78	0,80
17	22,0	25,0	0,88	0,90
14 y 10	Sin límite	Sin límite	Sin límite	Sin límite

<sup>A</sup> El coeficiente de saturación es la relación de absorción mediante inmersión en agua fría durante 24 h a la absorción después de 5 h de inmersión en agua en ebullición.

FUENTE: NTP399.613-2017

## V. CONCLUSIONES

- 1 Los resultados del presente trabajo indican que es factible utilizar las tierras de diatomea agotada, provenientes del proceso de filtración de cerveza, como materia prima para la fabricación de ladrillos.
- 2 Se encontró que el método más eficiente para la elaboración de los ladrillos a partir de tierras de diatomea agotadas, es el proceso sin cocción, el cual permite ahorro de energía y menor emisión de gases contaminantes a la atmosfera. El pre tratamiento de las tierras diatomeas con ácido clorhídrico, permite la inactivación de la carga de patógenos y le confiere una mejor capacidad de absorción a las tierras diatomeas, lográndose incrementar la resistencia a la compresión del ladrillo en comparación con el pre tratamiento térmico.
- 3 La mezcla óptima que obtiene la mayor resistencia a la compresión del ladrillo, corresponde al material compuesto por un 30 por ciento de bentonita, 15 por ciento de diatomea agotada, 12 por ciento de ceniza, 19 por ciento de cal y 24 por ciento de agua.
- 4 Esta mezcla alcanza una resistencia a la compresión promedio de  $23,3 \text{ kg/cm}^2$ , lo que permite clasificar a la unidad de albañilería como Bloque NP (no perforado) de acuerdo a la NORMA TÉCNICA E.070 ALBAÑILERÍA y la NTP 331.017-2003, el cuál puede ser usado en la construcción de muros no portantes, de resistencia y durabilidad muy bajas, apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio con exigencias mínimas.
- 5 El ladrillo obtenido posee características físicas de modularidad y tratamiento superficial en cuanto a estética, color, acabado y relieve por lo que se le puede utilizar como un producto adecuado para fachadas.
- 6 La reutilización de tierras de diatomea agotadas en la fabricación de ladrillos, es una opción para disponer este residuo, que se inserta en el marco de la economía circular.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Continuar investigando mezclas que permitan mejorar la calidad del producto.
- Desarrollar otros modelos de producción para lograr un producto con mayor resistencia.
- Realizar un estudio de mercado que permita evaluar la aceptación del producto en la población y determinar el mercado objetivo.
- Evaluar la rentabilidad del proyecto por medio de un estudio económico.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Barbeta, G. (2002). Mejora de la tierra estabilizada en el desarrollo de una arquitectura sostenible hacia el siglo XXI. Barcelona. Tomo 5, p. 12-29.
- Canales, C.; Pascual, A.; Olalla, M.; Quezada, C.; Roca, F. (2005). Guía de mejores técnicas en España disponibles en el sector cervecero. España. Ministerio de Medio Ambiente. p. 23-131.
- Cifuentes, J.; Torres, M.; Frías, M. (1997). El océano y sus recursos II. Las ciencias del mar: oceanografía geológica y oceanografía química. 2 ed. México. VII.
- Curso tecnología del concreto I. (2006), Lima. Facultad de Ingeniería Civil – Departamento de Construcción. Universidad Nacional de Ingeniería. Jiménez Yabar, H; Salazar Arias, H. s.p.
- Delgado M. (1990). Análisis químico de arcillas. Tesis de bachiller en Ciencias Químicas de la Pontificia Universidad Católica. p 50-70.
- García, E; Suárez, M. (2001). Las arcillas propiedades y usos. España. VI.
- INEI Instituto Nacional de Estadísticas e Informática. Viviendas particulares según material predominante en las paredes exteriores y área de residencia, 2001 – 2016. (En línea, lista de discusión). Consultado en abril 2018. Disponible en <http://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/poblacion-y-vivienda/>
- Jaya J.; Gomezcoello J. (2012). Análisis Comparativo de la contaminación atmosférica producida por la combustión en ladrilleras artesanales utilizando tres tipos de combustibles. Tesis Ingeniero Ambiental. Cuenca. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.
- PLANRES – MINAM (2016). Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2024.
- PRAL y COSUDE (2010). Programa Regional de Aire Limpio apoyada por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación en el Perú. 2010. Guía de Buenas Prácticas en Ladrilleras Artesanales. Arequipa-Perú.

- PRODUCE (2015). Anuario Estadístico Mype (2015). Disponible en <http://www.produce.gob.pe/documentos/estadisticas/anuarios/anuario-estadistico-mype-2015.pdf>
- Ramos, V.; Egüez, H.; Ladines, I.; Carrión P. (2004). Perspectivas de la explotación y aplicación de tierra de diatomeas en la península de Santa Elena. España. Revista Tecnológica, Escuela Superior Politécnica del litoral (ESPOL) – Facultad de Ingeniería en Ciencias de la tierra. v. 17, no. 1:162-169.

## **VIII. ANEXOS**

## **ANEXO I : PROCEDIMIENTO PARA LAS PRUEBAS DE ENSAYO**

### **PROCEDIMIENTO PARA LAS PRUEBAS DE ENSAYO**

El equipo y material de laboratorio utilizado en estas pruebas fueron:

- Bandejas de secado
- Solución de HCL 1N
- Agua Destilada
- Aceite
- Espátulas para mezcla
- Molde metálico para los ladrillos
- Balanza Digital con sensibilidad de 0.01g
- Horno de laboratorio
- Prensa hidráulica
- Flexómetro
- Cocinilla eléctrica

#### **Variación de las dimensiones**

##### **A. Procedimiento**

En cada espécimen se mide el largo, ancho y alto con la precisión de 1mm. Cada medida se obtiene como promedio de las cuatro medidas entre los puntos medios de los bordes terminales de cada cara.

##### **B. Expresión de resultados**

La variación en porcentaje de cada dimensión se calcula mediante la resta de su dimensión específica y el promedio la dimensión de todas las muestras, dividiendo este valor por la dimensión especificada y multiplicada por 100.

$$V = \frac{DE - MP}{DE} * 100$$

Donde:

V : Variación de la dimensión en porcentaje

DE: Dimensión especificada en milímetros

MP: Medida promedio en cada dimensión en milímetros

## **Resistencia a la compresión**

### **A. Procedimiento**

Se coloca el espécimen con una de sus caras mayores sobre el apoyo de la máquina y se hace descender el vástago al cabezal, maniobrando suavemente la rótula hasta obtener un contacto perfecto sobre la cara superior del espécimen, asegurando que el eje de la misma coincida con el eje longitudinal del espécimen.

Se aplica la carga cuidando que la velocidad del cabezal de la máquina no sea mayor de 1,27 mm/min.

### **B. Expresión de resultados**

Se calcula la resistencia a compresión con la siguiente ecuación:

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

Donde:

C: Es la resistencia del ladrillo en Kg /cm<sup>2</sup>.

W: Es la carga de rotura aplicada indicada por la maquina en Kg.

A: Es el promedio de las áreas brutas superior e inferior del espécimen en cm<sup>2</sup>.

## **Densidad**

### **A. Procedimiento**

Se calienta el espécimen en el horno entre 110 y 115°C y se pesan luego de enfriarlos a temperatura ambiente. Se repite el tratamiento hasta que no se tengan variaciones en el peso obteniéndose G3.

Se coloca el espécimen en un recipiente lleno de agua destilada hirviendo, disponiéndolo de modo que el líquido pueda circular libremente por los costados, manteniéndolos durante 3 horas en ebullición.

Se pesa el espécimen sumergido G2, equilibrando previamente la balanza con el dispositivo de suspensión y el espécimen sumergido.

Se retira el espécimen del recipiente secando el agua superficial con un trapo húmedo y se pesa G1.

## **B. Expresión de resultados**

El volumen del espécimen será:

$$V = G1 - G2$$

Donde:

V: Volumen en cm<sup>3</sup>.

G1: Es la masa del espécimen saturado (3 horas)

G2: Es la masa del espécimen saturado sumergido en gramos

G3: Es la masa del espécimen seco en gramos

La densidad será.

$$D = \frac{G3}{V}$$

Donde :

D: es la densidad del espécimen en gramos por centímetro cúbico.

## **Módulo de rotura**

### **A. Procedimiento**

Se apoya el espécimen de prueba en su mayor dimensión salvo que se indique de otra manera (de manera que la carga se aplique en la dirección del espesor de la unidad) sobre un tramo no menor a la longitud de la unidad menos 2,5 y cargado en el centro del tramo. Si el espécimen tiene imperfecciones (desniveles o depresiones), se coloca de tal manera que éstas estén de lado de la compresión. Se aplica la carga en la superficie superior del espécimen a través de una plancha de acero de 6 mm de

espesor y 40 mm de ancho y de una longitud de por lo menos el ancho del espécimen. Los apoyos del espécimen de ensayo estarán libres para rotar en las direcciones longitudinal y transversal y se deberán ajustar de manera tal que no ejerzan fuerza alguna en esas direcciones.

La velocidad de aplicación de la carga no deberá exceder de 8896 N/m, pero este requerimiento se considera satisfecho si la velocidad del cabezal móvil de la máquina de ensayo no es mayor a 1,27 mm/min, inmediatamente antes de aplicar la carga.

## **B. Expresión de resultados**

El módulo de rotura se calcula de la ecuación siguiente:

$$S = 3W(l/2-x)bd^2$$

Donde:

- S : Es el módulo de rotura
- W: Es la carga de rotura en Kg Kg/cm<sup>2</sup>
- l : Es la distancia entre apoyos en cm.
- b : Es el ancho neto del espécimen cara a cara en el plano de falla cm,
- d : Es el espesor del espécimen cara a cara en el plano de falla en cm.
- x : Distancia promedio desde el centro del espécimen hacia el plano de falla, medido en dirección del paño a lo largo de la línea central de la superficie sometida a tensión.

## **Absorción**

### **A. Procedimiento**

Se calientan las muestras en el horno a 110°C y 115°C y se pesan luego de enfriarlos a temperatura ambiente. Se repite el tratamiento hasta que no se tenga variaciones en el peso obteniéndose Wd.

Saturación: Se introducen las muestras secas en un recipiente lleno de agua destilada, manteniéndolos completamente sumergidos durante 24 h, asegurando que la temperatura del baño este comprendida entre los 15 y 30 °C , transcurrido el

lapso indicado se retiran las muestras del baño secando el agua superficial con un trapo húmedo y se pesan  $W_s$ .

Las muestras deben pesarse dentro de los 5 min a partir del instante en que se extraen del recipiente.

## **B. Expresión de resultados**

El contenido de agua absorbida se calcula con la siguiente ecuación:

$$\%A = \frac{(W_s - W_d)}{W_d} * 100$$

Donde:

A : Es el contenido de agua absorbida en porcentaje

$W_d$ : Es la masa del espécimen seco en gramos

$W_s$ : Es la masa del espécimen saturado luego de 24 h de inmersión en agua fría en gramos.

## **Absorción Máxima**

### **A. Procedimiento**

Se calientan las muestras en el horno a 110°C y 115°C y se pesan luego de enfriarlos a temperatura ambiente. Se repite el tratamiento hasta que no se tenga variaciones en el peso obteniéndose  $W_d$ .

Se sumergen las muestras secas en un recipiente lleno de agua destilada a una temperatura comprendida entre los 15 y 30 °C disponiéndolo de modo que el líquido pueda circular libremente por los costados, se calienta gradualmente el agua hasta alcanzar el punto de ebullición en 1h y se deja hervir a partir de ese momento durante 5 horas.

Al término del lapso indicado se enfría el recipiente hasta una temperatura comprendida entre 15 y 30 °C por pérdida natural de calor.

Se retira el espécimen del recipiente y se seca el agua superficial con un trapo húmedo y luego se pesa  $G_5$

El espécimen debe pesarse dentro de los 5 min a partir del instante en que se extrae del recipiente.

## **B. Expresión de resultados**

El contenido de agua absorbida se calcula con la siguiente ecuación:

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

Donde:

Wd: Es la masa del espécimen seco en gramos

Ws: Es la masa del espécimen saturado después de la sumersión en agua caliente en gramos.

## **Coefficiente de Saturación**

### **A. Expresión de resultados**

El coeficiente de saturación por cada espécimen se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{Coeficiente de saturación} = \frac{W_{s^2} - W_d}{W_{b^5} - W_d}$$

Donde:

Wd: Es la masa del espécimen seco en gramos

Ws<sup>2</sup>: Es el peso del espécimen saturado luego de 24 horas de sumersión en agua fría.

Wb<sup>5</sup>: Es la masa del espécimen saturado luego de 5 horas de sumersión en agua en agua caliente.

## ANEXO 2: ANÁLISIS ESTADÍSTICO

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO

#### Análisis estadístico de variabilidad de la Etapa Preliminar I

Para determinar el efecto en la resistencia del ladrillo del porcentaje de diatomeas en la composición de cada muestra, se realizó un análisis estadístico donde se evaluó la variación de dicha resistencia del espécimen en función a los distintos tipos de materiales adicionados. Se hicieron tres repeticiones de la resistencia característica a la compresión para cada mezcla, a fin de conocer la variabilidad de los datos obtenidos. Los resultados obtenidos son los siguientes:

#### Resultados (repeticiones) de Resistencia a la Compresión de cada muestra de la Etapa Preliminar I

MUESTRA	Y1	Y2	Y3
M1	12.54	12.94	13.31
M2	20.17	21.30	19.18
M3	1.53	1.45	1.78
M4	1.97	2.37	2.02
M5	7.66	8.32	7.51
M6	1.14	1.91	1.50
M7	11.00	13.20	11.03
M8	13.50	12.18	11.12
M9	6.66	7.30	6.21

Con los datos obtenidos se halló la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación para determinar la dispersión de los resultados mediante las siguientes formulas:

Para hallar la desviación estándar:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Donde: S= Desviación estándar

Xi = Valor del dato

X= Media aritmética

n= cantidad total de datos

Para hallar el coeficiente de variación:

$$C.V.=\frac{S}{X}*100$$

**Determinación de la Media, Desviación Estándar y Coeficiente de Variación para cada muestra de la Etapa Preliminar II**

MUESTRA	Resultados				Media	DESVIACIÓN ESTANDAR	COEF. DE VARIACIÓN
	Y1	Y2	Y3				
M1	12.54	12.94	13.31		12.93	0.39	2.98
M2	20.17	21.30	19.18		20.22	1.06	5.25
M3	1.53	1.45	1.78		1.59	0.17	10.85
M4	1.97	2.37	2.02		2.12	0.22	10.28
M5	7.66	8.32	7.51		7.83	0.43	5.50
M6	1.14	1.91	1.50		1.52	0.39	25.40
M7	11.00	13.20	11.03		11.74	1.26	10.74
M8	13.50	12.18	11.12		12.27	1.19	9.72
M9	6.66	7.30	6.21		6.72	0.55	8.15

**Análisis estadístico de variabilidad de la Etapa Preliminar II**

Para determinar el efecto del porcentaje de diatomeas en la composición de cada muestra en la resistencia del ladrillo se realizó un análisis estadístico para evaluar la variación de la resistencia del ladrillo, en función del porcentaje de tierra diatomea agotada adicionada realizándose tres repeticiones por espécimen del ensayo de resistencia a la compresión, a fin de conocer la variabilidad de los datos obtenidos hallándose por medio de cálculos estadísticos la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

**Resultados de Resistencia a la compresión de cada muestra de la Etapa Preliminar**

**II**

MUESTRA	DIATOMEA	Y1	Y2	Y3
M10	10	16,21	15,68	15,84
M11	12	18,59	18,85	19,14
M12	14	19,84	20,12	19,54
M13	16	18,85	18,14	19,04
M14	18	16,54	16,98	17,12
M15	20	13,54	12,98	13,46
M16	22	11,57	11,05	11,88
M17	24	2,04	3,01	2,05

Se evaluó la variabilidad a fin de conocer cuánta confianza se puede tener en los datos. Para lo cual se determinó la media, desviación estándar y coeficiente de variación para cada caso, obteniéndose los datos registrados en el cuadro 4.

**Determinación de la Media, Desviación Estándar y Coeficiente de Variación para cada muestra de la Etapa Preliminar II**

Muestra	Diatomea	Resultados			Media	Desv. Estándar	Coef. Variación
		Y1	Y2	Y3			
M10	10	16.21	15.68	15.84	15.91	0.27	1.71
M11	12	18.59	18.85	19.14	18.86	0.28	1.46
M12	14	19.84	20.12	19.54	19.83	0.29	1.46
M13	16	18.85	18.14	19.04	18.68	0.47	2.54
M14	18	16.54	16.98	17.12	16.88	0.30	1.79
M15	20	13.54	12.98	13.46	13.33	0.30	2.27
M16	22	11.57	11.05	11.88	11.50	0.42	3.65
M17	24	2.04	3.01	2.05	2.37	0.56	23.54

En esta tabla podemos concluir que los valores del coeficiente de variación son menores al 23.5 por ciento, lo cual indica una baja variabilidad en los resultados.

**Determinación de la diferencia o no entre tratamientos.**

Para determinar si la variación en el porcentaje de diatomeas determina o no una variación en la resistencia del ladrillo, se aplicó un diseño completamente aleatorizado (DCA). Para lo cual se construyó la siguiente matriz del diseño DCA, donde cada muestra estudiada resulta ser un tratamiento y cada una de las réplicas corresponde a la *j*-ésima observación.

El diseño completamente aleatorizado (DCA) se aplica cuando se desea comparar más de dos tratamientos con una sola variable. Es decir, solo hay una variable de interés en el proceso, pero esta puede tomar dos o más niveles, y se desea conocer el efecto comparativo de cada uno de esos niveles. Cada nivel del factor resulta ser un tratamiento ( $i=1,2,..k$ ), y en cada tratamiento se toman más de dos replicas ( $j= 1, 2 ..n$ ) para conocer la variabilidad de los datos. El total de datos por obtener se aleatoriza a fin de cancelar cualquier efecto extraño.

Cada uno de los *k* grupos de datos corresponde a un tratamiento, que a su vez corresponde a *k* poblaciones. Se supone que las *k* poblaciones son diferentes y normalmente distribuidas con medias  $M_1, M_2, ..M_k$  y varianza común  $s^2$ .

Denotemos a  $y_{ij}$  como la *j*-ésima observación del *i*-ésimo tratamiento y acomodemos los datos de acuerdo con la siguiente tabla.

**Tabla DCA (Diseño Completamente Aleatorizado)**

<i>tratamiento</i>	1	2	...	<i>i</i>	...	<i>k</i>
	$y_{11}$	$y_{21}$	...	$y_{i1}$	...	$y_{k1}$
	$y_{12}$	$y_{22}$	...	$y_{i2}$	...	$y_{k2}$
	...	...		...		...
	$y_{1n}$	$y_{2n}$	...	$y_{in}$		$y_{kn}$
<b>Total</b>	$T_{1.}$	$T_{2.}$		$T_{i.}$		$T_{k.}$ $T_{..}$
<b>Media</b>	$\bar{y}_{1.}$	$\bar{y}_{2.}$		$\bar{y}_{i.}$		$\bar{y}_{k.}$ $\bar{y}_{..}$

Se construye la matriz del diseño DCA, donde cada muestra estudiada resulta ser un tratamiento y cada una de las réplicas corresponde a la j-ésima observación.

**Matriz del diseño DCA**

Repeticiones	Tratamientos							
	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17
1	16.21	18.59	19.84	18.85	16.54	13.54	11.57	2.04
2	15.68	18.85	20.12	18.14	16.98	12.98	11.05	3.01
3	15.84	19.14	19.54	19.04	17.12	13.46	11.88	2.05

**Tratamiento de datos.**

Se calcula las medias y totales para cada tratamiento.

**Cálculo de las Medias para cada tratamiento**

Repeticiones	Tratamientos							
	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17
1	12.21	18.59	19.84	18.85	16.54	13.54	11.57	2.04
2	15.68	18.85	20.12	18.14	16.98	12.98	11.05	3.01
3	15.84	19.14	19.54	19.04	17.12	13.46	11.58	2.05
<b>Total</b>	43.73	56.58	59.50	56.03	50.64	39.98	34.20	7.10
<b>Media</b>	14.58	18.86	19.83	18.68	16.88	13.33	11.40	2.37

Presentando los valores de las medias obtenidas en un diagrama de puntos se tiene



**Diagrama de Puntos**

Para determinar si esta variación es estadísticamente significativa se plantea la prueba de hipótesis.

$$H_0: M_{10}=M_{11}=M_{12}=M_{13}=M_{14}=M_{15}=M_{16}=M_{17}$$

$H_1$ : Al menos una prueba es diferente.

## Análisis de varianza

Se prueba si la diferencia entre los datos es debida a la variación entre los tratamientos o a la variabilidad propia del experimento (error aleatorio), esto se consigue con un análisis de varianza. Para ello la variabilidad de los datos se descompone en variabilidad del experimento, variabilidad entre tratamientos y variabilidad total, donde:

- La variabilidad del experimento está dada por SSE o SCE (suma de los cuadrados del error), donde:

$$SSE = \sum \sum (Y_i - \bar{y}_i)^2$$

Y la media del cuadrado de los errores (MSE) será :

$$MSE = \frac{SSE}{(n - k)}$$

Donde:      n = número total de datos (24 en este caso)  
              k = numero de tratamientos (8 en este caso)

- La variabilidad entre tratamientos es la variación entre los promedios por tratamiento alrededor de un promedio general o gran promedio ( $\bar{Y}$ ). Se le denomina Suma de los cuadrados de los tratamientos SCT o SS<sub>Strat</sub>

$$SS_{Strat} = \sum n_i (\bar{y}_i - \bar{Y})^2$$

Donde:       $\bar{Y}$  = gran promedio.  
               $y_i$  = promedio de cada tratamiento.  
               $n_i$  = numero de datos de cada tratamiento.

La media será:

$$M_{Strat} = \frac{SS_{TRAT.}}{(k-1)}$$

- La variabilidad total está dada por la suma de los cuadrados totales SSTo, o SCTo

$$SSt = SSE + SStrat$$

Se construye una matriz calculando los valores de SSE y SStrat

**Matriz de cálculo estadístico**

Muestra	ni	media Yi	SSE (Y1-Yi) <sup>2</sup>	SSE (Y2-Yi) <sup>2</sup>	SSE (Y3-Yi) <sup>2</sup>	ΣSSE	Sstrat
M10	3	15.91	0.090	0.053	0.005	0.148	94.83
M11	3	18.86	0.073	0.000	0.078	0.151	114.1887
M12	3	19.83	0.000	0.082	0.086	0.168	118.98
M13	3	18.68	0.030	0.288	0.132	0.450	111.6298
M14	3	16.88	0.116	0.010	0.058	0.183	102.6468
M15	3	13.33	0.046	0.120	0.018	0.183	79.4561
M16	3	11.50	0.005	0.202	0.144	0.352	68.8047
M17	3	2.37	0.107	0.414	0.100	0.621	15.5008

Luego la tabla de ANOVA será:

**Tabla ANOVA**

FUENTE	SS	SS	g:l	MS	Fc	Ft(0,05;4;10)	Ho
<b>TRATAMIENTO</b>	Sstrat	15.5000	7	2.2143	57.0631	0,9997	Rechazada
<b>ERROR</b>	SSE	0.6209	16	0.0388			
<b>TOTAL</b>	Sstot	16.1209	23				

Por lo que se concluye que se rechaza la hipótesis nula, porque  $F_c \gg F_t$ . Es decir, existe una diferencia entre las muestras.

### **Efecto de la variación del porcentaje de diatomeas**

Habiéndose determinado si hay o no diferencia estadísticamente significativa entre los valores de la resistencia del producto, se busca determinar una función que relacione el

efecto del porcentaje de diatomeas sobre la resistencia del ladrillo, para lo cual se efectuó un análisis de regresión.

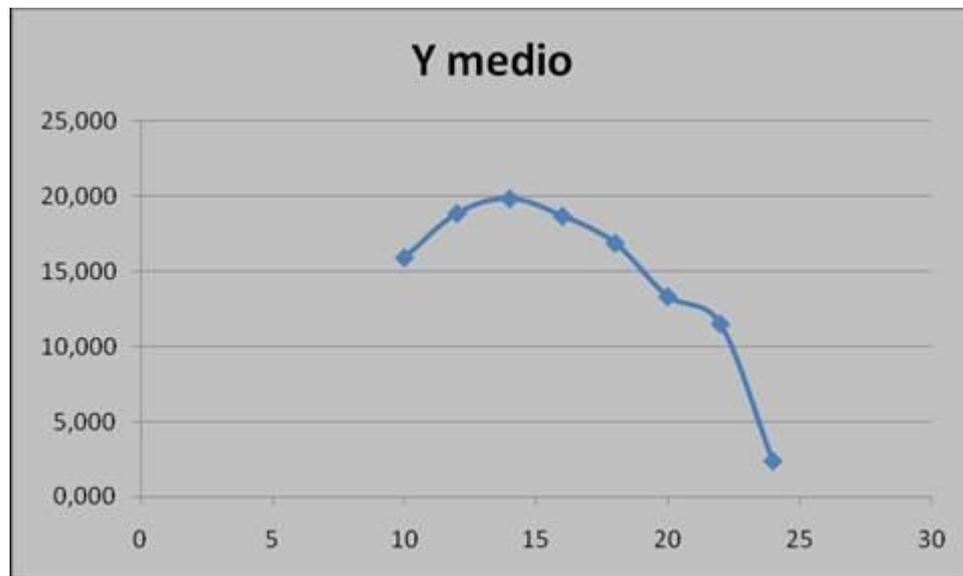
Cuyos datos servirán para elaborar un modelo de regresión lineal.

Ordenando los datos se tiene

### Datos para el análisis de regresión

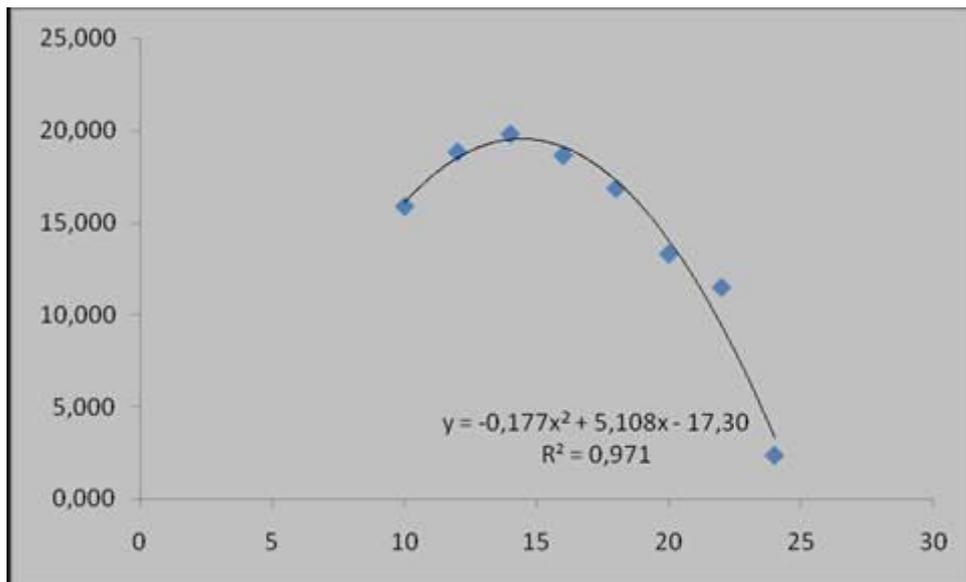
MUESTRA	DIATOMEA	Y
M10	10	15,910
M11	12	18,860
M12	14	19,833
M13	16	18,677
M14	18	16,880
M15	20	13,327
M16	22	11,500
M17	24	2,367

Graficando los datos se obtiene



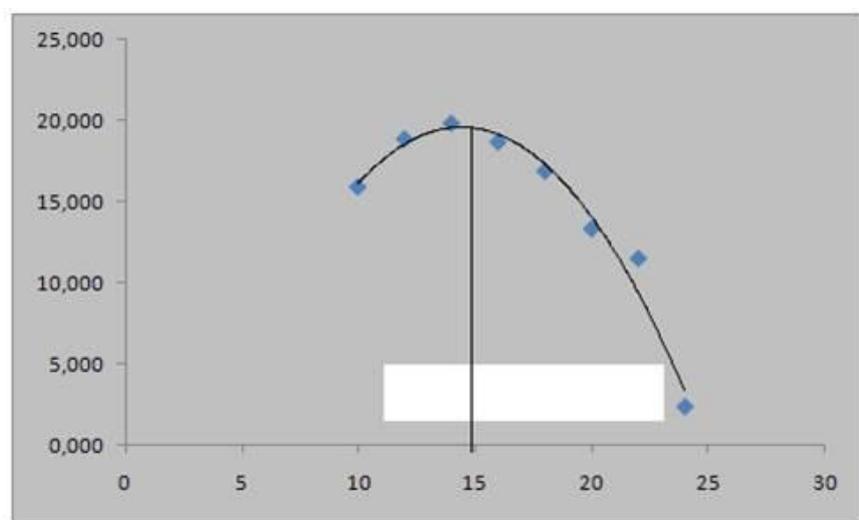
### Variación de la dureza con el porcentaje de diatomeas

### Determinación de un modelo de ajuste



**Modelo de Ajuste**

Se obtiene un modelo de segundo grado donde se puede determinar el punto de mejor respuesta del % de diatomeas, por ploteo, como se observa en la siguiente figura.



**Punto de mejor respuesta del porcentaje de diatomeas utilizado**

### **Análisis de la significancia del modelo.**

El valor obtenido para el coeficiente de determinación  $R^2$  indica que el modelo considera el 97.1% de la variabilidad de los datos, y se puede afirmar que el ajuste es confiable.

## Etapa definitiva

### A. Método de Análisis estadístico del efecto del tratamiento sobre las diatomeas.

Determinada la función de variación en el análisis estadístico de la etapa preliminar II se evaluó el efecto del tratamiento sobre la diatomea, probándose los tratamientos con HCl y con calor. Para lo cual se aplicó una prueba t- student.

El estadístico t- student para este caso está dado por:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left[ \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]}}$$

Planteamiento de las hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 < \mu_2$$

Para el cálculo de Tc, y toma de decisión, se calcula el valor de Tc de la expresión:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left[ \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]}}$$

Datos:

$$n = 3, \quad \bar{X}_1 = 20.22, \quad S_1 = 1.06$$

$$n_B = 3, \quad \bar{X}_2 = 23.3, \quad S_2 = 0.95,$$

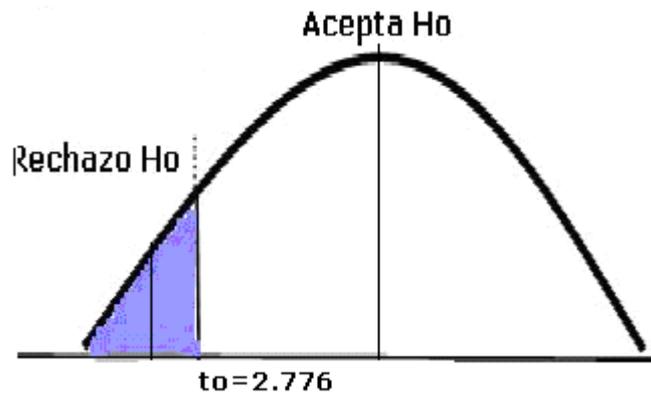
$$\alpha = 0.05$$

Planteamiento de las hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 < \mu_2$$

Esquema de Decisión. Para  $\alpha = 0.05$ ,  $r = 3+3-2 = 4$



**Figura 5: Modelo de distribución t-student**

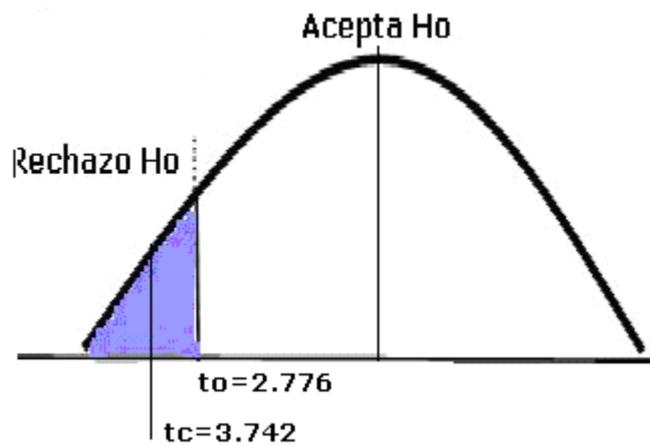
Se realizó el cálculo de  $T_c$ , y toma de decisión utilizando la expresión:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left[ \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]}}$$

Reemplazando se tiene:

$$T_c = - 3.7425$$

Aplicando la prueba se tiene:



**Modelo de distribución t-student**

El valor de  $t_c$  cae en la zona de rechazo, por tanto,  $H_0$  no es cierta, por lo que se puede afirmar, con un 95 por ciento de confianza, que existe diferencia significativa. Se concluye que el tratamiento previo con ácido clorhídrico mejora los resultados en la resistencia del ladrillo.

### ANEXO 3 :ARCHIVO FOTOGRÁFICO DE LA INVESTIGACIÓN



# ANEXO 4 :HOJAS TÉCNICAS DE SEGURIDAD DE LOS MATERIALES USADOS PARA LA ELABORACIÓN DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERIA



INSUMOS QUÍMICOS, EQUIPOS Y MATERIAL DE LABORATORIO E INDUSTRIA  
ESPECIALISTAS EN PISCINAS, AGUA Y PRODUCTOS DE LIMPIEZA

MANUEL MUÑOZ NAJAR N° 240 AREQUIPA - PERÚ  
TELEFAX 054-239181 TELEFONO 054-286574

www.deltaquimica.com - E.mail: informes@deltaquimica.com

## HOJA TECNICA Bentonita PRF 200

### ANALISIS QUIMICO TIPICO

Fluorescencia de Rayos X (ARL - Base Seca)

SiO <sub>2</sub>	69.26 %
TiO <sub>2</sub>	0.23 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.34 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.44 %
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00 %
CaO	0.97 %
MgO	2.77 %
MnO	0.03 %
SO <sub>2</sub>	0.35 %
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00 %
Na <sub>2</sub> O	2.61 %
K <sub>2</sub> O	0.43 %
PxC	6.57 %
	TOTAL 100.00 %
pH	8.40

### PROPIEDADES FISICAS TIPICAS

	Método	Típico	Rango	Unidad
Absorción de agua	LAB-IN-030	1.8	1.7 a 1.9	%
Gravedad Especifica	LAB-IN-019	2.16		
Retenido Tamiz N° 200 (75 µm)	LAB-IN-011	3.17	0.00 a 8.00	%
Retenido Tamiz N° 325 (45 µm)	LAB-IN-012	2.30	0.00 a 6.00	%
Humedad	LAB-IN-026	10.00	6.00 a 14.00	%

Copia autorizada por CSGC.



# COMACSA

Cía. Minera  
AGREGADOS CALCAREOS S.A.

ISO 9001  
ISO 14001  
OHSAS 18001

## CERTIFICADO DE CALIDAD N° 90553

**Cliente :** DISTRIBUIDORA DE PRODUCTOS QUIMICOS S.R. Ltda.  
**Producto :** KIMIKAL HIDRATADA - ( Hidróxido de calcio )  
**N° de lote :** 1603  
**Guía:** 011-0183371  
**Fecha :** 16.04.2016

	<u>Método</u>	<u>Rango</u>	<u>Unidad</u>	<u>L.1603</u>
Ca(OH) <sub>2</sub> . . . . .	NT 334.131	83.00 a 99.00	%	85.35
Humedad . . . . .	LAB-PR-023	≤ 2.00	%	0.36
+M200 . . . . .	LAB-PR-018	0.00 a 15.00	%	3.41
<b>Fecha de Producción</b> . . . . .				30.03.2016

**Nota :**

Peso de bolsa vacía : 170 a 200 gr.  
Peso neto : +/- 2 % error

**CONSIDERAR LAS SIGUIENTES INDICACIONES:**

Almacenar en lugar seco, bajo techo.  
Mantener el envase cerrado.  
Evitar almacenar en lugares o ambientes húmedos.

Atte.

CIA. MINERA AGREGADOS CALCAREOS S.A.

**Ing. Gladys Palomino Bonelli**  
JEFE DE LABORATORIO

Este producto ha sido fabricado bajo los controles establecidos por un sistema de gestión de Calidad, Seguridad y Medio Ambiente aprobado por Bureau Veritas  
Certificación de acuerdo a las normas ISO 9001 , ISO 14001 Y OHSAS 18001.

**Alcance de Certificación:**

Beneficio, comercialización e industrialización de minerales no metálicos y subproductos derivados. Producción y comercialización de cal, cemento portland blanco y otros productos para la industria de la construcción en la planta de beneficio Acsa Dos

AV. UNIVERSITARIA N° 6330 - LOS OLIVOS - LIMA 39 TELF.: (511) 202-6363 FAX:(511) 202-6364  
E-mail : [comacsa@comacsa.com.pe](mailto:comacsa@comacsa.com.pe) Apartado 3942 - LIMA PERÚ  
<http://www.comacsa.com.pe>

	LIQUID QUIMICA MEXICANA, S.A. DE C.V.	CERTIFICADO DE ANALISIS CERTIFICATE OF ANALYSIS CaCO <sub>3</sub>	

ITCARB-0001-F5

Cliete: Customer:	DROGUERIA RICARDO CESPEDES ROMAN	Fecha: Date:	06/03/2013
Tipo de Carbonato de Calcio Precipitado: Precipitated Calcium Carbonate Grade:	CM-0020	ACALA USP 2300	
Bolsas: Bags:	800	Net Weight:	20000 Kg

Característica Characteristic	Unidad Unit	Método Method	Especificación Specification	Resultado Result
Pureza, CaCO <sub>3</sub> Assay, CaCO <sub>3</sub>	%	USP	98.0 - 100.5	98.68
Identidad, CaCO <sub>3</sub> Identification: CaCO <sub>3</sub>		USP	Positivo Positive	Positivo
Humedad Loss on drying	%	USP	2.0 max	0.332
Insolubles en HCl HCl Insoluble	%	USP	0.2 max	0.1410
Fluoruros Fluorides	%	USP	0.005 max	L.T. 0.005
Arsenico Arsenic	ppm	USP	3 max	L.T. 3.0
Bario Barium		USP	No detectable Not detectable	No detectable Not detectable
Plomo Lead	ppm	USP	3 max	L.T. 3.0
Metales pesados Heavy Metals	%	USP	0.002 max	L.T. 0.002
Fierro Iron	%	USP	0.1 max	L.T. 0.1
Mg y Sales Alcalinas Mg & Alkali Salts	%	USP	1.0 % max	L.T. 1.0
Mercurio Mercury	ppm	USP	0.5 max	L.T. 0.5
Densidad Compactada Tapped density	g/cm <sup>3</sup>	ITCARB-0006	0.606 - 0.75	0.657

Lote #	3044	Comentarios: Comments:	SE ASEGURA LA AUSENCIA DE IMPUREZAS ORGÁNICAS VOLÁTILES EN EL CCP, DE ACUERDO A LA USP VIGENTE.
Fecha de Producción: Manufacturing date:	13/02/2013	GADUCIDAD:	FEBRERO DE 2016
% Retenido, 325 Mesh: 325 Mesh, % Retained:	0.0059		CONTENEDOR No. TCIU 363316-6 SELLO No. EMCECF 5332
Ref. Datos estadísticos de las tarimas: Statistical data of pallets:	LOTE 3044 T-01 A T-10 Cuautiltlan Plant		AREHAGNE VARGAS 10131 Calidad Quality

Planta Cuautiltlan. Km 31.5 Carr. Tlalnepantla-Cuautiltlan, Col. Loma Bonita, Cuautiltlan, México.  
Tel. (52-55) 5872 0206, Fax. (52-55) 5872 2639

**drocersa**  
Drogueria Ricardo Céspedes Román S.A.

Q.F. Celinda Tipiani Muñoz  
COORDINADORA TECNICA

14943