



# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN  
CARRERA DE ARQUITECTURA

MORTEROS DE SÍLICE Y CAL: ANÁLISIS DEL MATERIAL PARA FUTURAS  
APLICACIONES EN LA CONSTRUCCIÓN

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE ARQUITECTO

AUTOR: CARLOS XAVIER VERA BECERRA  
DIRECTOR: MSC. ARQ. PEDRO JAVIER ANGUMBA AGUILAR

CUENCA- ECUADOR

2019

**MORTEROS DE SÍLICE Y CAL;** Análisis del material para futuras aplicaciones en la construcción.

La investigación se fundamenta en el análisis del mortero de sílice y cal, como alternativa para material de construcción. La materia prima proviene de la región austral del Ecuador, principalmente del cantón Cuenca, Llacao, lugar donde se extrajeron los materiales utilizados en la presente investigación.

Para el proceso de investigación se emplearon probetas cúbicas, realizándose diversos tipos de pruebas que tuvieron el propósito de obtener una dosificación adecuada que cumpla los estándares requeridos de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), para bloques de mampostería no portante. Las dosificaciones realizadas fueron: 1:2, 1:3, 1:4, 1:5, 1:6, 1:7, donde la cal es el elemento cementante. Mediante ensayos de compresión y absorción de agua realizados en laboratorio, se determinó que la dosificación adecuada es de 1:3 como, la cual a la vez posee una resistencia promedio de  $214.64 \text{ kg/cm}^2$ , determinando su uso efectivo como material alternativo en el ámbito constructivo regional.

Los morteros obtenidos de acuerdo al proceso antes descrito, genera un ahorro energético, pues el proceso de obtención del material es muy bajo, empleando una temperatura que oscila entre 190-205 °C de vapor caliente, en contraposición a los 750°C que es la temperatura a la que llegan los hornos convencionales de ladrillo. Además, para la fabricación del ladrillo, por lo general se usa como combustible la madera y como resultado se genera  $\text{CO}_2$  que es un contaminante para el medio ambiente, al contrario del proceso usado en la presente investigación, lo cual implica que el proceso es ecológico.

**PALABRAS CLAVE:** SÍLICE, CAL, MORTERO, AUTOCLAVE, CONSTRUCCIÓN.

**SILICA AND LIME MORTARS: Analysis of material for future applications in construction.**

The present research work focuses on the analysis of silica and lime mortar, as an alternative for construction material. The raw material comes from the southern region of Ecuador, mainly from the canton Cuenca, Llacao, where the materials used in the present investigation were extracted. For the research process, cubic specimens were made, and several tests were carried out in order to obtain an adequate dosage that meets the required standards according to the Ecuadorian Construction Standard (NEC) for non-bearing masonry blocks. The dosages performed were: 1: 2, 1: 3, 1: 4, 1: 5, 1: 6, 1: 7, where the lime is the cementing element. By means of compression and water absorption tests, carried out in the laboratory, the 1: 3 dosage was determined as optimum, with an average resistance of 214.64 kg / cm<sup>2</sup>, which allows it to be used in the construction field of our region as an alternative material.

The mortars obtained according to the process described above, generates energy savings, because the process of obtaining the material is very low, using a temperature that varies between 190- 205 °C of hot steam, with respect to the 750 °C reached by the ovens of conventional brick. The production of a brick uses wood as fuel, and as a result CO<sub>2</sub> is generated, which is a pollutant for the environment, on the contrary, the process used in the present investigation, which implies that the process is ecological.

**KEY WORDS: SILICA, LIME, MORTAR, AUTOCLAVE, CONSTRUCTION.**



Yo, CARLOS XAVIER VERA BECERRA, declaro bajo juramento que le presente trabajo aquí descrito, es de mi autoría y que los resultados obtenidos son auténticos y originales. Las referencias bibliográficas provenientes de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo responsabilidad académica y legal de los contenidos del presente trabajo de titulación.



CARLOS XAVIER VERA BECERRA



Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por CARLOS XAVIER VERA BECERRA, bajo mi supervisión

---

MSC. ARQ. PEDRO JAVIER ANGUMBA AGUILAR  
DIRECTOR

Dedico este trabajo de graduación de manera muy especial a Dios, a mi abuela Luz María Rodas, a mis padres Carlos y Carmen, a mis hermanos Lourdes, Pablo y Juan David, quienes han estado incondicionalmente dispuestos a apoyarme en todas las actividades en las cuales emprendo, brindándome su cariño y paciencia. Motivo por el cual les hago partícipes de este logro en mi vida.

*“Toda arquitectura es grande tras la puesta de sol; quizás la arquitectura es un arte nocturno, como los fuegos artificiales.”*

-Gilbert K. Chesterton.

Un reconocimiento muy especial al Arq. Pedro Angumba; quien contribuyo con profesionalismo este trabajo; gracias por el apoyo de:

- Ing. Gerardo Arbito
- Ing. Daniel Vélez
- Arq. William Vélez
- Arq. Miguel Vélez
- Arq. Edison Castillo
- Ing. Marcos González
- Sr. Atanasio Jara
- Srta. Ma. Belén Guambaña S.

Y a todas las personas que de una u otra manera estuvieron involucrados durante este camino universitario, brindándome su apoyo y amistad; todos han contribuido en este logro muy especial para mí, gracias a los amigos, compañeros, profesores y familiares.

*“Un verdadero gran libro debería ser leído en la juventud, de nuevo en la madurez y una vez más en la vejez, al igual que un buen edificio debería ser visto con la luz de la mañana, por la tarde y con la luz de la luna.”*

-Robertson Davies.

**ÍNDICE GENERAL**

<b>RESUMEN.....</b>	<b>2</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>3</b>
<b>DECLARACIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>CERTIFICACIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>6</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>7</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
<b>JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>14</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>16</b>
<b>PROBLEMA .....</b>	<b>17</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
Recuento Histórico: usos, tipos y casos singulares.....	19
Nivel internacional.....	19
Nivel local.....	26
Materiales utilizados: variantes comunes .....	29
Yeso.....	29
1.1.1.    Cal.....	34
Hornos tradicionales para cal .....	36
Tierra.....	37
Sílice .....	39
Tipos de sílice .....	41
Sílice en arena .....	41
Sílice en roca .....	41
Principales características de la sílice .....	41
Usos y aplicaciones de la sílice.....	41
Tipos de morteros.....	42

Tipos y usos de los morteros .....	42
Morteros calcáreos .....	43
Morteros de yeso.....	43
Morteros de cal y cemento.....	44
Morteros con cemento portland .....	46
Marco normativo vigente para morteros .....	48
Normativas a nivel internacional .....	48
Normativa a nivel local .....	50
Minerales y materias primas en Ecuador .....	52
Materias primas en la provincia de Azuay .....	53
Localización de la materia prima para la elaboración de morteros silico-calcareos .....	53
Geomorfología de la arena sílice .....	56
Características de los materiales a utilizar.....	57
El sílice como material para construcción .....	57
Características del sílice .....	58
La cal como material para construcción .....	59
Principales derivados de la caliza.....	60
Variedades comerciales: .....	60
• Cal Viva:.....	60
• Cal hidratada:.....	60
• Cal hidráulica:.....	60
Características del agua para la elaboración de un mortero .....	61
<b>PROCESO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>63</b>
Proceso de experimentación .....	64
Humedad de la arena de sílice para la granulometría .....	64
Calculo del porcentaje de humedad de la arena de sílice .....	65
Lavado de la arena de sílice .....	65
Análisis granulométrico de la sílice.....	67
1. Tamizado de la arena de sílice .....	67
Calculo de módulo de finura e la arena de sílice .....	69
Calculo porcentaje de error de la granulometría .....	69
Elaboración de probetas cubicas de mortero silico-calcareo .....	69
Cálculos de dosificación de mortero silico-calcareo .....	70

Calculo de volumen de mortero silico-calcareo para probetas cubicas .....	70
Volumen de mortero para una probeta cubica .....	71
Calculo de mortero en relación a un metro cubico .....	71
Proceso de mezclado de las materias primas .....	72
Preparación de las probetas cubicas de bronce .....	74
Proceso de curado de las probetas.....	75
Curado del mortero silico-calcareo en el autoclave .....	77
Ensayos de laboratorio .....	80
Resistencia a la compresión.....	80
Absorción de agua.....	80
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>82</b>
Recalculo de dosificaciones de mortero silico-calcareo .....	84
Ensayos de compresión de probetas cubicas .....	85
Ensayos de absorción de agua en probetas cubicas .....	90
Conclusiones .....	91
Recomendaciones.....	93
<b>Bibliografía .....</b>	<b>94</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>95</b>

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura 1. Clasificación de los morteros según el momento histórico ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 2. Clasificación de los morteros según el tipo de conglomerante histórico. ....	25
Figura 3. Ciclo de la cal. ....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4. Mortero de cemento portland .....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 5. Tipos de morteros .....	47
Figura 6. Mapa de la provincia del Azuay .....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 7. Mapa geológico de la república del Ecuador .....	55
Figura 8. Clasificación de unidades de mampostería.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 9. Norma Técnica Colombiana para mamposterías.....	80
Figura 10. Sector de Llacao provincia del Azuay, Cuenca, Ecuador .....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 11. Sector de Llacao provincia del Azuay, Cuenca, Ecuador .....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 12. Arena de sílice insitu .....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 13. Arena de sílice .....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 14. Muestras de arena de sílice.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 15. Muestras de arena de sílice recipiente 1 y 2 .....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 16. Arena de sílice 1000 gr.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 17. Lavado de la arena.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 18. Impurezas y finos de la arena. ....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 19. Tamizado del material. ....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 20. Probetas cubicas 125 cm <sup>3</sup> de bronce .....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 21. Pesaje de arena de sílice .....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 22. Mezclado de las materias primas en batidora.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 23. Batidora electrica para mezclado.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 24. Preparación de probetas de bronce .....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 25. Desencofrado de probetas.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 26. Maquina autoclave previo a revision.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 27. Reparacion de autoclave.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 28. Calibracion de autoclave previo a su uso .....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 29. Probetas cubicas dosificacion 1:3.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 30. Camara interior de autoclave.....	¡Error! Marcador no definido.



Figura 31. Ensayos a la compresion ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 32. Grafica de promedios de cubos fracturados ..... **¡Error! Marcador no definido.**

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Colección Científico Técnico .....	31
Tabla 2. Colección Científico Técnica Moléculas de sulfato de calcio .....	32
Tabla 3. Evolución histórica de la construcción con yeso .....	33
Tabla 4. Colección Científico Técnica. Moléculas de hidróxido de calcio .....	37
Tabla 5. Estructura cristalina del silicio.....	40
Tabla 6. Norm American Society for Testing and Materials.....	48
Tabla 7. Normas Españolas UNE. ....	49
Tabla 8. Norma Técnica Ecuatoriana.....	50
Tabla 9. Clasificación de piezas de mampostería .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 10. Norma Técnica Colombiana 4017 .....	81
Tabla 11. Porcentaje promedio de humedad.....	65
Tabla 12. Análisis granulométrico.....	68
Tabla 13. Pesos de arena de sílice.....	68
Tabla 14. Dosificaciones.....	72
Tabla 15. Dosificaciones.....	85
Tabla 16. Dosificacion 1:2.....	86
Tabla 17. Dosificacion 1:3.....	86
Tabla 18. Dosificacion 1:4.....	87
Tabla 19. Dosificacion 1:5.....	87
Tabla 20. Dosificacion 1:6.....	88
Tabla 21. Dosificacion 1:7.....	88
Tabla 22. Resultados de ensayos de compresion .....	89
Tabla 23. Resultado de ensayos de absorción de agua .....	90

Durante los últimos años se ha presentado un marcado y rápido crecimiento de la ciudad, tanto a nivel urbano como constructivo, generando así la utilización del cemento como material principal, sin embargo la contaminación que genera su elaboración es un tema de preocupación tanto local como a nivel global.

Dentro del proceso de elaboración del cemento, el 7 % aproximadamente de las partículas son pesadas, es decir, superiores a 60 micras, lo que las configura como partículas sedimentables, que caerán muy cerca de la planta, con casi independencia de la altura de la chimenea. Alrededor de un 25 % de las partículas se encuentran entre 1 y 10 micras. Dichas partículas serán transportadas a muy largas distancias. Sólo un 3 % de las partículas son submicrónicas. Los focos de emisión de polvos en una fábrica de cemento son muy numerosos. (Villalonga, 1977).

Es así que mediante un análisis investigativo se puede encontrar alternativas de materiales para el campo constructivo, y generar la implementación de nuevas alternativas, contribuyendo así con la reducción de la contaminación por parte de las cementeras que se encuentran en el Austro de nuestro país.

En Ecuador existen minerales metálicos y no metálicos que ofrecen buenas perspectivas para la actividad de la construcción. El INIGEMM (Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico) ha encontrado recursos de minerales en 20 de las 24 provincias el país, con 23 clases de materiales diferentes (INIGEMM, 2011).

La explotación minera de materiales silíceos para usos industriales distintos de su empleo como áridos de construcción y piedra de cantería ascendió de 32.147,72 tm, en 2004, a niveles de producción notables es así que el año 2010 alcanza una producción de 60.018,80 tm (INIGEMM, 2011).

La investigación tiene por finalidad producir información respecto a los procedimientos y técnicas empleados para la elaboración de ladrillos o bloques (probetas cubicas) de mortero a base de sílice y cal, puesto que se ha determinado que los datos existentes respecto a esta temática son limitados. Ante esto, se pretende fundamentar criterios que en investigaciones futuras y en la práctica profesional puedan ser utilizados para la elaboración de bloques o ladrillos con el uso del mortero, generando así una nueva alternativa de material de construcción que se acople con el medio ambiente sin generar contaminación.

Al realizar un análisis acerca de la dosificación para los morteros, empleando insumos como el sílice y cal, los resultados obtenidos serán de gran relevancia, puesto que, permitirán formular una propuesta alternativa acorde a la reglamentación determinada por las Normas INEN y la NEC-SE-EP (mampostería estructural), la cual hace referencia al empleo de materiales de uso común en el Ecuador.

## GENERAL

Elaborar un prototipo de mortero de sílice y cal, el cual permita ser utilizado como alternativa de material de construcción para futuras aplicaciones.

## ESPECÍFICOS

- Revisar bibliografía sobre morteros de sílice y cal, su aplicación, uso como material de construcción y normas técnicas para morteros, captación de la materia prima a ser utilizada.
- Realizar prototipos de morteros de sílice y cal, someterlos a pruebas de laboratorio de: compresión y absorción de agua.
- Presentar resultados y conclusiones acerca de los morteros de sílice y cal.

Revisión Bibliográfica: Esta metodología se versa en la selección y análisis de fuentes tanto físicas como digitales que permiten adquirir información acerca del uso y aplicación de morteros que utilizan tanto sílice y cal en la construcción, en los cuales se analizará:

- Tesis.
- Normas técnicas.
- Manuales de construcción

Análisis de Casos: Es necesario conocer algunos de los proyectos encontrados tanto a nivel mundial, como local. Esta aproximación nos permitirá encontrar similitudes y dosificaciones aproximadas de los morteros de sílice y cal para una posterior aplicación, se analizan los siguientes parámetros:

- Tipos de sílice y cal y sus características
- Observaciones y especificaciones

Uso de laboratorios: El uso de este tipo de infraestructura permite realizar prácticas basadas en el método experimental, específicamente en la implementación de estudios acerca de la mecánica de los morteros realizados a:

- Compresión
- Absorción de agua

De acuerdo a la normativa técnica establecida para los morteros de pega estipulada en la NTE INEN 0247 (ASTM C207), las principales características que deben poseer los mismos son una buena plasticidad, consistencia y la adecuada capacidad para conservar una mínima cantidad de agua que permita la hidratación del cemento; asimismo deben brindar las garantías necesarias respecto a la adherencia con las unidades de mampostería, permitiendo el adecuado desarrollo de la actividad cementante.

La falta de información y conocimiento acerca de la existencia de nuevos materiales alternativos que puedan ser empleados en el campo constructivo, genera que la gama de opciones de materiales aplicables en la ejecución de obras civiles como arquitectónicas se torne limitada. Consecuentemente es necesario realizar investigación sobre nuevas técnicas y materiales que puedan ser aplicados como alternativos, es así que se plantea un análisis de morteros en base a sílice y cal.

La zona austral del Ecuador cuenta con la materia prima necesaria para la aplicación del presente trabajo de investigación, es el caso particular los sectores de Llaoco y Deleg respectivamente, los cuales sirven como fuente de captación de la materia prima para el uso de este trabajo investigativo.



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE CUENCA  
COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

# CAPÍTULO 1



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE CUENCA  
COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

MARCO TEÓRICO

## 1. RECUENTO HISTÓRICO: USOS, TIPOS Y CASOS SINGULARES

Entre estudios acerca de los morteros, es conocida la evolución que poseen a lo largo de la historia (Manjón Miguel & Martínez Martínez 2007, 7), los distintos tipos de morteros que fueron descubiertos con el pasar de los años fueron aplicados en la construcción por parte del hombre, solventando la necesidad de buscar su cobijo, nace con dicha idea. Su vinculación a materiales primitivos como la piedra, la madera, el agua, define su múltiple capacidad de configuración, evolución conforme se desarrolla el pensamiento del hombre, así como las demandas temporales vinculadas. Por tales motivos, la revisión de los procesos de constitución, evolución y adaptación a la construcción, es de interés para entender su importancia en la arquitectura mundial.

Desde otra perspectiva se sabe a día de hoy que la inquietud por el conocimiento del mortero como material constructivo, se ha incrementado gracias al auge de la restauración arquitectónica, basada en la recuperación de monumentos y en la musealización de yacimientos arqueológicos (Guerra García 2018, 53 citando a Alarçao, 2008; Robador González, 2002). Es así, que la iniciativa humana por innovar los sistemas constructivos que le rodean, así como las características de los materiales que utiliza, fueron generando un desarrollo progresivo de distintos tipos de morteros, que, en respuesta a necesidades de cada tiempo, definen la evolución del mismo.

De ello, una vez más la importancia de su estudio a partir del relato de los pormenores, los cuales se desarrollan a continuación desde el contexto macro, hacia el micro; es decir, desde lo internacional hacia lo local, como desde lo más antiguo hacia lo contemporáneo.

### 1.1. Nivel internacional

Tras haber indicado que el origen del mortero, es tan antiguo como la necesidad del hombre en buscar un lugar que lo cobije, el recuento de su presencia en la historia de la arquitectura y la construcción se remonta a los primeros asentamientos humanos en el planeta, recogido

además en libros de carga histórica y simbólica en la humanidad como la Biblia. En Deuteronomio 5-27,2, se habla de la cal como ligante y el mortero de cal (Alvarez, 1991), elementos que fueron utilizados para la construcción de diferentes estructuras. Así, se han encontrado en monumentos megalíticos, cementantes con base en arcillas a las que, al añadirles agua, era posible su manipulación, y que, al secarse, adquieran gran dureza; estos primeros morteros, son de tierra con cenizas y restos óseos, y trasciende su uso a muros y pavimentos (Rodríguez Gordillo, 2006).

En el proceso histórico, en muchos aspectos más, debe diferenciarse con claridad los aportes y condiciones de desarrollo de las civilizaciones en Oriente y Mesopotamia, en las cuales se evidencia un desarrollo mayor a otros territorios con poblamiento en épocas semejantes. Aportes sustanciales son el uso del mortero de cal en la llamada *Máscara de Jericó*, datada del año 7 mil a.C. época del Neolítico, en donde también se han encontrado estructuras de ladrillo y suelos de mortero de cal pulido (Alvarez, 1991), parecidos a los actuales de hormigón pulido. Bajo estas referencias y otras encontradas en Turquía –Çatal Hüyük- sobre morteros de tierra (Varas, Álvarez de Buergo & Fort, 2007) con antigüedad superior a los 10 mil años (Reller, 1992) y morteros decorativos de cal, se evidencia el uso generalizado del material, así como la identificación por parte del hombre de recursos para su elaboración. De ello, se puede definir a un mortero como un material compuesto, formado por un aglomerante (tierra o cal hasta el momento), un árido (del tamaño de la arena) y agua; concepto plenamente aplicable hasta la actualidad.

En las civilizaciones Asirias, se emplearía una mayor variedad de morteros (Graciani 2005, 549), con arena y calizas trituradas, sin inclusión de betunes, pese a la abundancia del material, que fuera utilizado en otros territorios y momentos históricos, posiblemente para mejorar la adherencia de los morteros primitivos de tierra (Graciani 2005, 548), además de combinarse de manera interesante con las superficies encaladas. Ejemplos de lo dicho son las ciudades Babilónicas de Hit o Mari. Los Hititas también utilizaron morteros de cal, para revestir el interior de cuevas (Usedo Vallés, 2015).

Hacia el año 2000 A.C, en Grecia se utilizaban cales apagadas, es decir, el hidróxido de calcio que es un compuesto formado gracias a la mezcla entre el óxido de calcio también conocido como cal y agua, pudiendo de esta manera ser utilizado (Saavedra Vera, 2013, 3) en conjunto con *tierras de Santorini* para producir morteros de pavimentos. Según Vitruvio, los helénicos también agregaban polvo volcánico o ladrillo molido a la mezcla, para mejorar las características hoy identificadas como hidráulicas a los morteros (Rodríguez Gordillo 2006). Por su parte en Roma, hacia el año 200 A.C, según Vitruvio ya se producía el llamado *cemento romano*, utilizando cal y puzolanas y colocándolo a manera de mortero de revestimiento (Varas, Álvarez de Buergo & Fort, 2007, 7). En ambos casos, al agregar pedazos de teja y áridos gruesos, respectivamente, la evolución del mortero hacia el hormigón actual, es evidente.

Otros ejemplos de usos de los morteros de cal son los asentamientos del 1500 a C. en Micenas, Minos y en diversas edificaciones presentes en Festo y Malia, ciudades pertenecientes a la isla de Creta, cuyas técnicas también fueron empleadas posteriormente en las construcciones romanas, específicamente en creaciones hidráulicas (pisos, paredes, cisternas, columnas, y acueductos). Por otro lado, cabe mencionar que en las construcciones se aplicó el mortero multicapa, lo cual ha sido documentado gracias a las investigaciones en el acueducto de Cesarea (Malinowski, 1979 y 1982). En esta estructura se implementaron diversas capas, lo que permitió garantizar un endurecido efectivo. Por su parte, en la época egipcia también se puede identificar la presencia de morteros, si bien la cal no tiene mayor trascendencia, si se utilizaba yeso (Álvarez Galindo, Pérez & García Casado, 1991). Martinet (citado en Álvarez Galindo *et al.*, 1991, p.54) menciona que:

*La ausencia de mortero de cal en la época faraónica sorprende, dada la cercanía de las canteras de caliza (...). Puede explicarse por la elevada temperatura necesaria para la calcinación en una región en la que la madera, como fuente de energía no era muy abundante.*

Los antiguos egipcios fueron los primeros en utilizar el mortero de yeso semihidratado en la mampostería de bloques de piedra para la construcción de la pirámide de Keops, hacia 2600 a.C. (Manjón Miguel & Martínez Martínez 2007, 7); por tanto, en la antigüedad el mortero de yeso se utilizó también como recubrimiento, mientras que en algunos casos aislados como

ligante; otro caso de uso del mismo material es el Templo de Amón en Karnak. Al conocer los dos particulares se puede decir que durante el Antiguo Egipto se desarrolló el más grande conocimiento y uso del yeso, su elaboración y aplicaciones.

En la Época Medieval, según Rodríguez Gordillo (2006), el primer segmento temporal no representa aporte alguno sobre la preexistencia romana, creyendo incluso que el retroceso fue significativo. Durante la segunda etapa, se reporta el aporte tecnológico en la producción de mortero, se inicia la definición y uso del mortero de cemento, obtenido a partir de la adición de arcilla, a la cal apagada, arena y agua, ya utilizada por los romanos (Manjón Miguel & Martínez Martínez 2007, 624). Este proceso de mejoramiento se produce desde el conocimiento y evolución previa, por lo que los morteros medievales son herederos directos de la tradición constructiva previa (Rodríguez Gordillo, 2006). A partir del siglo XII, la calidad en los morteros mejora nuevamente, después del vacío dejado con la caída del Imperio Romano. Los morteros se presentaban como una mezcla constituida por gravas gruesas, cal y carbón obtenido de la leña. Al observar el alto contenido de carbón que poseía la mezcla, se puede concluir que este representa una impureza, por el contrario, se puede asumir que este material de carácter poroso tiene una función similar al de los pedazos de tierra cocida. En el siglo siguiente, por causas económicas se presentan limitaciones para la elaboración de los morteros por parte de los constructores, pues la cal no era tan buena y la arena era mezclada con tierra; esto puede ser verificado por la calidad tan pobre que poseían los morteros presentes las estructuras de las catedrales de Troyes, Chalon-sur-Marne, Laon y Sées (Furlan, 1975 citado en Álvarez Galindo, Pérez & García Casado, 1991).

Entre los siglos XIV y XV se puede notar mayor cuidado en la selección de materias primas; se dejó de usar las gravas gruesas y el árido usado era lavado, para eliminar las arcillas y tierras que puedan estar presente, todo esto hizo que los morteros sean de mejor calidad. Durante el siguiente siglo se inicia la fabricación de ligantes hidráulicos, es decir, que se endurecieran con el agua, sin embargo se sabe que tanto griegos como romanos supieron elaborar los denominados morteros estables con el uso de agua, cal, sílice y puzolana (Furlan, 1975 citado en Álvarez Galindo, Pérez & García Casado, 1991), remontando por tanto la historia al menos un milenio atrás, cuando se identifica dicho aporte del sílice a la construcción, así como de los ligantes hidráulicos, ambos de interés contemporáneo.

En el Renacimiento y Barroco italiano, se produce un gran desarrollo en el empleo de estucos y revocos de cal; en la mayoría de los casos las obras de ladrillo, incluyendo las columnas, eran revestidas con tal material, ya que la piedra era empleada principalmente para elaborar detalles ornamentales, como capiteles de columnas, basas, huecos de puertas y ventanas (jambas, dinteles y alfeizares). Se hicieron también suelos de estuco (Cazalla Vázquez 2002), y así mismo se sabe que incluían a más del yeso, sílice.

Desde 1756, con la evolución de los aglomerantes hidráulicos elaborados con mezclas naturales y artificiales, el crecimiento, modernización e implementación de infraestructura en las urbes se hace posible, y tiene como máxima aplicación de morteros y hormigones el proyecto de la *Citté Industrielle*, de Toni Garnier, entre 1901 y 1904 (Varas, Álvarez de Buergo & Fort, 2007, 181). Hacia el siglo XIX, Vicat (1818) y Joseph Aspdin (1824), y la cocción de la caliza y arcilla a altas temperaturas, definen el inicio de los cementos modernos (Manjón Miguel & Martínez Martínez 2007, 624), y por tanto de los morteros y hormigones. Asimismo, Smeaton gracias a la búsqueda de morteros que tenga por característica el que fraguasen en presencia de agua, realizó experimentos en los cuales empleaba caliza y grandes proporciones de arcilla, lo que dio como resultado un ligante hidráulico, lo que corroboró que la arcilla brinda esta propiedad a los morteros. Esto se suscitó durante la edificación del Faro de Eddyston localizado en Inglaterra. (Ortega, 2001).

En lo posterior, James Frost (1811) adquiere la patente referida a la producción del cemento, no obstante, será hasta el año de 1824 que Joseph Apsdin implementará mejoras en la fabricación del mismo (Álvarez Galindo, Pérez & García Casado, 1991); de esta forma el cemento adquiere radical importancia en los procesos de construcción desplazando a la cal como material primordial.

Pocos años después, en 1824, Joseph Apsdin, un albañil de Wakefield, adquirió la patente de un cemento cuya dureza es comparable a la piedra Portland, considerándose de ello, el origen del cemento del mismo nombre. El procedimiento que empleaba Apsdin se versaba en desmenuzar la caliza y calcinarla, con lo que obtenía cal que era mezclada con tierra y arcilla. Posteriormente esta mezcla era hidratada de manera meticulosa. El siguiente paso del

procedimiento era calcinar la mezcla y volver a desmenuzarla para producir el desprendimiento de residuos de ácido carbónico. No obstante, debido a que las temperaturas empleadas en el proceso no eran altas, la calidad del cemento obtenido era baja. (Furlan, 1975, citado en Álvarez Galindo, Pérez & García Casado, 1991).

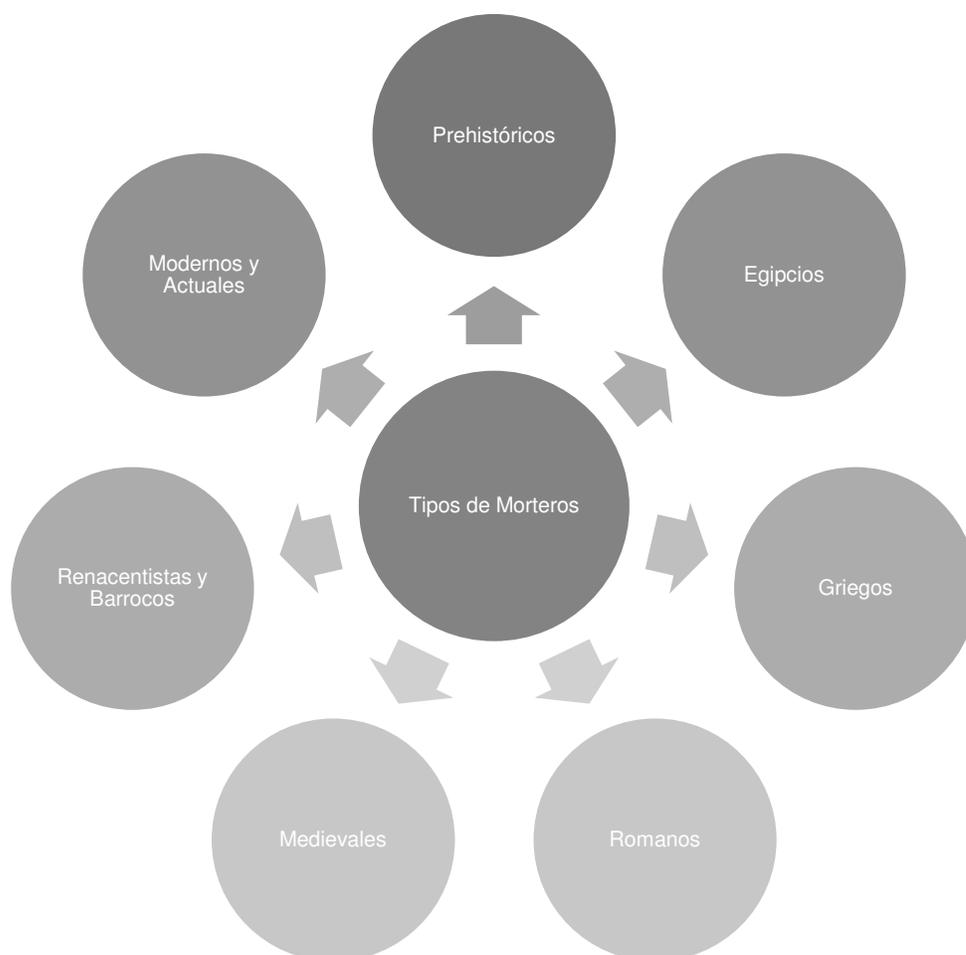
Los cementos producidos desde 1850 se obtuvieron con procedimientos modernos; para ello se empleaba un molino humedecido en el cual se trataba la cal y la arcilla, además, las temperaturas utilizadas para calcinar la mezcla llegaban hasta los 1300° y 1500° C. Gracias a esto, la caliza se transforma en cal viva, la cual puede ser unida a través de un proceso químico a la arcilla, obteniendo como resultado un clinker de cemento Pórtland. Luego se procede a moler y calcinar el clinker blanco, para seguidamente enfriarlo agregando también yeso en pequeñas proporciones con lo que se puede aumentar el tiempo de fraguado. El nuevo producto fue expuesto a través de una exhibición en la Exposición Universal de 1851, lo que generó una enorme propaganda. Desde ese instante, la mayoría de los desarrolladores de ligantes empezaron a emplear altas temperaturas para elaboración de los mismo, asimismo, este hecho conllevó a que la cal sea reemplazada progresivamente por el cemento (Álvarez Galindo, Pérez & García Casado, 1991).

Por su parte, en Occidente y según investigaciones de Villaseñor Alonso & Barba Pingarrón (2012), se sabe qué hace 3000 años, civilizaciones e imperios mesoamericanos utilizaban morteros de cal y tierra en sus construcciones. En México, los Mayas poseían grandes recursos naturales de roca caliza, lo cual promovió la utilización y evolución del uso del material, asimismo, cabe resaltar que los Teotihuacanos vieron como necesario implementar tecnología para la producción, puesto que a diferencia de los Mayas, no poseían grandes yacimientos de este material, siendo su uso limitado y restringido, lo que trajo como consecuencia que el espesor de las capas empleadas sea milimétrico, en contraste las capas de los mayas que tenía un espesor superior. Gracias a estas circunstancias, la cultura Maya pudo realizar estructuras de gran complejidad como lo son las bóvedas, especialmente del asentamiento de El Pesquero en el Petén perteneciente a Guatemala, en donde se usa para cubrir tumbas (Barba & Villaseñor, 2013). Así mismo se ha encontrado evidencia en las culturas de los Andes del

Perú, en donde se emplearon la cal como colorante mezclada con asfalto y en ocasiones con barro (Cazalla Vázquez, 2002).

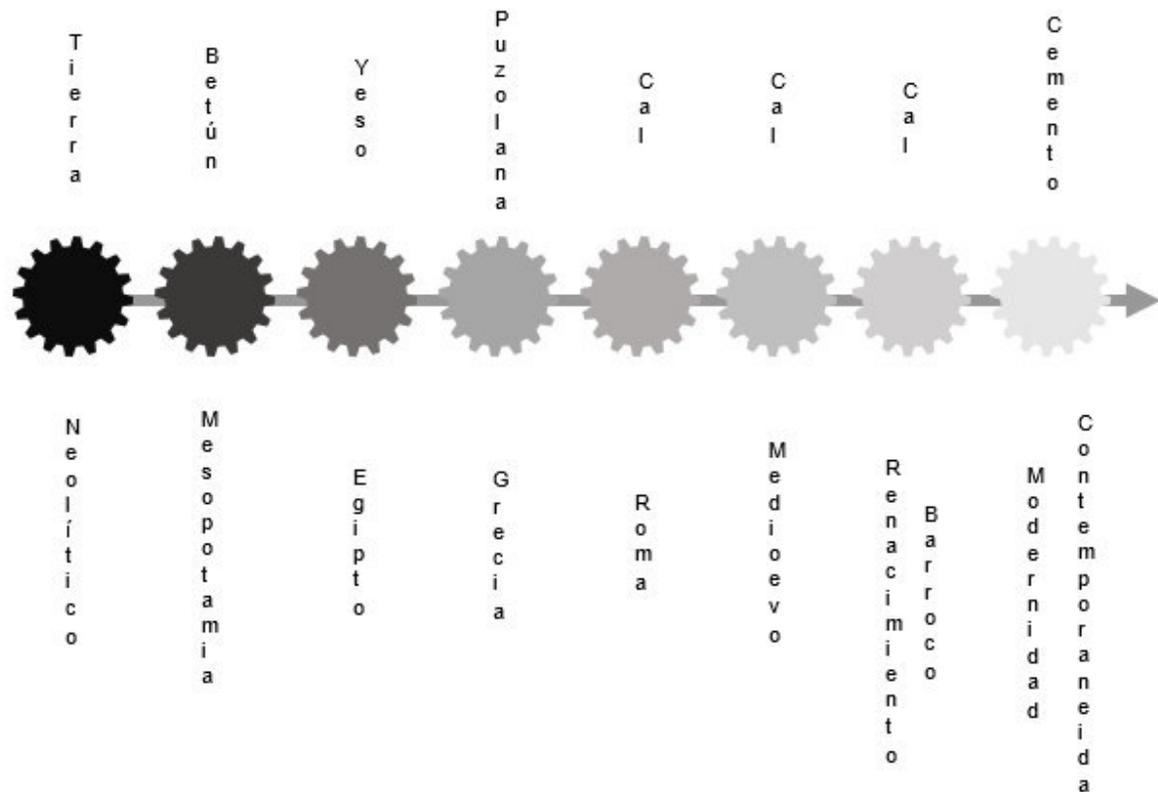
Finalmente, en el contexto de este macro recuento según Cazalla Vázquez (2002), es posible establecer tipos de morteros. Esta apreciación es ratificada por Rodríguez Gordillo (2006). Al considerar la evolución del mortero en su tiempo histórico, se puede identificar el conglomerante que da lugar a la evolución del material, sus características constructivas y por tanto de la construcción (Figura 1.) Así mismo y según los usos históricos asociados, es posible establecer otra clasificación, según el mismo Cazalla Vázquez (2002), la cual, para fines constructivos, resulta de mayor interés, y queda descrita en el gráfico 2.

*Gráfico 1. Clasificación de los morteros según el momento histórico*



*Fuente y Elaboración:* Cazalla Vázquez 2002 & Rodríguez Gordillo 2006.

Gráfico 2. Clasificación de los morteros según el tipo de conglomerante histórico



Fuente y Elaboración: Autor.

### Nivel local

Según Pazmiño (2004), la técnica constructiva más antigua del Ecuador para la construcción de paredes, utilizó un armazón base de caña o madera, recubierto por ambos lados de barro, el cual presente, por una parte, gran similitud con el bahareque, así como muestra la utilización de la tierra, en forma de barro, es decir, mezclada con agua, y por ende formando un mortero, para dicha labor. La autora refiere a la cultura Valdivia (3500 – 1800 A.C), que se extendió hasta el año 1500 d.C., cuando se diversifican los materiales, aunque se sigue utilizando el mortero de tierra para formar muros de piedra vista, rellenos de él, en compañía de lajas de piedra y bloques de *cangahua* (Caldas & Sigcha, 2017). La arquitectura prehispánica monumental se ha servido de formas mixtas

combinadas con muros curvos y rectos: en ambos casos con utilización de materiales térreos en forma de adobe o tapial (Kingman, 1989).

En época Inca, el trabajo en piedra predominó como medio y sistema de edificación. Para su definición, no recurre a argamasa o mortero alguno, sin embargo, este no dejó de usarse, como tampoco dejó de usarse la tierra. Al llegar la Colonia, logrará posicionarse como el más común sistema edificatorio de buena parte de las nuevas ciudades americanas, como bien lo dice Gonzáles (2004, 98).

*“(...) las guerras de conquista emprendidas por los españoles y portugueses y la instauración de gobiernos coloniales durante todo el siglo XVI prepararon el terreno para sustituir arquitecturas y urbanismos indígenas por edificios y ciudades semejantes a los de la península ibérica de esa época.”*

Durante este proceso, la arquitectura reflejó la incorporación de materiales como la cal, el ladrillo y la teja, de manera progresiva y con ciertas dificultades. Arteaga (2000) en su investigación titulada *Artesano de Cuenca en la época Colonial*, detalla la presencia de un horno de cal y un tejear lo cual certifica dicha aseveración. Sin embargo, y antes del uso de la cal como material para entre otras cosas la elaboración de mortero, ampliamente se utilizó la tierra para dicho fin, de ello, Caldas & Sigcha (2017) indican que los primeros registros de la cal en el medio, es de 1600.

Desde entonces, la cal fue usada ampliamente. Según Vargas (2018, citado en Fernández 2018, 24), fue utilizada para la elaboración de canales dedicados a transportar agua en la ciudad de Cuenca. Esto se evidenció durante la intervención de la calle Santa Ana, puesto que, al realizar las excavaciones correspondientes se pudo constatar la presencia de los mencionados canales construidos con base a ladrillo y piedra que eran unidos mediante mortero de cal y arena. La función de estos canales era la de permitir la entrada y salida de agua desde el centro histórico de la ciudad. En contraste, se menciona lo comentado por De la Torre Conrado (2012) quien asevera que, tras los trabajos de excavación realizados en la plaza de Santa Clara de la ciudad de Quito, se evidenció la existencia de canales pertenecientes siglo XVI, y que fueron elaborados con ladrillo, teja y piedra, además de ser unidos por cal y arena. Según la manera en la que los canales se

encuentran dispuestos, se puede especular que su función era la de conducir agua a una pileta existente en la mencionada plaza.

En este panorama, la utilización de tierra y cal como constituyentes de los morteros más comunes, encuentra con la renovación y modernización, un nuevo campo de aplicación combinado con los materiales importados y las adaptaciones locales.

*“(...) los nuevos modelos arquitectónicos, empezaron a llegar nuevos materiales de construcción provenientes del viejo continente, estos productos venían desde el estrecho de Magallanes a Guayaquil, y de allí se transportaban localmente por diferentes medios de transportes a las ciudades del país.” (Artigas & Rezéndiz, 2013).*

Este proceso de transformación se extenderá hasta finales del siglo XIX, cuando se inserta una nueva ola modernizadora. Materiales como el hormigón y el hierro hacen su aparición para desplazar a las anteriores tendencias historicistas europeas. En este momento, el mortero de cemento y todos los derivados del cemento en sí, desplazan a sus antecesores, promoviendo la generación de arquitectura ecléctica e infraestructura civil. Según los datos bibliográficos, se afirma que la primera fábrica de cemento estuvo emplazada en la ciudad de Guayaquil durante el año de 1923, cuya marca era *Cóndor*; asimismo, en la localidad la fábrica de cementos *Guapan* se coloca como una de las primeras, siendo constituida en el año de 1955, no obstante, aún no iniciaba su producción, puesto que en 1962 inicia la construcción de su infraestructura y en 1965 arranca la producción. Un año después de iniciar los procesos productivos, la empresa tuvo que ampliar su capacidad debido a la gran demandad que se presentaba (Delgado & Negrete, 2012).

Con este impulso modernizador, materiales como la cal, yeso y tierra, si bien presentes en la arquitectura de las ciudades, se mantienen en uso limitado, a pesar de ello y a día de hoy, bajo la conciencia ecológica, nuevas alternativas de elaboración de morteros, y en general de materiales son cada vez más insistentes, así como el regreso a las técnicas tradicionales. A consideración de Badia Pascual (2011), la capacidad de compatibilidad, armonía y neutralidad, supone a día de hoy un especial interés en el campo de la construcción, y es justamente el segmento en el cual los materiales tradicionales han recuperado espacio y promovido la innovación de procesos en conjunto con materiales contemporáneos.

En la ciudad de Cuenca, lugar donde se realiza la presente investigación para el análisis de un mortero que pueda ser implementado en la elaboración de unidades de mampostería a partir de un mortero sílico-calcáreo, se observa que existe poco interés e importancia en sus diferentes aplicaciones, pese a estar presente en los sistemas de construcción desde bastante tiempo atrás y con diferentes características.

### **Materiales utilizados: variantes comunes**

Sobre el proceso histórico en el marco internacional y local, ha sido posible identificar materiales constantes en la producción de morteros, aquellos que le otorgan al material compuesto características singulares, y fomentan la evolución temporal. De esta manera, los elementos base para la elaboración de un mortero de las características planteadas son el yeso, tierra, cal, sílice y el cemento.

### **Yeso**

*Gráfico 3. Yeso*



*Fuente: Materiales de construcción.com*

Es necesario entender y realizar un proceso constructivo histórico del yeso, pues con ello podemos relacionar con el desarrollo de esta investigación y comprender los diversos materiales que intervienen en un diseño experimental. Procedente de la piedra de yeso, es un sulfato cálcico bihidratado ( $\text{SO}_4\text{H}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ ), utilizado desde la antigüedad por su característica de calcinación baja. Se utilizaba en la fabricación de morteros de construcción y revestimientos de paramentos.

(Cazalla Vásquez, 2002). Es un material difundido en ciertas arquitecturas, por su fácil manejo, moldeado y deshidratación parcial a baja temperatura.

Entre los griegos durante la época clásica de su civilización, el yeso poseía un uso generalizado, siendo empleado para elaborar estucos y guarnecidos, así como para realizar revestimientos (Villanueva y García Santos, 2001). En lo que respecta a la referencia escrita acerca del gypsos, este proviene de una palabra griega cuyo significado es tierra más agua. Este material fue utilizado no solo para el yeso, sino también para la cal. Al constituirse como un nuevo material bajo la creación del hombre, su inicio crea diversas alternativas y confusiones, pues en el proceso de fabricación la piedra de yeso era sometida a calcinación utilizando una temperatura que superaba los 900 C, pudiéndose transformar en óxido de calcio o cal viva.

La construcción requiere de procesos cada vez más acelerados, por ello los obreros generalmente en sus inicios mezclaban el yeso con la cal, para acelerar el proceso de fraguado y estabilización con la cal. (Villanueva, 2004).

A lo largo de la historia las distintas civilizaciones usaron distintos tipos de morteros para la construcción de viviendas, se encuentran registros del uso del yeso en la cultura romana y en varias regiones del imperio, como en Villajoyosa (Torres Balbás, 1995), más, las culturas mesopotámicas utilizaron el yeso, y fueron éstos quienes heredaron a la civilización consiguiente como es la Persia sasánida, y el traslado del sistema a más civilizaciones. El pueblo árabe, que empleó este tipo de material durante la época de la España medieval, transmitió el sistema constructivo, y a su vez los ibéricos lo trasladaron al nuevo mundo. Esta sucesión del sistema constructivo ya sea como conglomerante o como decorativo del yeso es posible en cada región en el que este se encuentre, pues no se encuentra en todas las partes del planeta, y su extracción depende de la ubicación geográfica y los yacimientos que de él se pueden extraer.

El yeso es obtenido gracias a un proceso de evaporación progresiva de aguas que poseen gran cantidad de cloruros y sulfatos procedentes de ambientes marinos someros cuyo clima es por lo general cálido y seco. Este proceso permite la precipitación primeramente de las sales y luego de los carbonatos. Las sales proceden de la disolución de antiguos depósitos de yeso o medios

continentales que fueron en su tiempo invadidos temporalmente por el mar. Asimismo, el yeso puede ser formado a través de un proceso de hidratación de la anhidrita; también asociado a fenómenos volcánicos y termales, por las fumarolas de aguas sulfurosas; y por la acción del ácido sulfúrico proveniente de las piritas el cual actúa en la calcita de margas y arcillas calcáreas. (CCT, 2018).

En la tabla 01 presentamos los yacimientos mundiales de mayor importancia:

Tabla 1.

*Colección Científico Técnico*

PAÍS	LOCALIDAD	CARACTERÍSTICA
Alemania	Baden	-
Francia	Paris	En la cuenca de París
Italia	Toscana	Alabastros
Italia	Arco Apenínico hasta Sicilia	Formación del sulfato de calcio "Yesosa-solfífera"
España	Cádiz, Jaén, Granada, Córdoba, Asturias, Baleares, Barcelona, Guadalajara, Murcia, Valencia, Cuenca, Madrid, Segovia.	Uno de los mejores del mundo hasta el descubrimiento de los de Naica, y los mejores de Europa
Pakistán	Minas de Jewra en el Distrito de Jhelum	
Túnez	Argelia	Yacimientos de rosa del desierto
EEUU	Nuevo México y Arizona	
Canadá	Nueva Escocia	
México	Chihuahua	Uno de los yacimientos de cristales de selenita más espectaculares e importantes se encuentra en el desierto de esta localidad en la mina de Naica.

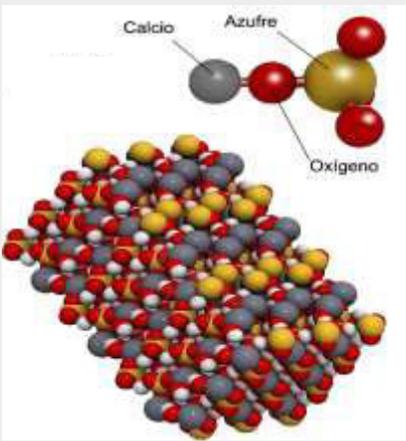
*Fuente y Elaboración:* Universidad de Málaga.

La tabla 01 da una idea de las diferentes ubicaciones de los yacimientos a nivel internacional y señala los lugares en donde se pueden analizar el avance y desarrollo de la técnica constructiva

con el material, se ha trabajado y ver con claridad como las edificaciones fueron elaboradas y las complicaciones que tuvieron en las épocas el traslado del yeso para las edificaciones ya sea como mortero (conglomerante) o decorativo. En Ecuador se tiene un yacimiento de yeso en la provincia de Loja, ubicada al sur, en el sector de Malacatos y Bramaderos. Las propiedades químicas del yeso se presentan en la tabla 02.

Tabla 2.

*Colección Científico Técnica Moléculas de sulfato de calcio (Yeso).*

Moléculas de sulfato de calcio (Yeso)	Peso molecular	172,17 gm
	Composición	Calcio 23.28 % Ca 32.57 % CaO Hidrogeno 2.34 % H 20.93 % H <sub>2</sub> O Azufre 18.62 % S 46.50 % SO <sub>3</sub> Oxígeno 55.76 % O
	Fórmula empírica	Ca (SO <sub>4</sub> ) · 2(H <sub>2</sub> O)
	Nombre del compuesto químico	Sulfato de Calcio Monosulfato de calcio dihidratado (tradicional) Sulfato de calcio dihidratado
	Reactividad	Sal poco soluble en agua, Soluble en ácido

*Fuente y Elaboración:* Universidad de Málaga.

Los acontecimientos que genera una guerra, hacen que los procesos constructivos evolucionen, por ello durante la posguerra, se generan cambios en las características del yeso, de manera más científica con el uso de aditivos. Con estos nuevos productos se puede conseguir diversidad en el material yeso, por ejemplo, con retardadores de fraguado se puede conseguir yesos lentos, utilizados en revestimientos.

Con las diversas adiciones al yeso se consigue incrementar la dureza superficial, obteniendo los yesos de altísima dureza. El recuento histórico del yeso, la composición química, los diversos tipos que se pueden crear, nos avistan el futuro de este material y las aplicaciones que han variado poco desde el desarrollo de la técnica constructiva con este material.

Existen diversos tipos de yeso con los que cuenta la industria y la construcción, en la tabla 03 se indica las etapas de selección y elaboración de los diversos tipos de yeso. En Ecuador la

adquisición del material yeso no resulta complicado, teniendo en cuenta que se tiene yacimientos que abastecen el consumo en las zonas de uso constructivo.

El yeso pasa a formar parte de una nueva etapa en la construcción, la cual posee características propias para este material.

Tabla 3.

Evolución histórica de la construcción con yeso

ETAPA	YESO ARTESANO	YESO INDUSTRIAL	YESO TERCERA GENERACIÓN
<b>MATERIA PRIMA</b>	Selección grosera Granulometría muy gruesa	Selección cuidada Granulometría media	Selección cuidada Granulometría media o fina
<b>TIPO DE HORNO</b>	Artisanal sin control de temperatura	Muchos tipos de hornos industriales con temperatura controlada	Muchos tipos de hornos industriales con temperatura controlada
<b>CUALIFICACIÓN DEL RESPONSABLE DE LA FABRICACIÓN</b>	Maestro artesano	Ingeniero	Químico
<b>FASES DEL PRODUCTO</b>	Multifase	Monofase o bifase	Multifase o bifase
<b>TIPOS DE PRODUCTOS</b>	Yeso negro Yeso blanco Yeso hidráulico	Yeso grueso Yeso fino Escayola Adhesivos	Yeso manual de fraguado controlado Yeso de proyección Yeso aligerado Yeso de proyección aligerado Adhesivos
<b>ADITIVOS Y ADICIONES</b>	En obra	En fábrica	En fábrica
<b>EMPLEO EN OBRA</b>	Guarnecidos y enlucidos Pavimentos Mortero de albañilería Encañizado	Guarnecidos y enlucidos Pasta de albañilería Cielorrasos	Revestimientos interiores Pasta de agarre
<b>PREFABRICADOS</b>	Yesones Ladrillos y bloques	Placas para techos Molduras para techos Placa de yeso laminado Bloques y paneles para tabiques	

<b>APLICADOR</b>	Albañil Yesaire	Albañil Yesaire Escayolista Montador	Aplicador Yesaire
------------------	--------------------	---	----------------------

*Fuente y Elaboración:* Luis de Villanueva.

### 1.1.1. Cal

*Gráfico 4. Rocas Calizas*



*Fuente:* Materiales de construcción.com

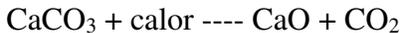
De manera similar al yeso como material, se indica la historia de la cal en la construcción de las edificaciones. En el recuento histórico de los materiales como aglomerantes de la primera parte de esta investigación, se puede ver que está presente desde las civilizaciones más primigenias. Autores como (Alvarez, 1991), describe un pasaje de la biblia en la que se cita a la cal como uno de los aglomerante.

La ubicación geográfica según los yacimientos o lugares de extracción han condicionado el uso de este material, su modo de elaboración va a estar condicionados por la geología local, pues varias edificaciones como el caso de la Catedral de Pamplona, en el que se han identificado al menos 6 tipos diferentes de morteros, que son elaborados en diversas etapas y edades arquitectónicas. Cazalla Vázquez (2002).

Algunas civilizaciones como la egipcia, utilizo muy poco los aglomerantes de cal, debido a la escasa materia prima como la madera para calcinar la piedra caliza. El material deja su uso como

aglomerante en la construcción desde que se descubre el cemento por el año 1900, y desde ahí se usa como producto químico, ya sea en tratamientos de aguas, procedimientos de trabajo con vidrio, minerales o metalurgia en general (Bessey, 1975). Desde su extracción, hasta poder ser utilizada en la construcción, pasa por varios procesos, que en conjunto ha sido nombrado como el ciclo de la cal, grafico 5.

La piedra caliza, forma en la que se encuentra la cal en la naturaleza, contiene carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ), que sometido a unos  $900\text{ }^\circ\text{C}$  aproximados, se descompone químicamente en óxido de cal (cal viva) y dióxido de carbono. La forma de la piedra caliza se mantiene, pero su peso se reduce en 45%.

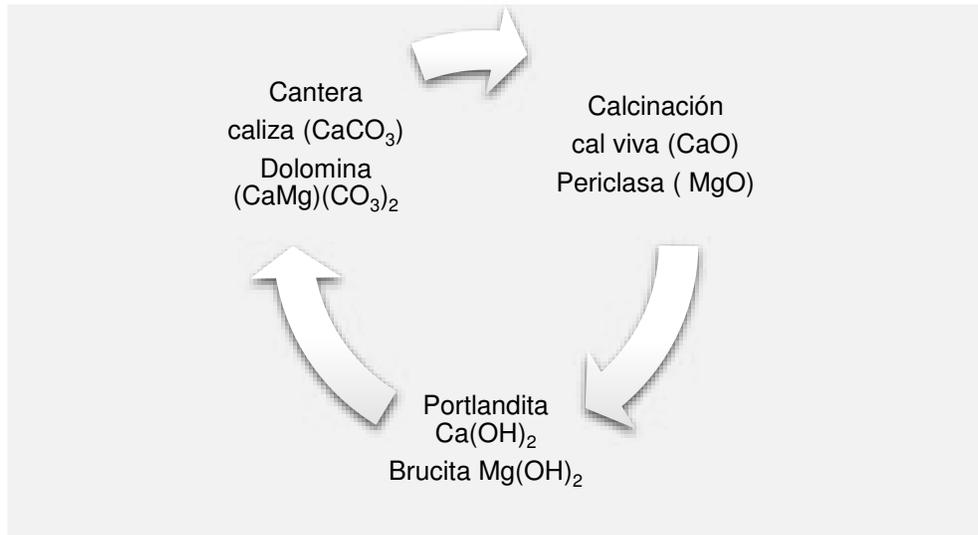


La cal se hidrata (se apaga) con agua para formar hidróxido de calcio. En este proceso de conversión de cal viva en cal muerta, el material se calienta, se expande, y se convierte en un polvo fino.  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \text{ --- } \text{Ca(OH)}_2$  La cal muerta en polvo (hidróxido de calcio) queda lista para almacenar, usar como cemento en el estuco y para otras aplicaciones. La cal muerta se mezcla con agua para formar una pasta que se usa en arquitectura. Otros materiales se agregan para producir volumen y para reducir los resquebrajamientos o fracturas causados por la contracción del producto final cuando se seca y se cura. Mientras la mezcla se cura, el dióxido de carbono en la atmósfera reacciona con el hidróxido de calcio para producir carbonato de calcio y agua que después se evapora.



El producto final completa un ciclo que comienza y termina con carbonato de calcio:  $\text{CaCO}_3$ .

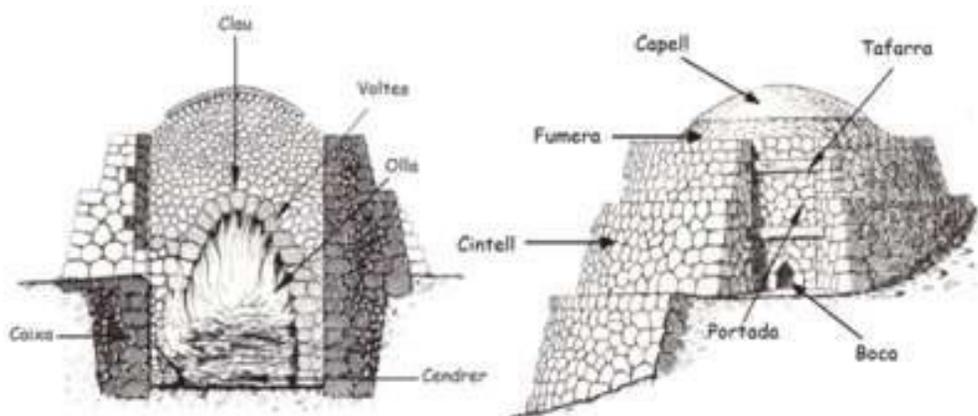
Gráfico 5 Ciclo de la cal.



Fuente y Elaboración: Cazalla Vázquez 2002 & Rodríguez Gordillo 2006.

## Hornos tradicionales para cal

Gráfico 6. Hornos para calcinación de roca caliza



Fuente: Materiales de construcción.com

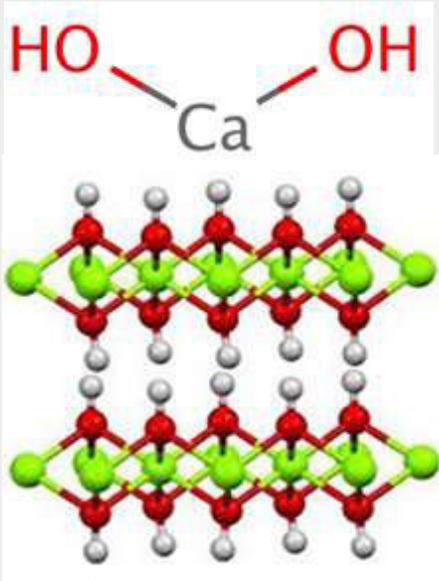
Las caleras Mesoamericanas tradicionales son estructuras construidas con combustible húmedo densamente apilado, generalmente leña fresca. Funcionan como hornos verdaderos capaces de alcanzar y mantener los 900 C necesarios para convertir el material carbonado ( $\text{CaCO}_3$ ) en cal viva ( $\text{CaO}$ ). Las caleras controlan el patrón de combustión en el centro, donde reflejan y concentran el

calor, evitan la pérdida de calor mediante el aislamiento que produce la humedad de la capa externa de la madera, y tienen un sistema de ventilación que recibe aire frío del perímetro lateral y suelta gases calientes a través de la piedra caliza que cubre la estructura. Como combustible se utiliza madera, que suele tener un contenido de agua superior al 50%, y como mineral piedra caliza, concha (Nations 1979, Pike 1980), o coral. Estas caleras son hornos y no simplemente piras. Estructuras idénticas hechas con madera seca arden como hogueras, produciendo gran pérdida de calor y dejando como único resultado una cantidad de piedra quemada.

Del resultado del proceso de calcinación se obtiene la cal viva u óxido de cal. Es un material dispuesto en terrenos esponjosos de  $0,5 \text{ kg/dm}^3$  de densidad aparente y unos  $2,3 \text{ kg/dm}^3$  de densidad real. Al añadirle agua, se extingue el óxido cálcico (apagado de la cal), obteniendo así el hidróxido cálcico con una reacción exotérmica. El grado de finura da la clasificación en cal en terrones, cal viva granular y cal viva molida. Las propiedades químicas de la cal se presentan en la tabla 04.

Tabla 4.

Colección Científico Técnica. Moléculas de hidróxido de calcio

Moléculas de hidróxido calcio (Cal)	Peso molecular	74,093 g/mol
	Composición	Concentración de CaO en un 86 a 90%, con granulometría alta, un 90% en granulometría media, y 6 a 19 mm
	Fórmula empírica	Ca (SO <sub>4</sub> ) · 2(H <sub>2</sub> O)
	Nombre del compuesto químico	Calcium oxide
	Reactividad	Corrosivo para los ojos, producen daño corneal o ceguera, inflamación de la piel con ampollas. Irritación en el tracto gastrointestinal o respiratorio.

Fuente y Elaboración: Universidad de Málaga.

## Tierra

*Gráfico 7. Arena para uso de mortero*

*Fuente:* Materiales de construcción.com

Con los antecedentes expuestos anteriormente, los procedimientos arquitectónicos tradicionales en los que se emplea tierra se encuentran presentes en gran parte de la geografía del planeta. En lugares del Ecuador, en donde los recursos económicos son precarios y el acceso mediante carreteras de buenas características transitables, no se dan, pues se procede a elaborar construcciones con materia prima que se puede encontrar de primera mano, mediante autoconstrucción, reduciendo así un rubro que tiene peso en un análisis de precios unitarios en el campo constructivo.

En esta sección de la investigación se da un alcance al tipo de tierras que son utilizadas para la construcción de edificaciones y se analiza desde los diversos depósitos de suelo. El suelo como característica es el producto de la fractura o rompimiento de diversos tipos de rocas en piezas cada vez más pequeñas, mediante procesos químicos y mecánicos. Los suelos orgánicos no se tratan, pues son demasiados compresibles, llegando a tener un porcentaje alto de humedad (entre 200 y 300%) (Brajás, 1999). Una tierra (suelo) sea cual fuere su origen, los tamaños de las partículas tienen variaciones.

Para extender el análisis acerca de las causas del uso de la tierra como material para la construcción, se puede enumerar que esta es ampliamente utilizada debido a su alto grado de acceso, el bajo costo que se requiere para su obtención, la facilidad de tratamiento, y la poca necesidad de recursos y equipos tecnológicos necesarios para su utilización. Además, es necesario

mencionar, que desde una perspectiva cultural el uso de la tierra para la construcción es parte de las costumbres que se transmiten de generación en generación, fundamentándose categorías como la autoconstrucción, es decir, la posibilidad de que la personas pueden construir sus hogares de forma autónoma (Carcedo, 2012).

No obstante, el uso de la tierra presenta ciertas desventajas de entre las cuales se mencionan a dos de las más importantes; la primera se basa en el hecho de que la tierra es un material hidrófilo, es decir que posee una gran afinidad al agua, absorbiendo la misma desde el aire, lo que provoca degradación y disminución de la durabilidad trayendo como consecuencia que las estructuras deban ser rehabilitadas en lapsos anuales; el segundo aspecto se versa en la baja resistencia mecánica que posee en comparación a otros materiales de construcción, esto debido a que no tiene ningún tipo de tratamiento químico o térmico, haciendo necesaria la inclusión de fibras para aumentar su resistencia (Carcedo, 2012).

## Sílice

*Gráfico 8. Arena de sílice*



*Fuente: Materiales de construcción.com*

Este material se utilizó en la era paleolítica, como una herramienta, debido a su abundancia en la época. El pedernal o sílice fue muy importante en el avance de la humanidad, por la generación de chispas de fuego, que permitieron dar confort y mejores condiciones de habitabilidad. En la América latina los aztecas utilizaban la obsidiana (dióxido de silicio), como herramientas de combate en la guerra, por su dureza permitían cortar las extremidades de sus contrarios.

El uso del silicio en la construcción no se puede ubicar fechas referenciales, más el vidrio, se presume que los primeros vestigios se encontraron en Asia Menor antes del año 12000a.C.

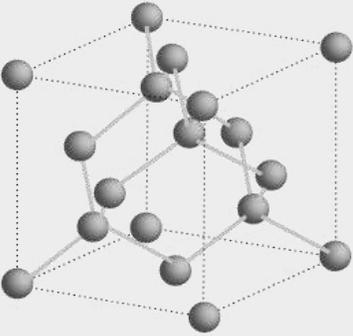
En el año 1787 se pensaba que él sílice era un elemento, Lavoisier insinuó que este material era un óxido de otro elemento no conocido. En 1811 por reducción de fluoruro de silicio con potasio, se pudo producir el silicio, realizado por Gay Lussac y Thénard. En 1854, se obtuvo el silicio de manera repetitiva, con la cristalización de este elemento, mediante una fundición electrolizada con la mezcla de sustancias cloradas, generando silicio amorfo. (Martínez Bogado, 2011)

El recuento de este material, en la historia es leve, nos ubica en el tiempo su uso primordial en las culturas primigenias, y como hace tres siglos se puede producir tipos diversos de silicio, con lo que se puede trabajar de manera industrial. El dióxido de silicio (arena y arcilla), se ha transformado en un elemento importante para la producción del cemento.

El silicio contiene en su núcleo 14 protones cargados positivamente y 14 partículas cargadas negativamente, formando el silicio sólido. En el Ecuador existe un depósito de lutita diatomítica, localizado a 80 km al oeste del puerto de Guayaquil, en el recinto denominado Sucre. El depósito proviene de la Formación Tosagua, Miembro Villingota del Mioceno. Por la composición química no tan pura de su material diatomítico se descarta su uso como material filtrante y se recomienda su uso para la elaboración de ladrillos especiales (livianos tipo Moler, aislantes y semirefractarios). (Cornejo Aguiar, 2016). Las propiedades químicas del silicio se presentan en la tabla 05.

Tabla 5.

*Estructura cristalina del silicio*

Estructura cristalina del Silicio	Peso molecular	28.086 g/mol
	Composición	92 % del isótopo de masa #28, 4,7% de silicio-29 y 3,1% de silicio-30
	Fórmula empírica	SiO <sub>2</sub>
	Nombre del compuesto químico	Compuesto del silicio
	Reactividad	No se espera que se produzcan reacciones o descomposiciones del producto en condiciones normales de almacenamiento. No contiene peróxidos

	orgánicos. No es corrosivo para los metales. No reacciona con el agua.
--	--

*Fuente y elaboración:* M. Olmo R Nave.

La sílice o también conocida como sílica es un material muy duro que se encuentra en casi todas las rocas, es un cristal común que se presenta naturalmente.

La sílice es el componente principal de la arena, arenisca, cuarcita o granito. Éste se encuentra en la mayoría de los lechos rocosos y forma polvo durante el trabajo con minería, la formación de canteras, la construcción de túneles y la manipulación de muchos minerales metálicos.

### **Tipos de sílice**

La sílice puede encontrarse en una amplia gama de opciones, entre las que se encuentran:

#### **Sílice en arena**

Es una sílice cristalina natural de alta calidad y alta pureza. Es inherentemente clara, blanca, baja en humedad, inerte, dura.

Está disponible en cinco distribuciones estrechas y consistentes, con tamaños máximos de 5, 10, 15, 30 y 40 micras.

#### **Sílice en roca**

Es una forma sintética, blanca y amorfa con la misma composición química que la arena, solo que en un tamaño más grande e irregular.

Sus características están determinadas por su distribución de tamaño de partícula, porosidad, superficie específica y pureza. Es un material sintético de múltiples aplicaciones.

### **Principales características de la sílice**

- Aumenta la cohesión
- Aumenta la densidad

- Disminuye la penetración del agua
- Incrementa la adhesión entre agregados
- Reduce el calor de hidratación
- Reduce la permeabilidad
- Reduce la segregación y exudación

### **Usos y aplicaciones de la sílice**

Dentro de los usos y aplicaciones más comunes de la sílice se encuentran:

- Construcción de Carreteras
- Elaboración de Concreto
- Hormigón de alta resistencia
- Construcciones hidráulicas
- Construcción de Losas
- Pavimentos industriales
- Pilotes
- Puentes
- Puertos
- Vigas

### **Tipos de morteros**

Generalmente en la norma ecuatoriana de la construcción como en la colombiana, y ASTM, que los morteros tengan asignada una letra específica para ser distinguidos de acuerdo a sus características y modos de empleo.

“En 1954 se clasificaba a los morteros con las siguientes categorías; A1, A2, B, C y D, pero este tipo de clasificación llevó a muchos técnicos y diseñadores a pensar que el mortero “A1” era el de mejores características. Para superar este tipo de confusión se designaron las letras M, S, N, O y K, las cuales corresponden al deletreo de cada dos letras de la palabra “Mason work o trabajo de mampostería” (ASOCRETO, 2010)

### **Tipos y usos de los morteros**

Dependiendo a su forma de endurecerse se pueden dividir en dos tipos:

- Los morteros aéreos que se endurecen con secado al aire ya que pierden el agua que contienen y fraguan mediante carbonatación.
- Los morteros hidráulicos tiene por característica el endurecerse al estar sumergidos en agua y desarrollan resistencias iniciales relativamente altas.

Además, dependiendo de los materiales que conforman el mortero se puede encontrar los siguientes:

### **Morteros calcáreos**

En estos morteros la cal es el aglomerante, además de ello estos pueden ser diferenciados en aéreos e hidráulicos de acuerdo a la procedencia de la cal.

Dentro de las cuales, de procedencia aérea, esta se distingue entre blanca y gris; para la elaboración de estos morteros el árido, en este caso la arena cumple el objetivo de evitar el agrietamiento de la mezcla por pérdida del agua en el proceso de secado. Para esto se recomienda que la arena utilizada se encuentre desprovista de materia orgánica, polvo, piedras grandes, y arcilla. La proporción cal-arena de uso generalizado es la de la relación 1-2 para revestimientos de paredes y para usos de mampostería la relación 1-3 o 1-4, hay que tener en cuenta que si la dosificación incrementa el mortero pierde su ductilidad y trabajabilidad. (Sánchez de Guzmán, 2001).

*Gráfico 9. Pared con mortero de cal*

*Fuente: Google Chrome*

### **Morteros de yeso**

Se denomina Mortero de Yeso a aquel elaborado a base de yeso, arena y agua. Es menos resistente que otros morteros, pero endurece rápidamente. Normalmente no se utiliza para levantar tabiques de división interior; se emplea con mayor frecuencia para fijar elementos de obra.

Nunca debe aplicarse en labores de enfoscado o revoco sobre paramentos en los que se presume la existencia de humedades (cuartos de baño, aseos, sector de fregadero en las cocinas, etc.), ya que el yeso tiene una gran capacidad de absorción, por lo que puede almacenar una gran cantidad de agua.

El yeso que es utilizado es hidratado con agua. El contenido puede variar según el grado de cocción, calidad y granulometría del yeso. El porcentaje puede ser:

- 50% en obras corrientes
- Elaboración de estucos 60%
- Para elaboración de moldes y piezas 70%

Estos morteros se los realiza en obra y se los prepara en medida de lo que se va utilizando puesto que su fraguado comienza a los 5 minutos y dura más o menos en 15 minutos.

*Gráfico 10. Revestimiento de pared con mortero de yeso*



*Fuente: Google Chrome*

### **Morteros de cal y cemento**

Conocidos también como morteros rebajados, poseen retención de agua efectiva, así como una elevada resistencia inicial. En cuanto a las dosificaciones y usos de agua en este mortero dependerá del uso y la trabajabilidad que se quiera tener pues si existe un alto contenido de cemento su resistencia será alta pero su tiempo de mezclado y colocación es corto. Si existe gran cantidad de cal se obtiene menos resistencia, pero el tiempo de mezclado y colocación es mayor. Por su parte si la cantidad de áridos utilizados es alta mejora la trabajabilidad, pero disminuye la resistencia considerablemente, pero una de las ventajas es que el mortero tendrá poca retracción.

En el caso de los morteros hechos con base a la mezcla de cemento portland y cal, se debe tener en cuenta que la combinación debe ser hecha de tal manera para aprovechar las características adhesivas de la cal, así como las cohesivas del cemento mencionado. Para esto, es fundamental tener presente que por cada adicción de cal se produce un incremento en la cantidad de agua necesaria para realizar la mezcla (Sánchez de Guzmán, 2001).

Morteros mixtos de cal y cemento La cal que se utiliza en los morteros mixtos de cemento (comunes o blancos) proporciona:

- Mayor adherencia

- Mayor plasticidad
- Incremento de la permeabilidad al vapor
- Disminución de eflorescencias
- Menor retracción y fisuración

Los valores de las resistencias mecánicas de estos morteros dependen de las proporciones de cal hidratada y de cemento (tipo y clase) de la mezcla. Las resistencias mecánicas serán más elevadas y los tiempos de fraguado más cortos cuanto mayor sea el contenido de cemento; pero serán menos plásticos y menos permeables al vapor de agua, con mayor posibilidad de tendencia a la fisuración por retracción.

*Gráfico 11. Moreruela, Zamora Restauración con mortero de cal y cemento*



*Fuente:* Hidrocal Morteros

### **Morteros con cemento portland**

La principal característica de estos morteros con cemento son su alta resistencia inicial y su elevada resistencia una vez que termina su etapa de endurecido, las condiciones de trabajabilidad varían dependiendo a la dosificación usada y a la arena. Este mortero generalmente carece de plasticidad, su retención de agua es baja. Una clasificación que se debe tomar en cuenta adicional, son las que se muestran en la figura 3, en el que se toma en cuenta, según su concepto, fabricación, su función, el aglomerante y según el campo de aplicación. (Gráfico 12).

Es importante diferenciar un tipo de mortero con el que se va a trabajar, puesto que no es lo mismo realizarlo en Cuenca, a una altura de 2500 m.s.m que en las zonas de la costa ecuatoriana, donde

se está a 4 m.s.m, con temperaturas promedio de 19 °C a 33 °C, en donde las dilataciones de los materiales a unir, en el caso de que el mortero se utilice como aglomerante, tienen diferentes coeficientes de dilatación, ocurre que el mortero que no esté bien diseñado para este efecto, termine fracasando. Por lo tanto, el gráfico que se presenta es importante en la definición y concepto, y los criterios con los que se debe trabajar un mortero en la construcción.

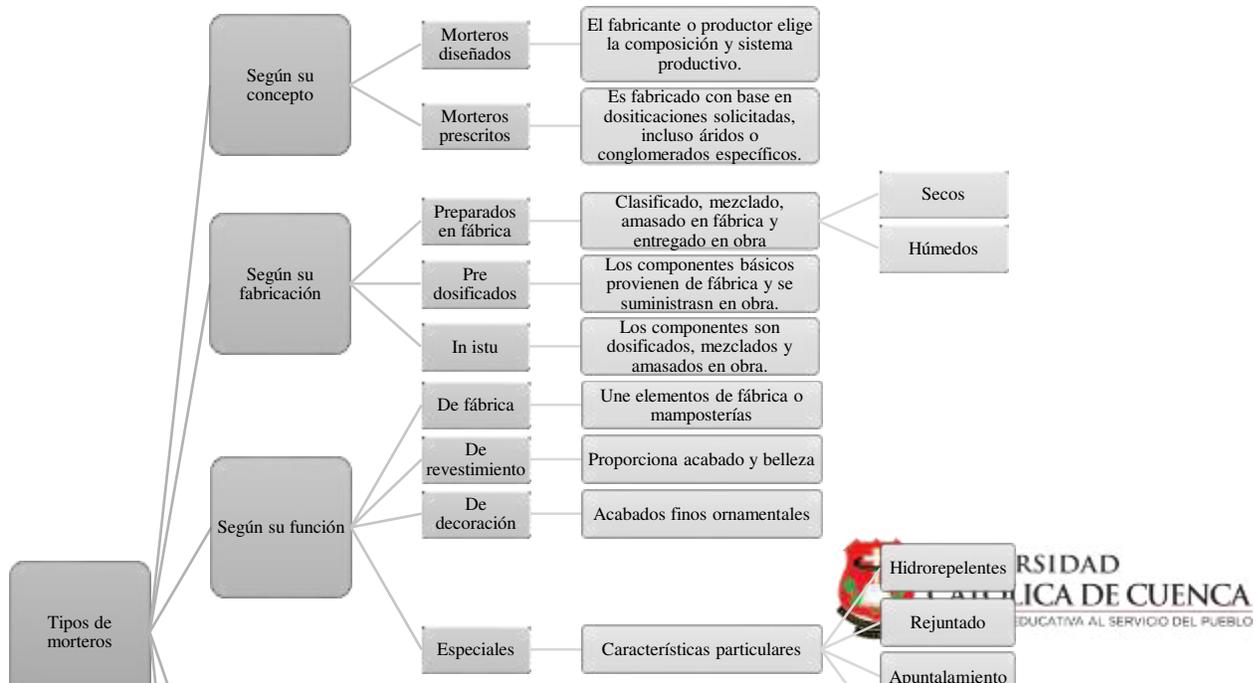
Se busca un planteamiento, el mejoramiento en el proceso de fabricación y el resultado partir de la norma y alcanzar las resistencias para que puedan ser utilizados como mampuestos o similar, por ello el tipo de mortero que se enfoca es del tipo según un aglomerante y función con características especiales, particulares, determinando según los diversos ensayos en laboratorio las prestaciones mecánicas que se puedan conseguir.

Gráfico 12. Mortero de cemento portland



Fuente y elaboración: (morteros de cemento - Google Search)

Gráfico 13. Tipos de morteros



*Fuente y elaboración: Cazalla Vázquez 2002.*

## **Marco normativo vigente para morteros**

### **Normativas a nivel internacional**

En el contexto internacional, se cita a la normativa expuesta por la ASTM (American Society for Testing and Materials), las que rigen en Suramérica y son la base de desarrollo de las normas

INEN. La ASTM fue creada hace dos siglos ASTM, I. (2013), siendo una de las entidades encargadas de elaborar las normativas de acuerdo a los requerimientos o propuestas que se hacen al comité. De acuerdo a esto, los miembros que pertenecen al grupo de trabajo se encargan de preparar el proyecto de norma, el cual deberá ser revisado por un subcomité que realizará una consulta de carácter público. Una vez aprobado este proyecto de norma por el subcomité, este el presentado ante el comité principal y a los miembros pertenecientes a la ASTM. Se realiza una revisión de las normas de la tabla 06.

Tabla 6.

Norm American Society for Testing and Materials

ASTM	DESCRIPCIÓN
C1489	Pasta de Cal para propósitos estructurales.
C 5	Cal viva para propósitos estructurales. Especificaciones.
C 1586	Guía para el aseguramiento de la calidad de los morteros de pega.
C110	Método de ensayo. Ensayo Físico de la cal viva, cal hidratada y piedra caliza.
C 144	Agregado para mortero de mampostería. Especificaciones.
C 207	Cal hidratada para mampostería. Especificaciones.
C 305	Práctica para el mezclado mecánico de pastas y morteros de Cemento Hidráulico, de consistencia plástica.
C 1324	Método de ensayo, Examen y análisis del mortero de pega endurecido.
C 1489	Pasta de Cal para propósitos estructurales.
C109/C109M	Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 52mm (2 pulgadas) de lado.
C 73	Especificación estándar para el ladrillo de silicato de calcio (ladrillo arena-cal)

Fuente y elaboración: ASTM.

Un procedimiento para realizar una pasta de cal, se presenta en la norma de ASTM C 1489, aquí se visualiza los tipos de cal: Tipo N: Cal hidratada normal, Tipo S: Cal hidratada especial, Tipo NA: Cal hidratada normal con aire incorporado y el Tipo SA: Cal hidratada especial con aire incorporado, explica la diferencia clara y los diferentes tipos de limitación del contenido de partículas de óxido no hidratado, indicando que por el tipo de acabado no se puede utilizar el NA y SA. Se especifica los métodos de ensayo con los que se deben realizar bajo las diferentes normas ASTM, luego del proceso de elaboración de una pasta de cal.

En la revisión de la norma se puede aclarar la metodología con la que se puede elaborar la pasta de cal, y las medidas de prevención que se debe tener al manipular el material. Para el método en el que se desarrolla un ensayo físico de la cal viva, de la piedra caliza y de la cal hidratada, se describe de manera completa en la ASTM C5. Se basa en ensayos de propiedades plásticas, que son: Consistencia estándar de la pasta de cal, Plasticidad de la pasta de cal, retención de agua de la cal hidratada, y aire incorporado. De los ensayos de solidez que se nombran son: Expansión de autoclave de la cal hidráulica e hidratada, ampollas y picaduras de la cal hidratada.

De los ensayos para su aplicación son: Tasa de reactividad de la cal viva, brillo en seco de la piedra caliza pulverizada, determinación de la moldurabilidad de la piedra caliza por el método del molino de bolas de laboratorio, tasa de sedimentación de la cal hidratada. Análisis del tamaño de las partículas y son: Residuo de la cal hidratada y análisis de tamices en húmedo de la piedra caliza y cal hidratada, análisis de tamices de la piedra caliza seca, cal viva, y cal hidratada, grado de finura de la cal viva y cal hidratada pulverizada por medio de la permeabilidad del aire, tamaño de la partícula de la piedra caliza pulverizada, tamizado en seco de la cal hidratada, cal viva pulverizada, y piedra caliza por medio del tamizado a presión de aire. Y se visualiza la medición de la densidad, la densidad aparente suelta de la cal hidratada, cal viva pulverizada y piedra caliza. En referencia de las normas ASTM consideradas, se da un alcance a las normas españolas UNE. Tabla 07.

Tabla 7.

Normas Españolas UNE.

UNE	DESCRIPCIÓN
UNE 41067:1957	Cal aérea para construcción. Clasificación. Características
UNE 41068:1957	Cal hidráulica para construcción. Clasificación. Características
UNE-EN 14227-11:2007	Mezclas con conglomerante hidráulico. Especificaciones. Parte 11: Suelo tratado con cal.
UNE 83811:1992 EX	Morteros. Métodos de ensayo. Morteros frescos. Determinación de la consistencia. Mesa de sacudidas (método de referencia).
UNE-EN 13139/AC:2004	Áridos para morteros

Fuente y elaboración: AENOR.

### Normativa a nivel local

Los procesos para la elaboración de un mortero son descritos de manera clara en la norma INEN 155:2009, aquí las condiciones ambientales son precisadas en un rango de 0°C y 27,5 °C, y la

temperatura empleada en los materiales secos, tazones, y paletas, deberán encontrarse dentro del límite superior al momento del ensayo. La temperatura estipulada para el agua utilizada en el mezclado no podrá variar, manteniendo en 23 °C en  $\pm 1,7$  °C.

La norma de morteros de consistencia plástica son una base de referencia para elaborar un mortero de sílice y cal, en su contenido se describe las herramientas, equipos y los diferentes tiempos con los que se realiza el mezclado de los tres.

En la tabla 08 se describen morteros de pega para cerámicas, el mezclado mecánico para pastas de morteros de consistencia plástica, que permiten en la práctica de laboratorio realizar el proceso técnico de mezclado, en él se indica los tiempos y el orden de colocado de los materiales, así como el uso adecuado de los equipos, para poder reproducir de manera técnica el mortero.

En la mencionada tabla, se puede observar la norma con la que se puede clasificar los áridos para morteros, un procedimiento básico para ver la calidad, su grado de finura, el grado de impurezas de la muestra, la densidad y más. Los procedimientos descritos en las normas de la tabla 08 tienen un fuerte vínculo con las normas ASTM.

*Tabla 8.*

Norma Técnica Ecuatoriana.

NTE	DESCRIPCIÓN
<b>NTE INEN-ISO 13007-1</b>	Baldosas cerámicas – morteros y adhesivos - parte 1: términos, definiciones y especificaciones para adhesivos (ISO 13007-1:2014, IDT).
<b>NTE INEN-ISO 13007-2</b>	Baldosas cerámicas – morteros para juntas y adhesivos – parte 2: métodos de ensayo para adhesivos (iso 13007-2:2013, idt).
<b>NTE INEN-ISO 13007-3</b>	Baldosas cerámicas – morteros para juntas y adhesivos – parte 3: términos, definiciones y especificaciones para morteros para juntas (iso 13007- 3:2010, idt).
<b>NTE INEN 155 2R</b>	Cemento hidráulico. Mezclado mecánico de pastas y morteros de consistencia plástica.
<b>NTE INEN 1858</b>	Áridos para morteros de mampostería.
<b>NTE INEN 195 2R</b>	Cemento hidráulico. Determinación del contenido de aire en morteros.
<b>NTE INEN 202 2R</b>	Cemento hidráulico. Determinación de la expansión potencial de morteros de cemento portland expuestos a la acción de sulfatos.
<b>NTE INEN 2502 0</b>	Cemento hidráulico. Determinación del flujo de morteros.
<b>NTE INEN 2503 0</b>	Cemento hidráulico. Determinación del cambio de longitud en morteros expuestos a una solución de sulfato.

NTE INEN	2518 0	Morteros para unidades de mampostería. Requisitos.
NTE INEN	2536 0	Áridos para uso en morteros para mampostería. Requisitos.
NTE INEN	2553 0	Cemento hidráulico. Determinación de la retención de agua en morteros y revoques (enlucidos) elaborados con cemento hidráulico.
NTE INEN	2563 0	Morteros. Evaluación previa a la construcción y durante la construcción de morteros para mampostería simple y reforzada.
NTE INEN	488 2R	Cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista.
NTE INEN	866 1R	Árido fino para hormigón. Determinación del efecto de las impurezas orgánicas en la resistencia de morteros.
NTE INEN	297	Ladrillos cerámicos. Requisitos

*Fuente y elaboración:* Servicio ecuatoriano de Normalización INEN.

Como resumen de la parte de normativa, es necesario mencionar que se debe conocer a cabalidad las materias primas (sílice y cal) empleadas en la producción, así como la procedencia, es decir las minas de extracción; esto permitirá elaborar un diseño experimental óptimo, que permita evaluar objetivamente los diversos tipos de mezclas a través de comparaciones y la determinación de cual de todas es la que se apega a la normativa. Estos resultados serán expuestos en el siguiente capítulo. Para el desarrollo de los procesos de elaboración de un mortero se busca dar alcance a la Norma Técnica Colombiana (NTC) 922, emitida en 1975 para ladrillos silicio-Calcáreos, macizos, perforados o huecos, los cuales son comúnmente empleados en la construcción de tabiques y muros: Definiciones, Clasificación, Condiciones Generales, Requisitos, Toma de muestras, Recepción de producto y Ensayos. Asimismo, se tomó en consideración a la norma ASTM C73 y la norma NEC-10 (Norma Ecuatoriana de la Construcción). Dimensiones Modulares de Unidades de Mampostería de Arcilla Cocida. Ladrillos y Bloques Cerámicos NTC 296. Las INEN NTE (Norma Técnica Ecuatoriana) que se siguen para determinar estas propiedades en Unidades de Arcilla: INEN 297 y Bloques de concreto. Estas normas orientan los procesos que se realizaron, puesto que permitieron realizar revisiones del desarrollo y la elaboración del mortero con base al cumplimiento de la normativa en las condiciones planteadas en la hipótesis.

### Minerales y materias primas en Ecuador

La matriz que maneja el gobierno del Ecuador se basa en la innovación, ciencia y tecnología, por tanto, busca una manera diferente de producir y consumir; llevando al país a un estado en el que

es dependiente de los recursos tanto limitados como ilimitados, generando un proceso de extracción de cada material de manera sistemática y técnica. Todos los involucrados en la construcción, ya sea de piezas cerámicas, a nivel artesanal o industrial, tienen un origen común el cual es la explotación y consumo de minerales que tiene por característica el ser arcillosos no metálicos (Uribe, 2015), puedan proceder a la extracción de manera más consensuada. Los primeros esfuerzos por datos estadísticos de la extracción del material no metálico se dan en los años ochenta y noventa del siglo anterior, permiten ver la manera en la que los diversos yacimientos se trabajan y poder precautelar un proceso constructivo con el material no metálico del país.

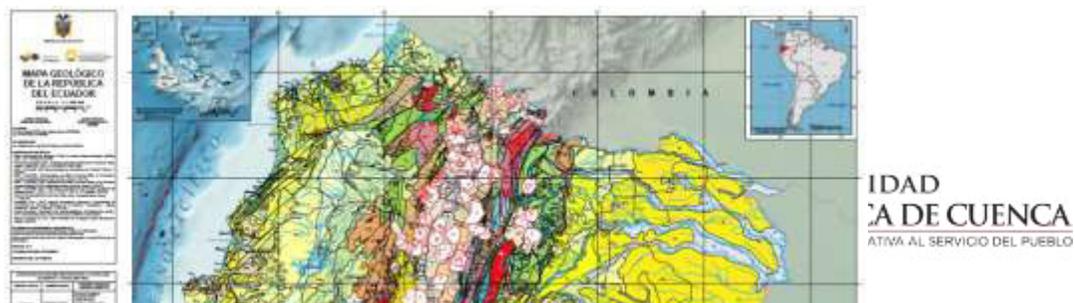
El análisis presentado para la investigación ubica los minerales no metálicos en cada región y en cada provincia, para prevenir el uso y actuar de manera sostenible. El Ecuador con el paso del tiempo y con ello a su evolución geológica, se ha formado tres unidades morfológicas dispuestas en dirección norte-sur.

### **Generalidades de la materia prima a utilizar**

A nivel nacional en el Ecuador podemos encontrar una inmensa diversidad de minerales tanto metálicos como no metálicos que comúnmente son empleados en el ámbito de las actividades de construcción. El INIGEMM (Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico) ha determinado yacimientos minerales en 20 de las 24 provincias que conforman el Ecuador, precisando que existen 23 tipos de minerales en la región INIGEMM. (2011).

En el Ecuador solamente tres zonas que poseen los materiales útiles para el trabajo de investigación propuesto, como es el caso de la arena de sílice, entre los lugares donde se encuentra la materia prima se encuentra la Península de Santa Elena, Puerto Jeli en El Oro, y Limón-Indanza en Morona-Santiago. En la provincia de Zamora Chinchipe en el área de La Esperanza y Guayzimi, se encuentran las minas más grandes del Ecuador, la calidad de estas arenas es la mejor hasta ahora reportada. INIGEMM. (2011).

*Gráfico 14. Mapa geológico de la república del Ecuador*



*Fuente y elaboración:* Instituto geográfico militar del Ecuador

### **Materias primas en la provincia de Azuay**

En la provincia del Azuay la implementación y desarrollo de una minería no metálica se presenta como uno de los puntos más importantes, sobre todo debido a la instalación de fábricas modernas de cerámica de vajillas, artística y plana. Entre las principales fuentes de arcillas caoliníticas presentes en la provincia del Azuay se tiene a la zona de Tinajillas, San Remo y Belén. Por otra parte, entre las principales fuentes de arcillas esmectíticas se tiene al yacimiento de San Andrés, Santa Paz y Santa Isabel. (Hunda, 1990).

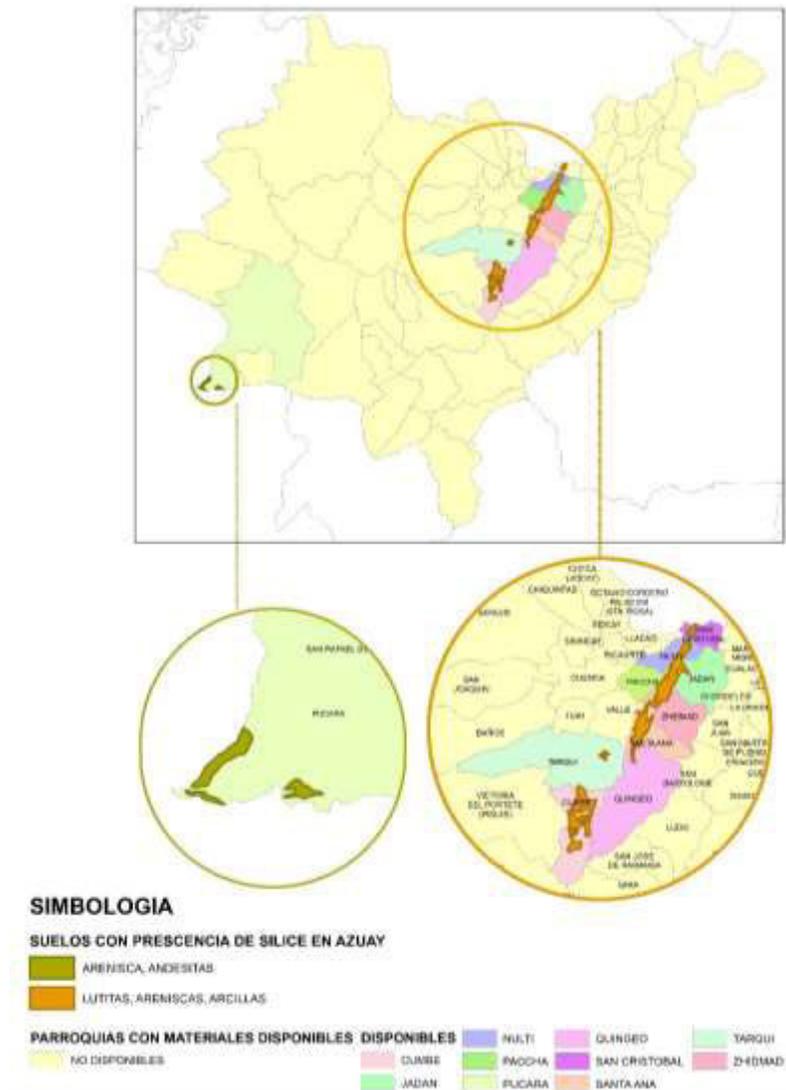
### **Localización de la materia prima para la elaboración de morteros silico-calcareos**

Para el presente trabajo, se hizo un análisis de lugares en la provincia del Azuay donde evidencien la existencia de minas o canteras que posean materiales compatibles con lo propuesto en la investigación. Una vez realizado el análisis de lugares donde puede captar la materia prima se pudo determinar que, en la ciudad de Cuenca, en la Parroquia de Llaqueo existen el tipo de arena de sílice necesaria para la realización del presente trabajo de investigación.

Asimismo, es necesario recalcar que en el Ecuador se delimitan dos regiones volcánicas, la primera ubicada en la zona austral compuesta por las provincias de Cañar, Azuay y Loja respectivamente que es conocida como Volcanismo Viejo; la segunda conformada por las provincias de Pichincha,

Cotopaxi, Imbabura, Chimborazo y Tungurahua. Como se puede evidencia en el grafico 13 donde se establece los lugares donde existe diferentes tipos de suelos con presencia de sílice en el Ecuador.

Gráfico 15. Ubicación de sectores en la provincia del Azuay con presencia de sílice



Fuente y elaboración: Autor

En el grafico 15 se observa los tipos de suelo con presencia de sílice en el Ecuador de donde se establecen los distintitos tipos de arenas existentes, con lo cual se evidencia que la materia prima a ser utilizada en el presente trabajo de investigación existe dentro del campo de estudio planteado, para el caso en particular de la ciudad de Cuenca donde encontramos tobas areniscas con alto contenido de pureza de sílice. Vera tabla 9.

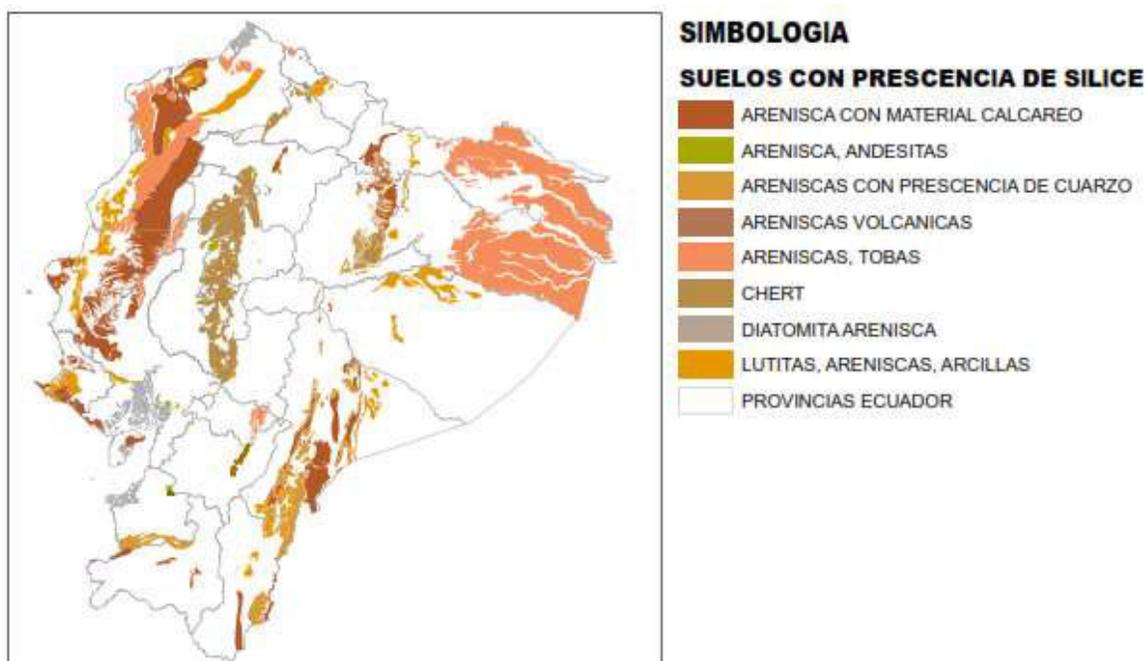
Tabla 9.

Análisis químico de sílice y cal

% DE OXIDO	CAL	SÍLICE
SiO <sub>2</sub>	7.85	95.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.95	3.28
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.70	0.19
CaO	65	0.14
MgO	0.32	0.02
Na <sub>2</sub> O	0.40	0.00
K <sub>2</sub> O	0.08	0.20
P. Fuego	21.34	0.85

Fuente: CESEMIN (UNIVERSIDAD DE CUENCA)

Gráfico 16. Suelos con presencia de Sílice en el Ecuador

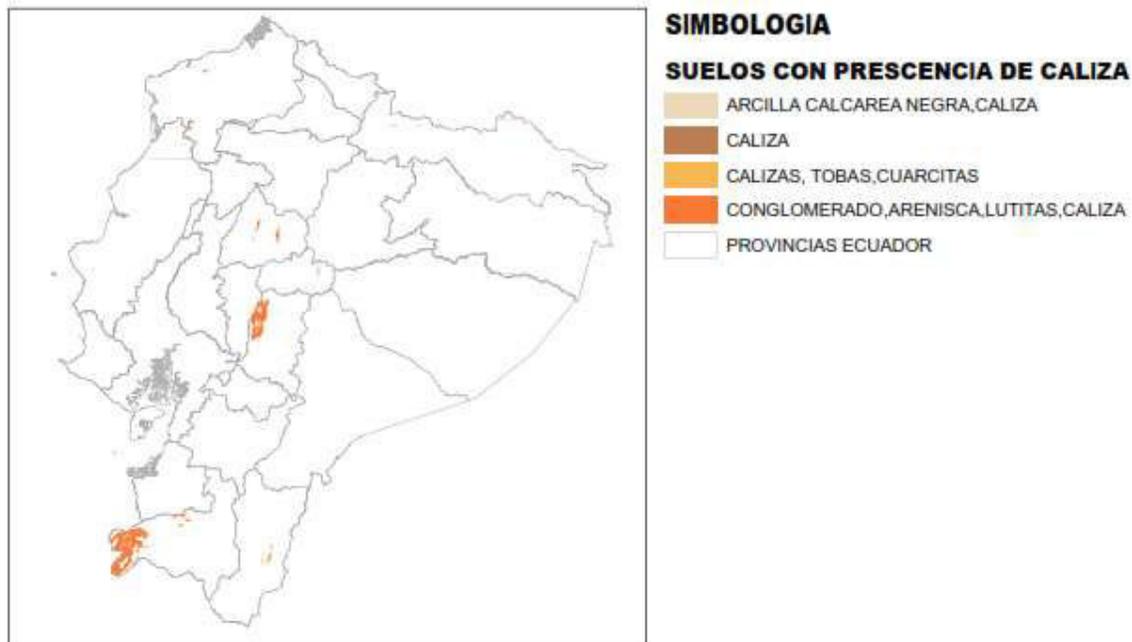


Fuente y elaboración: Autor

Las provincias del Ecuador donde se encuentra material con presencia de caliza son: Chimborazo, Loja, Zamora Chinchipe, Cotopaxi, Tungurahua y Esmeraldas como se ve en el gráfico 17. El presente trabajo de investigación tomó como referencia los lugares donde se localizan las rocas calizas, sin embargo, dentro del proceso experimental, el tipo de cal utilizado es el de tipo

comercial, el cual puede ser obtenido en distintos locales comerciales y que presenta las características necesarias para la elaboración de morteros silico-calcareos.

Gráfico 17. Ubicación de calizas en el mapa del Ecuador



Fuente y elaboración: Autor

### Geomorfología de la arena sílice

En primer lugar, se debe detallar la edad geológica de la Formación Magán, la cual data del Mioceno tardío. Asimismo, cabe recalcar que se encuentra en un estrato de 2200m que va desde la región sur de la Pachamama, pasando por Llaqueo, desde la región norte de Déleg hasta llegar a Biblián. Esta Formación posee limolitas, lutitas y areniscas finogranulares que en su parte inferior adquieren un color claro; por otra parte, en su mitad se puede apreciar lutitas relacionadas con vetas de carbón y en su parte superior se visualiza areniscas tobáceas gruesas café, que se hace conglomerática hacia arriba (PRECUPA).

Gráfico 18. Arena de sílice insitu



Fuente: Autor

## Características de los materiales a utilizar

### El sílice como material para construcción

*“El Óxido de Silicio ( $\text{SiO}_2$ ) es el más importante en concentración en la corteza terrestre, la sílice es un componente básico de la tierra, arena, granito, mármol y muchos otros minerales, ya sea formando silicatos o bien en forma libre, dando lugar a gran variedad de estructuras cristalinas y microestructuras, de las cuales el cuarzo es la forma más común de la sílice cristalina, también se puede encontrar en forma de cristobalita y de tridimita, estas dos últimas más dañinas. Por el contrario, la sílice amorfa está considerada como de baja toxicidad”.* (Palacios C, 2005)

*Gráfico 19. Arena de sílice*

*Fuente:* Autor

La arena de sílice no en todos los casos se utiliza como agregado único. En muchas ramas industriales se utiliza como aglutinado con sustancias generalmente arcillosas; la elaboración de ladrillo refractario y piezas de moldeo constituyen dos ejemplos de su utilización. En este aspecto, la pasta es capaz de soportar unos cuantos grados de fusión de cono pirométrico a la temperatura de  $1,710^{\circ}$  a  $1,730^{\circ}$  C, y que puede utilizarse en condiciones de seguridad en estructuras hasta los  $1,650^{\circ}$  C ( $3,002^{\circ}$  F).

### **Características del sílice**

Las características descritas a continuación indican el comportamiento de forma general de sílice. (Álvarez, 2009).

- Características físicas: arena de gránulo duro.
- El tamaño de grano de las partículas es variable de 0.2- 05 mm
- Color marrón a gris.
- Resistente al ataque químico por todos los ácidos minerales, excepto al HF. (Hafnio. Elemento químico de símbolo Hf, metal de transición plateado, dúctil y resistente a altas temperaturas.
- Alto punto de fusión, piezoelectricidad, piroelectricidad y transparencia.
- Material cuyo rango granulométrico comprende de 1/16 a 2 mm de diámetro.

- No produce efervescencia al ser atacados por lo ácidos y no se descomponen por la acción del fuego.
- Reduce la segregación y exudación
- Contribuye a reducir el calor de hidratación
- Reduce considerablemente la permeabilidad a sulfatos y cloruros
- Incrementa la adhesión entre agregados, armaduras y fibras
- Aumenta la cohesión
- Aumenta la densidad
- Disminuye la penetración del agua
- Gran durabilidad a los ciclos de hielo y deshielo
- Control de la reacción álcali – agregado

### **La cal como material para construcción**

La piedra caliza es una roca sedimentaria compuesta principalmente de carbonatos de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), carbonatos de magnesio e impurezas, y se halla en diferentes formas como calcita, aragonito que es una variación de la calcita formada a altas temperaturas de estructura cristalina. Como mineral metamórfico en forma de mármol y es a menudo parte del cemento natural en las piedras areniscas. (Matos, 2011).

Las calizas son rocas carbonatadas, compuestas de calcita, aunque la dolomita puede ser un constituyente importante. El carbonato de calcio en la gran mayoría de los casos se ha extraído del agua del mar por acción de organismos diminutos y luego depositado en capas que finalmente se consolidan en rocas. Estas rocas son de estructura de grano fino y uniforme, a veces bastante densas. Algunas calizas son casi calcita pura, mientras que otras contienen materiales parecidos a la arcilla y varios óxidos como impurezas.

Los principales usos de la caliza son en la construcción, productos químicos, fundición, agroquímicos y vidrio.

## Principales derivados de la caliza

Cal La caliza u otras rocas calcáreas se calientan en hornos hasta 903°C, de forma que expulsa el CO<sub>2</sub> y queda la cal viva (CaO). Esta se apaga con agua, mezclada con arena, forma el mortero. Comúnmente, la cal se prepara en forma de cal hidratada (Ca(OH<sub>2</sub>)), añadiendo agua. Cien kilos de caliza pura producen 56 kilos de cal. Puede emplearse también dolomita que da CaO-MgO, se apaga más lentamente y despiden menos calor que la cal viva.

### Variedades comerciales:

- **Cal Viva:** Material obtenido de la calcinación de la caliza que, al desprender anhídrido carbónico, se transforma en óxido de calcio. La cal viva debe ser capaz de combinarse con el agua para transformarse de óxido a hidróxido y una vez apagada (hidratada), se aplique en la construcción, principalmente en la elaboración del mortero de albañilería.
- **Cal hidratada:** Se conoce con el nombre comercial de cal hidratada a la especie química de hidróxido de calcio, la cual es una base fuerte formada por el metal calcio unido a dos grupos hidróxidos. El óxido de calcio al combinarse con el agua se transforma en hidróxido de calcio.
- **Cal hidráulica:** Cal compuesta principalmente de hidróxido de calcio, sílica (SiO<sub>2</sub>) y alúmina Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) o mezclas sintéticas de composición similar. Tiene la propiedad de fraguar y endurecer incluso debajo del agua.

Tabla 10.

Principales usos de la cal

Cerámica  • Vidrio  • Refractarios	Construcción  • Materiales de construcción  • Estabilización de suelos y carreteras
Pulpa y papel	Productos químicos

<p>Medio Ambiente</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>Tratamiento de agua</b></li> <li>· <b>Tratamiento de aguas de desecho</b></li> <li>· <b>Tratamiento de desechos industriales</b></li> <li>· <b>Tratamiento en plantas empacadoras de alimentos</b></li> <li>· <b>Eliminación de azufre de los gases de combustión</b></li> <li>· <b>Neutralizador de tierras ácidas</b></li> </ul>	<p><b>Alimentos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Industria lechera</li> <li>· Industria azucarera</li> <li>· Industria de gelatina y goma animal</li> <li>· Industria panificadora</li> <li>· Almacenaje de frutas y legumbres</li> <li>· desinfectante</li> </ul>
<p>Recubrimientos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>Pigmentos</b></li> <li>· <b>Pinturas de agua</b></li> <li>· <b>Barnices</b></li> </ul>	<p><b>Metalurgia</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Industria del acero</li> <li>· Fabricación de magnesio y alúmina</li> <li>· Flotación de metales</li> <li>· Fundición de metales no ferrosos</li> </ul>

*Fuente y elaboración:* Autor

Carbonato de calcio El ( $\text{CaCO}_3$ ) se presenta en formas muy diversas: cáscara de huevo, conchas, perlas, corales, creta, piedra caliza, mármol, estalactitas, estalagmitas siendo su composición química:  $\text{CO}_2$  44%,  $\text{CO}$  56%.

El tipo de cal que se va a utilizar para este análisis de morteros es la cal apagada. El apagado de la cal es exotérmico el cual desprende calor que evapora el agua que se le coloca. La cal apagada es utilizada como mortero aéreo, como mortero para uniones de piezas de mampostería, fijación de baldosas y como enlucido en paredes.

### **Características del agua para la elaboración de un mortero**

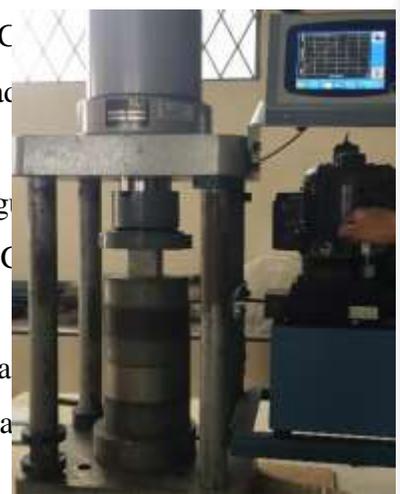
Como referencia para el agua, que es un elemento importante al realizar la elaboración del mortero del presente trabajo de investigación se utiliza la Norma Técnica Ecuatoriana, que nos habla sobre el agua empleada para la elaboración de hormigones.

---

El agua empleada en la mezcla debe estar libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materiales orgánicos u otras sustancias que puedan ser nocivas al hormigón o al acero de refuerzo. El agua potable y casi cualquier agua natural que se pueda beber y que no tenga sabor u olor marcado, se pueden utilizar en la elaboración del hormigón. (NEC, 2015)



## CAPITULO 2



PROCESO EXPERIMENTAL



## Proceso de experimentación

### Humedad de la arena de sílice para la granulometría

Para determinar el porcentaje de humedad que tiene la arena de sílice que se va a utilizar para el trabajo de investigación se procedió a pesar cuatro muestras, de las cuales dos serán pesadas para tener la humedad de la arena tal como fue extraída y las otras dos muestras serán ingresadas a un horno dejándolas por un periodo de 24 horas para así poder determinar un promedio del porcentaje de humedad que contiene nuestra materia prima como se puede observar en la tabla 11.

*Gráfico 20. Muestras de arena de sílice*



*Fuente: Autor*

*Gráfico 21. Muestras de arena de sílice recipiente 1 y 2*



*Fuente: Autor*

Tabla 11.

Porcentaje promedio de humedad.

Recipiente	Recipiente 1	Recipiente 2
Peso de la muestra húmeda más peso del recipiente	182.05gr	191.33gr
Peso de la muestra seca más recipiente	181.82gr	191.13gr
Peso del recipiente	43.37gr	53.07gr
% W	0.16	0.14
% W promedio = 0.15%		

Fuente y Elaboración: Autor

### Calculo del porcentaje de humedad de la arena de sílice

$$\%W = \frac{Ww}{Ws} * 100 = \frac{Wh - Ws}{Ws} * 100 = \frac{(PMH+T) - (PMS+T)}{(PMS+T) - (T)} * 100$$

$$\%W = \frac{182.05 - 191.13}{191.13 - 53.07} * 100 = 0.148\%$$

%W= porcentaje de humedad

Ww= peso de la muestra húmeda más peso del recipiente menos muestra seca más peso del recipiente

Ws= peso de la muestra seca más peso del recipiente menos el peso del recipiente

Wh= peso de la muestra húmeda más peso del recipiente

Ws= peso de la muestra seca más peso del recipiente

T= peso del recipiente

### Lavado de la arena de sílice

1. Para realizar el análisis granulométrico se procede a pesar 1000 gr de sílice y luego de ello se procede a lavar el material para eliminar finos e impurezas que tenga la arena puesto que el material fue extraído directamente de la naturaleza.

*Gráfico 22. Arena de sílice 1000 gr.*



*Fuente: Autor*

2. Para determinar que la arena está completamente limpia de impurezas y de finos se debe de lavar varias veces de manera que el agua que se decante sea lo más cristalina posible.

*Gráfico 23. Lavado de la arena*



*Fuente: Autor*

Gráfico 24. Impurezas y finos de la arena.



Fuente: Autor

3. Luego del proceso de lavado de la arena de sílice se procede a dejarla por un periodo de 24 horas en un horno para poder pesar el material, pero en su estado ya completamente seco ya que todo este proceso no servirá para realizar el cálculo del porcentaje de humedad que tiene la arena y poder realizar las dosificaciones que se plantean para el trabajo de investigación.

### **Análisis granulométrico de la sílice**

Para realizar la dosificación correcta de un mortero se realiza en análisis granulométrico (norma ASTM C 136) del respectivo del material a ser utilizado en este caso la arena de sílice la cual será sometida a una serie de ensayos que se describirán a continuación.

#### **1. Tamizado de la arena de sílice**

Para realizar el proceso de tamizado se toma una cantidad de 1000gr de arena de sílice que luego de ser sometida al proceso de lavado y secado nos dio un peso final de 964gr los cuales serán sometidos al proceso de tamizado y así obtener los pesos de los materiales retenidos en los distintos tamices que cuentan con distintos diámetros de abertura.

Gráfico 25. Tamizado del material.



Fuente: Autor

Tabla 12.

Análisis granulométrico

TAMIZ N°	ABERTURA	PESO RET	PESO RET. ACUM	%	%	%
	MM	GR	GR	RETENIDO	PASA	ESPECIF
3/8"	9.52	0	0	0	100	
4	4.76	0	0	0	100	
PASA N° 4						
8	2.38	0.7	0.7	0.070	99.93	
16	1.19	6.2	6.9	0.69	99.31	
30	0.580	47.8	54.7	5.48	94.52	
50	0.3	235.95	290.65	29.11	70.89	
100	0.15	514.45	805.1	80.63	70.89	
200	0.07	159.1	963.2	96.46	19.37	
PASA N° 200		0	963.2		3.54	
TOTAL		963.2				

Fuente y Elaboración: Autor

Tabla 13.

Pesos de arena de sílice

Peso antes del ensayo	964 gr	Peso antes del lavado (seco)	1000 gr
Peso después del ensayo	963.2 gr	Peso después del lavado	998.50 gr
% de humedad	0.15 %	Peso seco después del lavado	964 gr

*Fuente y Elaboración:* Autor

### Calculo de módulo de finura e la arena de sílice

$$998.5 \longrightarrow 100\%$$

$$0.7 \quad \quad \quad x$$

$$x = 0.07$$

$$\text{Módulo de finura} = \frac{\sum \text{de los tamices de Taylor}}{|100}$$

$$Mf = \frac{80.63 + 29.11 + 5.48 + 0.69 + 0.07}{100}$$

$$Mf = 1.16$$

### Calculo porcentaje de error de la granulometría

$$\% \text{ Error} = \left(1 - \frac{963.2}{964}\right) * 100$$

$$\% \text{ Error} = (1 - 0.991) * 100$$

$$\% \text{ Error} = 0.09 \text{ dentro de los parámetros}$$

### Elaboración de probetas cubicas de mortero silico-calcareo

Una vez identificadas y realizados los distintos ensayos a las materias primas que se emplean para el estudio, en un siguiente paso se procede a fijar las diversas dosificaciones que serán destinadas para este análisis de mortero silico-calcareos y sometidas a pruebas de compresión y absorción de agua, las dosificaciones para este análisis serán las siguientes: 1:2; 1:3; 1:4; 1:5; 1:6; 1:7. El orden a seguir de los componentes que conformarán de las dosificaciones será uno de cal y variará la cantidad de sílice dependiendo la dosificación. La cantidad de agua que será utilizada para obtener un mortero trabajable se tomara en base a los cálculos de las dosificaciones, sin embargo, partiremos desde datos consultados que se debe establecer un 48% del peso del aglomerante que para el caso de estos morteros es la cal cuya densidad específica es de  $2.21 \text{ gr/cm}^3$  y se le sumo un 12% de agua ya que la cal necesita ser hidratada teniendo un 60% de agua con respecto a peso de la cal.

### Cálculos de dosificación de mortero silico-calcareo

1. Calculo de proporción

$$n = \frac{\ln\left(\frac{A}{C}\right)}{b} = \frac{\ln\left(\frac{0.72}{0.225}\right)}{0.3242} = 3.58$$

2. Determinación de cal

$$C = \frac{1000}{\frac{1}{2.21} + \frac{3.58}{2.62} + 0.72} = 393.87 \text{ gramos}$$

3. Determinación de cantidad de sílice

$$A = n * C$$

$$A = 3.58 + 393.87 = 1410.05 \text{ gramos}$$

4. Determinación de agua para el mortero

$$A = \left(\frac{A}{C}\right) * C$$

$$A = 393.87 * 0.72 = 283.47 \text{ gr}$$

### Calculo de volumen de mortero silico-calcareo para probetas cubicas

Una vez determinada la cantidad de materiales que se van a utilizar se procede hacer el cálculo con respecto a las probetas cubicas, cuyo volumen es de  $125 \text{ cm}^3$  y teniendo en cuenta que se necesitan 6 cubos por dosificación se realizan los siguientes cálculos.

*Gráfico 26. Probetas cubicas 125 cm<sup>3</sup> de bronce*



*Fuente: Autor*

### **Volumen de mortero para una probeta cubica**

$$V = 125 \text{ cm}^3$$

1. Volumen total para 6 probetas

$$V = 750 \text{ cm}^3$$

2. Volumen total

$$VT = 750 \text{ cm}^3 * \frac{1 \text{ m}^3}{100 \text{ cm}^3} = 0.00075 \text{ m}^3$$

### **Calculo de mortero en relación a un metro cubico**

$$1m^3 \longrightarrow 395.87 \text{ kg/m}^3$$

$$0.00075 \quad \quad \quad \times$$

### Cantidad de mortero expresado en gramos

- Cal = 0.2969 kg = 296.9 gr
- Agua = 0.2126 kg = 212.6 gr
- Sílice = 1.0575 kg = 1057.5 gr

Tabla 14.

Dosificaciones de mortero silico-calcareo

Dosificación	Cal (gr)	Sílice (gr)	Agua (ml)	% Agua
1:2	296.9	593.8	356.28	60
1:3	296.9	890.7	534.42	60
1:4	296.9	1187.6	593.8	40
1:5	296.9	1484.5	593.8	40
1:6	296.9	1781.4	534.42	30
1:7	296.9	2078.3	415.66	20

Fuente y Elaboración: Autor

### Proceso de mezclado de las materias primas

Para el desarrollo del procedimiento de elaboración de probetas cúbicas se procede a medir los pesos de las distintas materias primas, todas ellas se realizarán en una balanza digital la misma que debe estar calibrada de manera que el peso sea el exacto, la balanza debe estar encerrada sin tomar el peso de la bandeja que contiene los materiales y se lo hace de acuerdo al peso de cada material según las dosificaciones de la tabla 14.

*Gráfico 27. Pesaje de arena de sílice*

*Fuente: Autor*

Para que la mezcla de las materias primas nos dé como resultado una pasta homogénea y trabajable, se lo realizará con una batidora durante un lapso de tres minutos, donde se mezclan el sílice con la cal, luego del transcurso de este tiempo se procede a verter el agua en el recipiente y se deja mezclar durante un tiempo de tres minutos obteniendo así la pasta final.

*Gráfico 28. Mezclado de las materias primas en batidora*

*Fuente: Autor*

*Gráfico 29. Batidora eléctrica para mezclado*

*Fuente: Autor*

### **Preparación de las probetas cúbicas de bronce**

Antes de verter el mortero en las probetas cúbicas se debe prepararlas, ya que hay que cubrir las con un desmoldante para evitar que el material se adhiera a las probetas. El desmoldante que se utiliza para los moldes es aceite de uso automotriz.

*Gráfico 30. Preparación de probetas de bronce*

*Fuente: Autor*

Luego de preparadas las probetas cúbicas y teniendo ya preparado el mortero se procede a verter la mezcla en los moldes, la mezcla es aplicada por capas y se procede a dar una serie de golpes en los moldes para que la mezcla se asiente bien y evitar que queden espacios vacíos en el mortero. Terminado el proceso de vertido el material en las probetas, éstas se dejan en los moldes por un lapso de 24 horas para luego ser desencofradas.

*Gráfico 31. Desencofrado de probetas*



*Fuente: Autor*

### **Proceso de curado de las probetas**

Para realizar el curado de las probetas cúbicas se debe emplear un autoclave, el mismo que sirve para el curado acelerado de morteros y hormigones, para ello se realizaron las gestiones necesarias para hacer uso de esta maquinaria la cual es de propiedad del laboratorio de suelos de la Universidad de Cuenca.

Dicho autoclave es de marca Humboldt modelo Boekel, el mismo que previo al uso se hizo una evaluación de su estado, puesto que al estar sin ser utilizado durante mucho tiempo y al ser una máquina que trabaja a grandes presiones y temperatura hay que tener mucha precaución puesto que si no funciona correctamente es peligroso tanto para la persona que la use como para las personas al su alrededor en un rango de 20 metros a la redonda puesto que se tornaría como una bomba de tiempo.

*Gráfico 32. Maquina autoclave previa a revisión*



*Fuente: Autor*

Una vez evaluado el autoclave por una persona experta, en este caso el Ing. Efraín Villota, el diagnóstico fue que la maquinaria debería ser sometida a un arreglo y aumentar un dispositivo digital, el mismo que garantice una presión y temperatura adecuadas y reducir el peligro en el uso del autoclave.

*Gráfico 33. Reparacion de autoclave*



*Fuente: Autor*

### Curado del mortero silico-calcareo en el autoclave

Para poder utilizar el autoclave es necesario emplear agua, la misma que será colocada en la cámara interior en una cantidad del 12% de la capacidad total de la cámara cuyo volumen es de 772.494 cm<sup>3</sup>, el agua es la que al ser calentada forma vapor y sumado a las altas presiones que se generan en la cámara interior del autoclave ayuda al curado de las probetas. Una vez encendido el autoclave se debe dejar que transcurra un tiempo en el cual la temperatura sea de alrededor de 90 °C los cuales generan un presión de 25 PSI, luego de ello se abre la válvula de aguja que tiene la tapa del autoclave, el propósito es que se libere el un poco de aire de la cámara y al momento de volver al cerrar la válvula de aguja generar al interior de la cámara un vacío que optimice le curado de las probetas cubicas.

Según la (NTE INEN 0200: Cemento hidráulico. Determinación de la expansión en autoclave). La cual es tomada como referencia para el curado de nuestras muestras cubicas se debe trabajar a un rango de presión de 250 a 300 PSI los mismos que nos generan 20 atmósferas de presión al interior de la cámara del autoclave y una temperatura de 200 °C. El tiempo que nos indica la norma para el curado de las muestras es de al menos 3 horas como mínimo.

Ya que dentro de este lapso de tiempo se genera la reacción química de los materiales, formándose así un elemento cementante (silicato cálcico hidratado) cuya función es unir las partículas de arena. (Bartolomé A,1994). Si comparamos con morteros convencionales, podemos decir que la reacción química que se produce entre los materiales utilizados transforma a estos morteros en piedras artificiales al igual que los morteros silico-calcareos.

Terminado el proceso de curado y transcurrido al menos 3 horas, se deja enfriar el autoclave durante al menos dos horas para que se pueda retirar de la cámara interior las probetas cubicas.

Para realizar un análisis comparativo de lo que ocurre al realizar el curado de las probetas cubicas con el uso del autoclave y sin el uso del mismo. Lo que nos generó como resultado que al no existir curado en una cámara de autoclave las probetas cubicas, al ser sumergidas en agua presentan desmoronamiento en su totalidad, como lo demuestra el grafico de la figura 27. Ya que al no existir la reacción química que se necesita para fusionar las materias primas como resultado de la aplicación de presión y temperatura sobre las probetas, genera ese déficit de dureza en el elemento cubico.

*Gráfico 34. Probeta cubica sumergida en agua*



*Fuente: Autor*

También se realizó una prueba de compresión sobre probetas cubicas sin ser sumergidas al agua y curadas a temperatura ambiente durante un lapso de 28 días, para poder descartar completamente que se puede realizar el proceso de curado de las probetas cubicas sin aplicación del curado en cámaras de autoclave ejerciendo presión y temperatura y generando una reacción química de los elementos.

Como se puede apreciar el grafico 35. La probeta cubica fue sometida a un ensayo de compresión el cual no demuestra que no genera ningún tipo de resistencia aceptable, pues no es un elemento solido completamente. Lo cual nos permite descartar por completo el curado de probetas cubicas a temperatura ambiente.

Gráfico 35. Probeta cubica sin curar en autoclave



Fuente: Autor

Gráfico 36. Calibración de autoclave previo a su uso



Fuente: Autor

## Ensayos de laboratorio

### Resistencia a la compresión

Las unidades sílico-calceas empleadas en las actividades de mampostería se encuentran obligadas a acatar los lineamientos estipulados en la norma NTC 922 (ASTM C73).

Figura 1. Norma Técnica Colombiana para mamposterías

Tipo	Resistencia mínima a la compresión en $10^5$ Pa ( $\text{kgf/cm}^2$ )						% Absorción máxima	
	Promedio de 5 unidades			Individual			Promedio de 5 unidades	
	Macizo	Perforado	Hueco	Macizo	Perforado	Hueco macizo	Perforado	Hueco
I	200	120	50	160	96	40	16 %	
II	100	60	25	80	48	20	20 %	

Fuente y elaboración: Norma Técnica Colombiana 922

Los cálculos que se realizan para determinar la resistencia a la compresión de una probeta en  $10^5$  Pa. ( $\text{kg/cm}^2$ ) se calcula con la siguiente ecuación.

$$C = \frac{P}{A} \quad \text{donde } A = b \times l$$

Donde:

C= resistencia a la compresión, en  $10^5$  Pa. ( $\text{kg/cm}^2$ )

P= carga de rotura en daN= (1,02 kgf)

A= área de sección bruta del elemento en  $\text{cm}^2$

l= longitud de la muestra en cm

### Absorción de agua

Las unidades utilizadas para actividades de mampostería deben pasar por un ensayo que se encuentre orientado por los procedimientos estipulados en la NTC 4017 (ASTM C67). De acuerdo a esto las unidades deberán cumplir con los lineamientos de absorción de agua en inmersión en el

lapso de 24 horas (promedio y máximo individual). Esto se explicita en la Tabla 10 referida a la Absorción de Agua de las Unidades de Mampostería no Estructural.

Tabla 15.

Norma Técnica Colombiana 4017

TIPO	% Absorción de agua máxima	
	Promedio 5 unidades	Unidad
Perforación horizontal	17	20
Perforación vertical	17	20
Macizo	17	20
Unidades livianas PH	17	20

Fuente y elaboración: Norma Técnica Colombiana.

De acuerdo a la tabla anterior, las unidades de mampostería, deben cumplir con un % Absorción de agua máxima de 17%.

Los cálculos para determinar la absorción de agua se expresan con la siguiente ecuación

$$\text{Absorción} = \frac{P2 - P1}{P1} \times 100\%$$

Donde:

P1= masa de la probeta desecada en gramos

P2= masa de la probeta en gramos después de 24h sumergida en agua

CAPITULO 3

ANÁLISIS DE RESULTADOS



### Resultados de los ensayos

Luego del desencofrado de las primeras probetas cúbicas, se puede observar que los cubos presentan irregularidades en su resistencia, pues presentan desmoronamiento y a simple vista no son resistentes, se procedió a realizar el curado de las probetas en la autoclave.

*Gráfico 37. Probetas cúbicas dosificación 1:3*



*Fuente: Autor*

Una vez transcurrido la fase de curado de las dosificaciones que se realizó en el autoclave, se pudo evidenciar que producto de la presión que existe en la cámara del autoclave el material de las probetas cúbicas se destrozaron y se solidificaron al fondo de la cámara del autoclave como se puede evidenciar en el gráfico 25.

*Gráfico 38. Cámara interior de autoclave*

*Fuente: Autor*

Para corroborar nuestra hipótesis acerca de que la resistencia de las probetas es deficiente, se procedió a realizar el respectivo ensayo de compresión donde efectivamente se comprueba que su resistencia es baja y no cumple con lo planteado en nuestro trabajo de investigación.

### **Recalculo de dosificaciones de mortero silico-calcareo**

Luego de comprobar que las dosificaciones obtenidas no cumplen el objetivo planteado en este trabajo de investigación se procedió a realizar el debido cálculo de las dosificaciones para constatar que es lo que pudo causar el fallo en las primeras dosificaciones.

Una vez hecho el cálculo de dosificaciones especificado en la tabla 14. Se evidencia que las dosificaciones con respecto a la cal y el sílice son las adecuadas, sin embargo, con respecto al sílice en la primera probeta cubicas se usó el material que presentaba gran cantidad de granos gruesos, por lo que esto sumado al porcentaje de agua que no es el adecuado, provocó el fallo en la resistencia de las primeras probetas.

Para las nuevas dosificaciones se utilizó la arena de sílice que queda retenida en los tamices 100 y 200, que tienen características de grano fino y libre de impurezas y con respecto al agua se redujo en un porcentaje que nos dé como resultado un mortero plástico y trabajable como establece en la tabla 15.

Tabla 16.

Dosificaciones

Dosificación	Cal (gr)	Sílice (gr)	Agua (ml)	% Agua
1:2	296.9	593.8	296.9	50
1:3	296.9	890.7	445.35	50
1:4	296.9	1187.6	475.04	40
1:5	296.9	1484.5	593.8	40
1:6	296.9	1781.4	534.42	30
1:7	296.9	2078.3	519.5	25

Fuente y Elaboración: Autor

### Ensayos de compresión de probetas cubicas

Una vez realizadas las dosificaciones se procede a realizar los ensayos de compresión de las probetas cubicas los como especifica la Norma Técnica Ecuatoriana 488 (Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50mm).

Gráfico 39. Ensayos a la compresión



Fuente: Autor

Tabla 17.

Dosificación 1:2

ENSAYO DE COMPRESIÓN DOSIFICACIÓN 1:2										
DATOS DEL ENSAYO										
CUBOS	PESO	LADO A	LADO B	LADO C	ÁREA	VOLUMEN	PESO/VOL.	CARGA	ESFUERZO	ESFUERZO
	gramos	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	Gr/cm <sup>3</sup>	kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Mpa
1	230,30	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1828,00	72,00	7,06
2	231,10	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1715,00	69,00	6,77
3	229,80	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1831	72,50	7,11
4	230,10	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1718	70,00	6,86
5	230,80	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1829	71,20	6,98
6	231,20	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1717	69,80	6,85
<b>PROMEDIO</b>									70,75	

Fuente y Elaboración: Autor

Para la realizar los ensayos de compresión de las probetas cubicas, primero se procedió a pesar cada uno de los cubos en gramos, también se midió cada arista de las probetas constatando que cumplan los 5 cm y determinar otros valores a tener en cuenta como son el volumen, la relación peso volumen.

Como se puede observar en la tabla 16. La dosificación 1:2 presenta un promedio de resistencia de 70.75 kg/cm<sup>2</sup>. Lo cual no está dentro de los parámetros que se plantearon en el presente trabajo de investigación. (Ver anexo 1)

Tabla 18.

Dosificación 1:3

ENSAYO DE COMPRESIÓN DOSIFICACIÓN 1:3										
DATOS DEL ENSAYO										
CUBOS	PESO	LADO A	LADO B	LADO C	ÁREA	VOLUMEN	PESO/VOL.	CARGA	ESFUERZO	ESFUERZO
	gramos	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	Gr/cm <sup>3</sup>	kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Mpa
1	230,30	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1828,00	218,79	21,45
2	231,10	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1715,00	233,58	22,90
3	229,80	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1831	210,20	20,61
4	230,10	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1718	215,22	21,10
5	230,80	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1829	207,06	20,30
6	231,20	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1717	202,98	19,90
<b>PROMEDIO</b>									214,64	

Fuente y Elaboración: Autor

Para realizar los ensayos de compresión de la dosificación 1:3 se realizó en mismo proceso al realizado en la dosificación 1:2, el cual consta de pesaje y medida de las probetas cubicas que serán

sometidas al ensayo de compresión, obteniendo, así como resultado un promedio de resistencia de 214.64 Kg/cm<sup>2</sup>. Resistencia que cumple la resistencia propuesta en el presente trabajo de investigación. Por lo cual se puede decir que la dosificación planteada es la óptima para obtener una resistencia de al menos 210 Kg/cm<sup>2</sup>. (Ver anexo 2)

Tabla 19.

Dosificación 1:4

ENSAYO DE COMPRESIÓN DOSIFICACIÓN 1:4										
DATOS DEL ENSAYO										
CUBOS	PESO	LADO A	LADO B	LADO C	ÁREA	VOLUMEN	PESO/VOL	CARGA	ESFUERZO	ESFUERZO
	gramos	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	Gr/cm <sup>3</sup>	kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Mpa
1	230,30	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1828,00	140,05	13,73
2	231,10	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1715,00	188,70	18,50
3	229,80	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1831	197,68	19,38
4	230,10	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1718	170,90	16,76
5	230,80	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1829	207,06	20,30
6	231,20	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1717	201,96	19,80
<b>PROMEDIO</b>									184,39	

Fuente y Elaboración: Autor

La resistencia promedio obtenida al realizar los ensayos de compresión de la dosificación 1:4 nos dan una resistencia promedio de 184.39 Kg/cm<sup>2</sup>. Lo cual nos indica que a medida que la cantidad de sílice aumenta disminuye la resistencia. Sin embargo, la resistencia está dentro del rango de resistencia de un ladrillo convencional de arcilla cocida que bordea los 160Kg/cm<sup>2</sup>. (Ver anexo 3)

Tabla 20.

Dosificación 1:5

ENSAYO DE COMPRESIÓN DOSIFICACIÓN 1:5										
DATOS DEL ENSAYO										
CUBOS	PESO	LADO A	LADO B	LADO C	ÁREA	VOLUMEN	PESO/VOL	CARGA	ESFUERZO	ESFUERZO
	gramos	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	Gr/cm <sup>3</sup>	kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Mpa
1	230,30	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1828,00	125,66	12,32
2	231,10	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1715,00	126,07	12,36
3	229,80	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1831	123,93	12,15
4	230,10	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1718	121,38	11,90
5	230,80	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1829	107,10	10,50
6	231,20	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1717	110,16	10,80
<b>PROMEDIO</b>									119,05	

Fuente y Elaboración: Autor

La resistencia promedio obtenida al realizar los ensayos de compresión sobre las probetas cubicas de dosificación 1:5 nos dan una resistencia promedio de 119.05Kg/cm<sup>2</sup>. Lo cual nos indica que a medida que la cantidad de sílice aumenta disminuye la resistencia. (Ver anexo 4)

Tabla 21.

Dosificación 1:6

ENSAYO DE COMPRESIÓN DOSIFICACIÓN 1:6										
DATOS DEL ENSAYO										
CUBOS	PESO	LADO A	LADO B	LADO C	ÁREA	VOLUMEN	PESO/VOL	CARGA	ESFUERZO	ESFUERZO
	gramos	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	Gr/cm <sup>3</sup>	kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Mpa
1	230,30	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1828,00	114,24	11,20
2	231,10	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1715,00	105,06	10,30
3	229,80	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1831	139,13	13,64
4	230,10	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1718	103,02	10,10
5	230,80	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1829	100,47	9,85
6	231,20	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1717	97,41	9,55
<b>PROMEDIO</b>									109,89	

Fuente y Elaboración: Autor

La resistencia promedio obtenida al realizar los ensayos de compresión sobre las probetas cubicas de dosificación 1:6 nos dan una resistencia promedio de 109.89 Kg/cm<sup>2</sup>. Lo cual nos indica que a medida que la cantidad de sílice aumenta disminuye la resistencia, como es para esta dosificación que como se puede apreciar en la tabla 20. La resistencia más o menos se encuentra por la mitad de la resistencia optima de la dosificación 1:3. (Ver anexo 5)

Tabla 22.

Dosificación 1:7

ENSAYO DE COMPRESIÓN DOSIFICACIÓN 1:7										
DATOS DEL ENSAYO										
CUBOS	PESO	LADO A	LADO B	LADO C	ÁREA	VOLUMEN	PESO/VOL	CARGA	ESFUERZO	ESFUERZO
	gramos	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	Gr/cm <sup>3</sup>	kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Mpa
1	230,30	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1828,00	93,84	9,20
2	231,10	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1715,00	103,02	10,10
3	229,80	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1831	117,81	11,55
4	230,10	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1718	96,90	9,50
5	230,80	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1829	90,78	8,90
6	231,20	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1717	83,64	8,20
<b>PROMEDIO</b>									97,67	

Fuente y Elaboración: Autor

La resistencia promedio obtenida al realizar los ensayos de compresión sobre las probetas cubicas de dosificación 1:7 nos dan una resistencia promedio de 97.67 Kg/cm<sup>2</sup>. Quedando así demostrado que a medida que aumenta la cantidad de arena de sílice en una dosificación la resistencia final disminuye. (Ver anexo 6)

Luego de realizados los ensayos de compresión se puede observar en la tabla 22 que la dosificación que presenta una mayor resistencia y cumple los objetivos planteados por el presente trabajo de investigación es la dosificación 1:3 cuya resistencia promedio es de 214.64 kg/cm<sup>2</sup>. (Ver anexo 7)

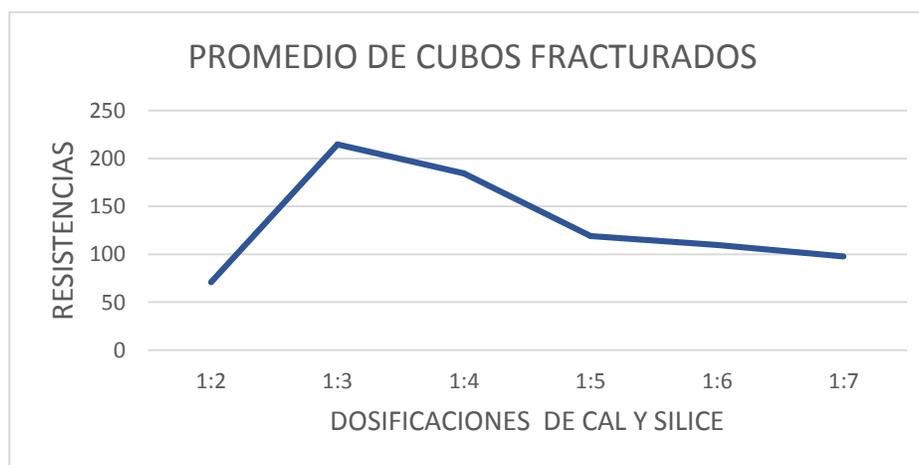
Tabla 23.

Resultados de ensayos de compresión

TABLA RESUMEN DE RESULTADOS			DATOS PROMEDIOS
DOSIFICACIONES	PROMEDIO DE RESISTENCIA DE CUBOS	ESFUERZO DE CUBOS	
CAL+SILICE+AGUA	Kgf/cm2	Mpa	
1:2	70,75	6,94	
1:3	214,64	21,04	
1:4	184,39	18,08	
1:5	119,05	11,67	
1:6	109,89	10,77	
1:7	97,67	9,58	

Fuente y Elaboración: Autor

Gráfico 40. Grafica de promedios de cubos fracturados



Fuente y Elaboración: Autor

### Ensayos de absorción de agua en probetas cúbicas

Para realizar este ensayo de absorción de agua se lo realiza acorde a la norma ecuatoriana INEN 296. Según (INEN 296). Las muestras que serán sometidas a prueba consistirán en cinco probetas cúbicas, que serán sometidas a desecación en una estufa que tendrá una temperatura de 110°C. Este procedimiento deberá ser realizado hasta obtener una masa constante. Posteriormente se procederá a enfriar a temperatura ambiente, una vez que se encuentre frío se deberá pesar nuevamente. Si como resultado se obtiene un aumento de la masa superior al 1%, la operación tendrá que ser repetida.

Una vez que las probetas han sido preparadas, se las sumerge en agua durante 24 horas. Transcurrido este tiempo se procede a sacar las probetas cúbicas y secarlas con una toalla húmeda antes de volver a pesarlas. (Ver anexo 8)

Tabla 24.

Resultado de ensayos de absorción de agua

DATOS DEL ENSAYO			
CUBOS	PESO. SAT	PESO.SECO	ABSORCIÓN
	gr	gr	%
1	230,30	198,20	16,20
2	231,10	201,20	14,86
3	229,80	197,20	16,53
4	230,10	199,30	15,45
5	230,80	200,10	15,34
6	231,20	200,30	15,43
PROMEDIO DE % DE ABSORCIÓN			15,64

Fuente y Elaboración: Autor

Una vez realizado el ensayo de absorción de agua de las probetas cúbicas podemos observar que el promedio es de 15.64% que es un rango aceptable ya que se acepta hasta un porcentaje del 17%.

## Conclusiones y recomendaciones

### Conclusiones

Dentro del recuento histórico desarrollado sobre la evolución del mortero como material fundamental en la construcción y su capacidad de adaptación con la transformación arquitectónica de los diferentes momentos materiales indica que:

1. Al hablar de morteros, se habla de materiales históricamente representativos en el contexto de producción arquitectónica y el desarrollo de sistemas de construcción, cuya evolución está asociada a la diversidad de ligantes utilizados para su producción, como la cal, yeso, tierra u otros, disponibles en el medio, o transformados desde otros, como la caliza, que son materiales utilizados a diario sin embargo es necesario buscar nuevas alternativas de elementos constructivas, como es el caso de los morteros propuestos en el presente trabajo de investigación.
2. El mortero en su diversidad de composiciones se ha utilizado alrededor del mundo, en diferentes campos, tanto artísticos como constructivos, como la arquitectura, lo cual, también permitió la diversificación de aplicaciones en la modernidad y contemporaneidad, pero hablar de mortero no solo se reduce a elaborar una pasta homogénea para la unión de piezas para mampostería, si no al elemento con todas sus características y que puede ser implementado como una unidad de mampostería al igual que los ladrillos de arcilla cocida o bloques de hormigón.
3. A pesar del vasto aporte que representa la tecnificación y mejoramiento de las prestaciones físicas, mecánicas y químicas de los morteros modernos, su inclusión en la práctica constructiva de manera constante, estuvo durante muchos años como segunda opción, luego de los morteros tradicionales como: morteros calcáreos, morteros de yeso, morteros de cal y cemento siendo estos últimos los mas usados, pero conllevan un proceso que contamina el medio ambiente por las emisiones de CO<sub>2</sub>.

4. Los morteros al igual que los hormigones son las piedras artificiales o materiales compuestos, más utilizados y representativos en la evolución de los sistemas constructivos tanto antiguos como modernos, con especial énfasis en la arquitectura e ingeniería local, no es posible generalizar características técnicas, de como son aplicados , por lo que la base o punto de partida son las normas de construcción tanto a nivel internacional como a nivel local y como son aplicadas para que sus características finales sean óptimas.

Dentro del proceso experimental con las materias primas y elaboración de las probetas cúbicas, tanto como para el proceso de curado se obtuvieron varios puntos a tener en cuenta como:

1. Del proceso experimental realizado en laboratorio acerca del análisis de morteros silico-calcareos se puede evidenciar que son factibles para ser utilizados como un nuevo material para construcción, pues presenta una resistencia de  $214,64 \text{ kg/cm}^2$  por encima de la resistencia mínima establecida por las normas en  $180 \text{ kg/cm}^2$  de acuerdo a las normas de construcción establecidas tanto en nuestro país como en el exterior.
2. La cal utilizada en el proceso de elaboración de los morteros es la cal apagada, lo cual disminuye el tiempo y proceso de apagado de la cal, esto también reduce el uso de agua, ya que el porcentaje usado para la hidratación de la cal es menor. Además, que el producto puede ser obtenido con facilidad en locales comerciales como ferreterías.
3. Para que el resultado final de los morteros previo al curado en el autoclave sea el adecuado, hay que tener presente que la arena de sílice utilizado sea de grano fino y sin impurezas y las cantidades usadas de agua en la mezcla vayan de acuerdo a la cantidad de sílice y cal.
4. El proceso de curado se lo debe hacer de manera que se genere una reacción química entre los materiales utilizados como es el caso de la arena de sílice y la cal. Para este caso en particular se lo realizó mediante el uso de un autoclave. Previo a descartar otras posibilidades de curado mediante pruebas experimentales en laboratorio.
5. El tiempo de curado debe ser mínimo 3 horas para los morteros con una presión de 250-300 PSI. Que a nivel de temperatura genera un valor de  $195\text{-}205 \text{ }^{\circ}\text{C}$  de vapor caliente que se genera en la cámara interior del autoclave, el valor de temperatura usado en el proceso de curado de los morteros en el trabajo de investigación es demasiado bajo con respecto al

empleado en los hornos para la cocción de ladrillos convencional que es de  $750^{\circ}\text{C}$ ., además que el proceso de cocción de los ladrillos genera emisión de  $\text{CO}_2$ , lo cual, genera que el proceso de producción de los morteros silico-calcareos son ecológicos.

6. Al término del análisis de los morteros de sílice y cal, mediante la elaboración de probetas cúbicas se obtuvo una resistencia de  $214,64 \text{ kg/cm}^2$ , resistencia que superior a la de ladrillos de arcilla cocida cuya resistencia bordea los  $160 \text{ kg/cm}^2$ . Cumpliendo así los objetivos planteado en esta investigación.

### Recomendaciones

1. Realizar un análisis de los distintos tipos de sílice y cal que existen en el Ecuador y ampliar así el campo de estudio hacia otros sectores del país, e incentivar la implementación de este nuevo material de construcción que es amigable con el medio ambiente.
2. La materia prima a ser utilizada para la elaboración de este tipo de morteros de sílice y cal debe ser sometida a análisis químicos, para determinar así su nivel de pureza, además de realizar ensayos de laboratorio, para determinar los parámetros sobre los cuales se trabajarán y elaborarán las dosificaciones del mortero.
3. Para el proceso experimental se debe contar con un lugar adecuado, en este caso un laboratorio dedicado a actividades relacionadas con el estudio de suelos, además que cuente con personal calificado que pueda brindar un apoyo técnico en la ejecución de procedimientos necesarios para la elaboración de ensayos.
4. Los morteros de tipo silico-calcareo necesitan el uso de un autoclave para el proceso de curado, ya que este instrumento garantiza que se realice la reacción química entre los elementos y se solidifiquen convirtiéndose así en una masa sólida, sin embargo, para futuros estudios se recomienda buscar nuevas alternativas para el curado de morteros con sílice y cal, ya que el material obtenido presenta características óptimas para ser utilizado en la construcción.

## Bibliografía

- Álvarez Galindo, J. I., Pérez, A. M., García Casado, P. J. (1991). Historia de los morteros. *Boletín Informativo*. 52 – 59.
- Artigas Santos, M., Reséndiz, F. (2013). Ciudad y Arquitectura del Ecuador del siglo XX. UNAM.
- Arteaga, D. (2000). *El artesano en la Cuenca Colonial (1557-1670)*. CIDAP. Cuenca, Ecuador.
- ASTM, I. (2013). ASTM. *Annual Book of American Society for Testing and Materials (ASTM) Standards, 4*.
- Badia Pascual, J. (2011). La cal un ejemplo para el desarrollo en bioconstrucción. *II Jornadas FICAL*, 116-120.
- Barba, L., & Villaseñor I. (Eds.). (2013). *La cal: historia, propiedades y usos*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Antropológicas. México.
- Caldas, V., & Sigcha, P. (2017). *Breve análisis cronológico de la introducción de materiales relevantes, dentro de las edificaciones del Centro Histórico de Cuenca entre los años 1880 y 1980*. (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Ecuador.
- De la Torre Conrado, M. S. (2012). *Propuesta de readecuación y adaptación de un restaurante museo en la casa Klein*. (Tesis de pregrado). Universidad de las Américas, Quito. Recuperado de <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/615>.
- Del Pino, I. (2004). Reencontrando el pasado. *Revista de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador*, noviembre.
- Delgado Vallejo, A. E., & Negrete Martínez, C. A. (2012). *Evaluación de uso de arcillas y puzolanas en la etapa de molienda de acabado para la fabricación de cemento portland puzolánico tipo IP*. (Tesis de pregrado). Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2389/1/tq864.pdf>
- Graciani, A. (2005). Una aproximación a las fábricas de albañilería en ladrillo en la construcción mesopotámica. El descubrimiento de la adherencia y la traba. En S. Huerta (ed). *Actas del Cuarto Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, 547 – 559. Madrid: I. Juan de Herrera, SEdHC, Arquitectos de Cádiz, COAAT.
- Guerra García, P. (2018). Un catálogo de argamasas históricas. *ReCoPaR Politécnica*. 13. 53 - .72.

- Gonzáles, A. (2004). Arquitectura y Urbanismo en Iberoamérica. *Anales del Instituto de Investigación de la UNAM*. 85, 87 – 118.
- Kingman, E. Achig., L., Benavides, J., Carrasco, A., Cordero, C. (1989). *Las ciudades en la historia*. Quito: Ciudad.
- Reller. A.;Wilde, P. M.;Wiedemann, H.G.; Hauptmann, H.; Bonani, G. (1992). Comparative studies of ancient mortars from Giza, Egypt, and Nevali Çori, Turkey. *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* 267: 1007-1011.
- Rodríguez Gordillo, J.M., (2006). Morteros como elementos de estudio en Arqueología – Arqueometría Medieval. En Carta, R. (coord.). *Arqueometría y Arqueología Medieval*. 171 – 192. Granada: Universidad de Granada.
- Manjón Miguel, J.L., Martínez Martínez, J. A. (2007). Evolución de la composición de los morteros en los puentes de fábrica. En M. Arenillas, C. Segura, F. Bueno, S. Huerta (eds), *Actas del Quinto Congreso de Historia de la Construcción*. 623 – 630. Madrid: I. Juan de Herrera, SEdHC, CICCPC, CEHOPU.
- Malinowski, R.; Garfinkel, Y. (1991). *Prehistory of Concrete*. Concrete International.
- Malinowski, R. (1982). *Ancient mortars and concretes: Aspects of their durability*. *Histoire of Technology 7th Annual Volume*, Marsell U.K.
- Ortega, E. O. (2001). Programa de normalización de estudios previos y control de calidad en las intervenciones: morteros empleados en construcciones históricas. *PH: Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 9(34), 78-89.
- Saavedra Vera, J. V. (2013). *La Cal. Tecnología de los Materiales*. Universidad Nacional del Santa. Perú: Facultad de Ingeniería.
- Varas, M. J., Álvarez de Buergo, M., Fort, R. (2007). Piedras artificiales: morteros y hormigones. El cemento como máximo representante de estos materiales de construcción. En Instituto de Geología Económica (ed.) *Ciencia, Tecnología y Sociedad para una Conservación sostenible del Patrimonio Pétreo*. 179-189. Delegación de Cultura. Ayuntamiento de San Sebastián de los Reyes (Madrid).
- De Villanueva, Luis (2004). *Evolución histórica de la construcción con Yeso*. Informes de la Construcción
- Cazalla Vázquez, Olga (2002). *Morteros de Cal. Aplicación en el Patrimonio Histórico*. Tesis doctoral. Universidad de Granada.

- G. Hunda, W. Roth. Inventario de Materias Primas No Metálicas en el Ecuador. Provincia del Azuay, Tomo VII. INEMIN-BGR. Quito, Ecuador 1990
- San Bartolomé A. (1994). *Construcciones de Albañilería. Comportamiento Sísmico y Diseño Estructural*. Perú. Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica de Perú.
- INIGEMM. (2011). *El Inigemm y la Investigación De Rocas Y Minerales Industriales En El Ecuador*. Ecuador. Coordinación General De Minería Dirección General De Desarrollo Minero
- PRECUPA, Prevención de desastres naturales, cuneca del Paute, Cuerpo Suizo de socorro en caso de catástrofes (CSS), Instituto Ecuatoriano de electrificación (INECEL)
- Palacios C. Ma. Andrea 2005 UNIVERSIDAD DE CUENCA. ' Diseño De Un Método Para Optimizar La Formación De Sílice Amorfa En Una Arcilla Mediante Tratamiento Térmico'
- Karen Alejandra Álvarez Mejía. (2009). Características propiedades de los Materiales, Universidad Autónoma Del Estado De México, Facultad De Arquitectura y Diseño.
- Ore Matos, (2011). Proceso para la producción de cal viva, Huancayo Perú, Universidad Nacional del centro de Perú. Facultada de Ingeniería Química
- ASTM C 109/C 109M – 07. Standard Test Methods for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or 50-mm Cube Specimens). American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 2007.
- INEN 292 Ladrillos cerámicos. Muestreo.
- INEN 293 Ladrillo cerámicos. Definiciones, clasificación y condiciones generales.



## ANEXO 1



Fundada en 1867  
**UNIVERSIDAD DE CUENCA**

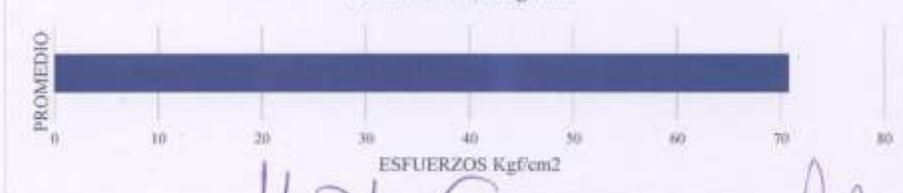
LABORATORIO DE GEOTECNIA Y ESTRUCTURAS FACULTAD DE INGENIERÍA  
laboratorio.suelos@ucuenca.edu.ec  
Teléfono: 405-1000 Ext:2354

PROYECTO	MORTEROS DE SÍLICE Y CAL: Análisis del material para futuras aplicaciones en la construcción.
DIRECTOR DE TESIS:	MSC. ARQ. PEDRO XAVIER ANGUMBA AGUILAR
SOLICITADO POR:	CARLOS XAVIER VERA BECERRA
DESCRIPCIÓN	CUBOS DE SÍLICE Y CAL, DOSIFICACIÓN 1:2
FECHA	15/10/2018

## ENSAYO DE COMPRESIÓN DOSIFICACIÓN 1:2

## DATOS DEL ENSAYO

CUBOS	PESO	LADO A	LADO B	LADO C	AREA	VOLUMEN	PESO/VOL	CARGA	ESFUERZO	ESFUERZO
	gramos	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	G/cm <sup>3</sup>	kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Mpa
1	230,30	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1828,00	72,00	7,06
2	231,10	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1715,00	69,00	6,77
3	229,80	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1834	72,50	7,11
4	230,10	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1718	70,00	6,86
5	230,80	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1829	71,20	6,98
6	231,20	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1717	69,80	6,85
PROMEDIO									70,75	6,94

PROMEDIO 70,75 Kg/cm<sup>2</sup>

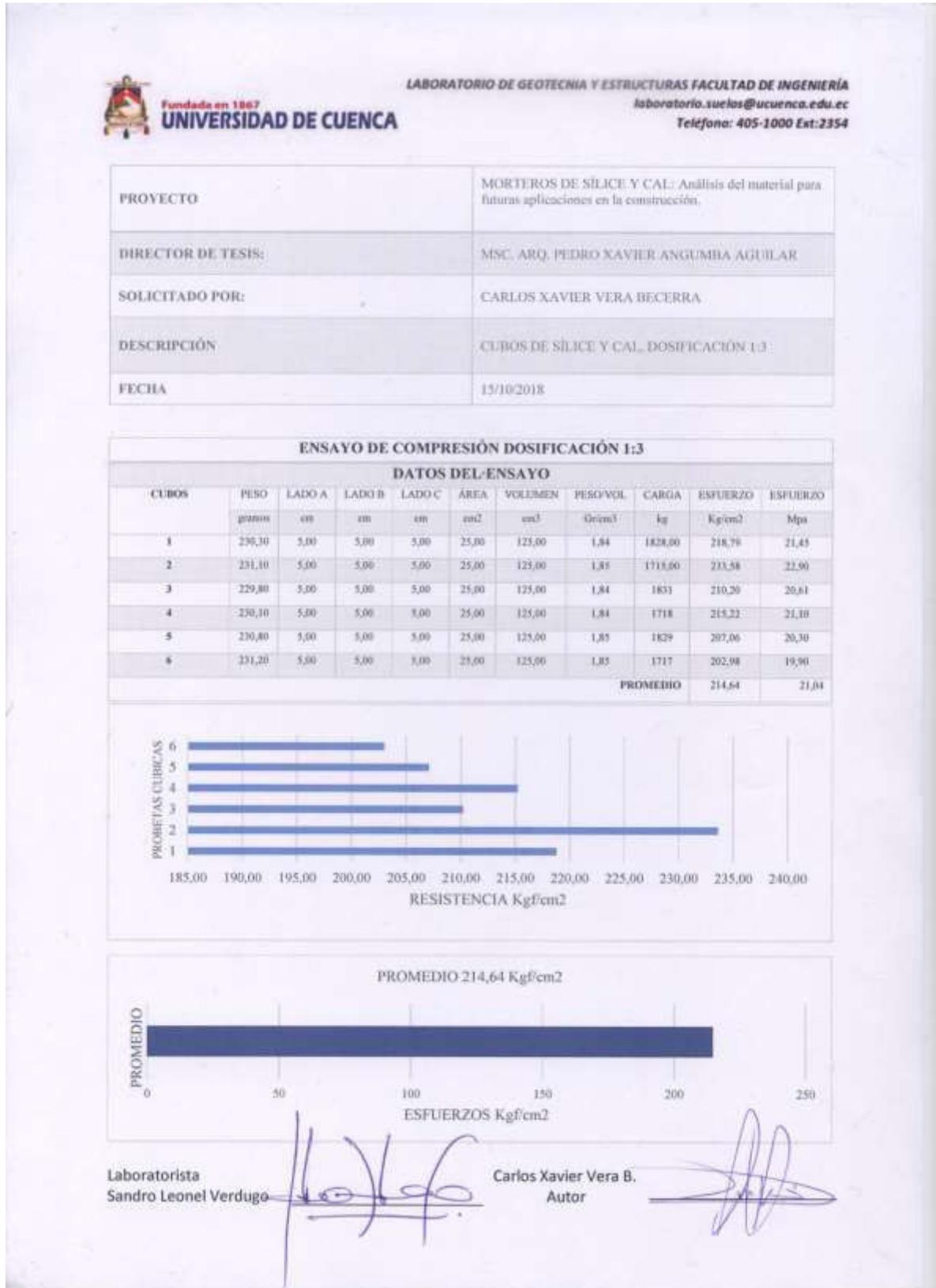
Laboratorista  
Sandro Leonel Verdugo

Autor  
Carlos Xavier Vera B.



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE CUENCA  
COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

## ANEXO 2



## ANEXO 3



Fundada en 1867  
**UNIVERSIDAD DE CUENCA**

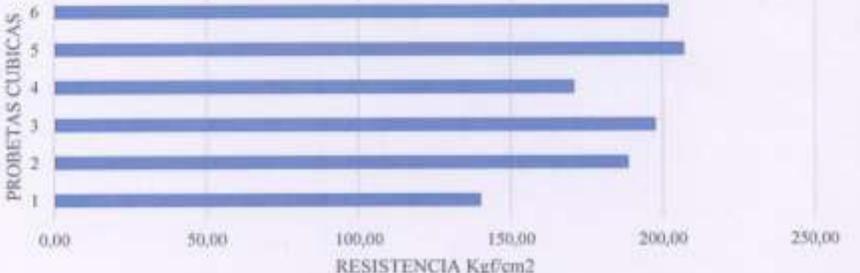
**LABORATORIO DE GEOTECNIA Y ESTRUCTURAS FACULTAD DE INGENIERÍA**  
laboratorio.suelos@ucuenca.edu.ec  
Teléfono: 405-1000 Ext:2354

PROYECTO	MORTEROS DE SÍLICE Y CAL; Análisis del material para futuras aplicaciones en la construcción.
DIRECTOR DE TESIS:	MSC. ARQ. PEDRO XAVIER ANGUMBA AGUILAR
SOLICITADO POR:	CARLOS XAVIER VERA BECTERRA
DESCRIPCIÓN	CUBOS DE SÍLICE Y CAL, DOSIFICACIÓN 1:4
FECHA	15/10/2018

**ENSAYO DE COMPRESIÓN DOSIFICACIÓN 1:4**

**DATOS DEL ENSAYO**

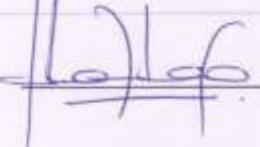
CUBOS	PESO	LADO A	LADO B	LADO C	AREA	VOLUMEN	PESO/VOL	CARGA	ESFUERZO	ESFUERZO
	gramos	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	Gr/cm <sup>3</sup>	kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Mpa
1	230,30	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1828,00	140,65	13,71
2	231,10	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1715,00	188,70	18,50
3	229,80	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1831	197,68	19,38
4	230,10	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1718	170,90	16,76
5	230,89	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1829	207,06	20,30
6	231,20	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1717	201,96	19,80
<b>PROMEDIO</b>									184,39	18,08



**PROMEDIO 184,39 Kg/cm<sup>2</sup>**



Laboratorista  
Sandro Leonel Verdugo



Carlos Xavier Vera B.  
Autor





## ANEXO 4



Fundada en 1867  
**UNIVERSIDAD DE CUENCA**

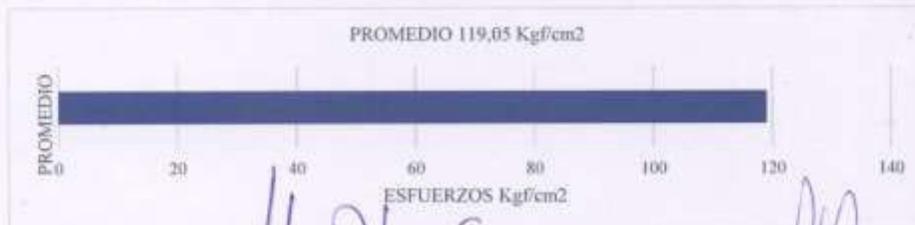
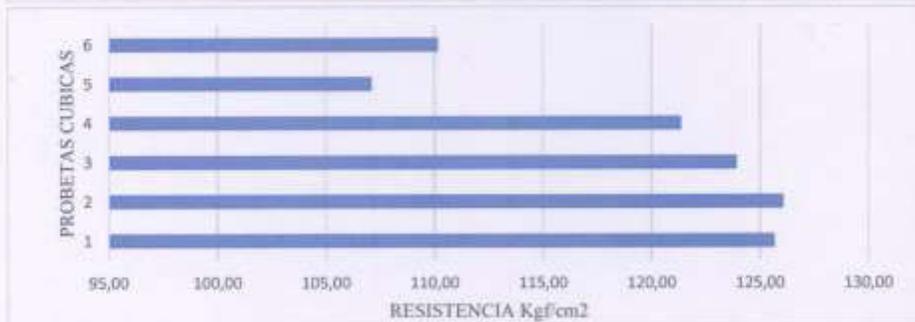
LABORATORIO DE GEOTECNIA Y ESTRUCTURAS FACULTAD DE INGENIERÍA  
laboratorio.suelos@ucuenca.edu.ec  
Teléfono: 405-1000 Ext:2354

PROYECTO	MORTEROS DE SÍLICE Y CAL- Análisis del material para futuras aplicaciones en la construcción.
DIRECTOR DE TESIS:	MSC. ARQ. PEDRO XAVIER ANGUMBA AGUILAR
SOLICITADO POR:	CARLOS XAVIER VERA BECERRA
DESCRIPCIÓN	CUBOS DE SÍLICE Y CAL, DOSIFICACIÓN 1:5
FECHA	15/10/2018

## ENSAYO DE COMPRESIÓN DOSIFICACIÓN 1:5

## DATOS DEL ENSAYO

CUBOS	PESO	LADO A	LADO B	LADO C	ÁREA	VOLUMEN	PESO/VOL	CARGA	ESFUERZO	ESFUERZO
	gramos	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	Gr/cm <sup>3</sup>	kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Mpa
1	230,30	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1828,00	123,66	12,32
2	231,30	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1715,00	128,07	12,26
3	229,80	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1831	123,93	12,15
4	230,70	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1718	121,38	11,90
5	230,80	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1829	107,10	10,50
6	231,20	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1717	110,16	10,80
PROMEDIO									119,05	11,67



Laboratorista  
Sandro Leonel Verdugo

Carlos Xavier Vera B.  
Autor



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE CUENCA  
COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

## ANEXO 5



Fundada en 1867  
**UNIVERSIDAD DE CUENCA**

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y ESTRUCTURAS FACULTAD DE INGENIERÍA

laboratorio.suelos@ucuenca.edu.ec

Teléfono: 405-1000 Ext:2354

PROYECTO	MORTEROS DE SÍLICE Y CAL: Análisis del material para futuras aplicaciones en la construcción.
DIRECTOR DE TESIS:	MSC. ARQ. PEDRO XAVIER ANGUMBA AGUILAR
SOLICITADO POR:	CARLOS XAVIER VERA BECERRA
DESCRIPCIÓN	CUBOS DE SÍLICE Y CAL, DOSIFICACIÓN 1:6
FECHA	15/10/2018

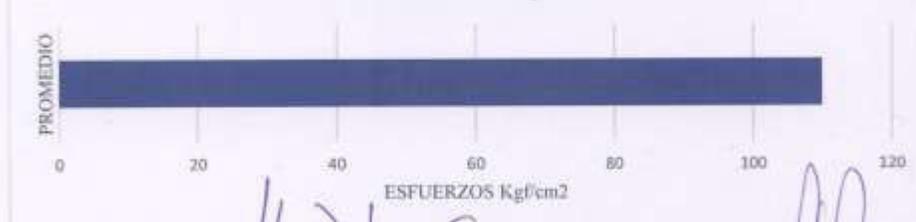
## ENSAYO DE COMPRESIÓN DOSIFICACIÓN 1:6

## DATOS DEL ENSAYO

CUBOS	PESO	LADO A	LADO B	LADO C	AREA	VOLUMEN	PESO/VOL	CARGA	ESFUERZO	ESFUERZO
	gramos	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	Gr/cm <sup>3</sup>	kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Mpa
1	230,30	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1838,00	114,24	11,20
2	231,10	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1713,00	105,06	10,30
3	229,80	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1831	136,13	13,64
4	230,10	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1718	103,02	10,10
5	230,80	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1829	100,47	9,85
6	231,20	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1717	97,41	9,55
PROMEDIO									109,89	10,77



PROMEDIO 109,89 Kg/cm<sup>2</sup>



Laboratorista  
Sandro Leonel Verdugo

Carlos Xavier Vera B.  
Autor



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE CUENCA  
COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

**ANEXO 6**

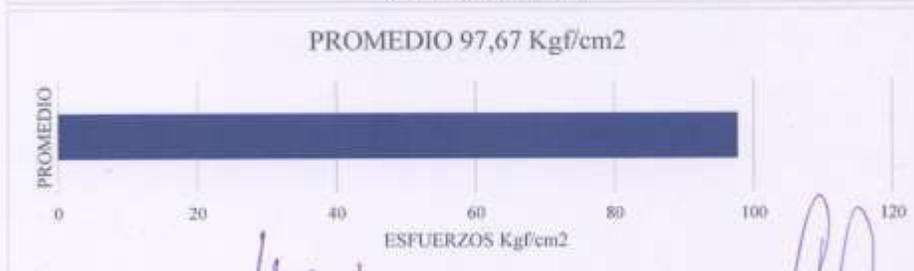
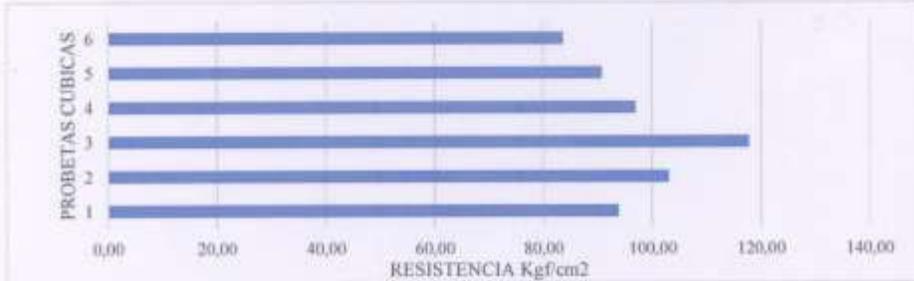


Fundada en 1867  
**UNIVERSIDAD DE CUENCA**

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y ESTRUCTURAS FACULTAD DE INGENIERÍA  
laboratorio.suelos@puceuca.edu.ec  
Teléfono: 405-1000 Ext:2354

PROYECTO	MORTEROS DE SÍLICE Y CAL: Análisis del material para futuras aplicaciones en la construcción.
DIRECTOR DE TESIS:	MSC. ARQ. PEDRO XAVIER ANGUMBA AGUILAR
SOLICITADO POR:	CARLOS XAVIER VERA BECERRA
DESCRIPCIÓN	CUBOS DE SÍLICE Y CAL, DOSIFICACIÓN 1:7
FECHA	15/10/2018

ENSAYO DE COMPRESIÓN DOSIFICACIÓN 1:7										
DATOS DEL ENSAYO										
CUBOS	PESO	LADO A	LADO B	LADO C	ÁREA	VOLUMEN	PESO/VOL.	CARGA	ESFUERZO	ESFUERZO
	gramos	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	G/cm <sup>3</sup>	kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Mpa
1	230,30	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1828,00	93,84	9,20
2	231,10	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1715,80	107,02	10,30
3	229,80	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1831	117,81	11,55
4	230,10	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,84	1718	96,90	9,50
5	230,80	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,83	1829	90,78	8,90
6	231,20	5,00	5,00	5,00	25,00	125,00	1,85	1717	83,64	8,20
PROMEDIO									97,67	9,58



Laboratorista  
Sandro Leonel Verdugo

Carlos Xavier Vera B.  
Autor



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**  
COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

## ANEXO 7



Fundada en 1867  
**UNIVERSIDAD DE CUENCA**

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y ESTRUCTURAS FACULTAD DE INGENIERÍA

laboratorio.suelos@ucuenca.edu.ec

Teléfono: 405-1000 Ext:2354

PROYECTO	MORTEROS DE SÍLICE Y CAL: Análisis del material para futuras aplicaciones en la construcción.
DIRECTOR DE TESIS:	MSC. ARQ. PEDRO XAVIER ANGUMBA AGUILAR
SOLICITADO POR:	CARLOS XAVIER VERA BECERRA
DESCRIPCIÓN	TABLA RESUMEN DE RESULTADOS
FECHA	15/10/2018

TABLA RESUMEN DE RESULTADOS

DOSIFICACIONES	PROMEDIO DE RESISTENCIA DE CUBOS	ESFUERZO DE CUBOS	DATOS PROMEDIOS
CAL+SÍLICE+AGUA	Kgf/cm <sup>2</sup>	Mpa	
1:2	70,75	6,94	
1:3	214,64	21,04	
1:4	184,39	18,08	
1:5	119,05	11,67	
1:6	109,89	10,77	
1:7	97,67	9,58	



Laboratorista  
Sandro Leonel Verdugo

Carlos Xavier Vera B.  
Autor



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE CUENCA  
COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

## ANEXO 8

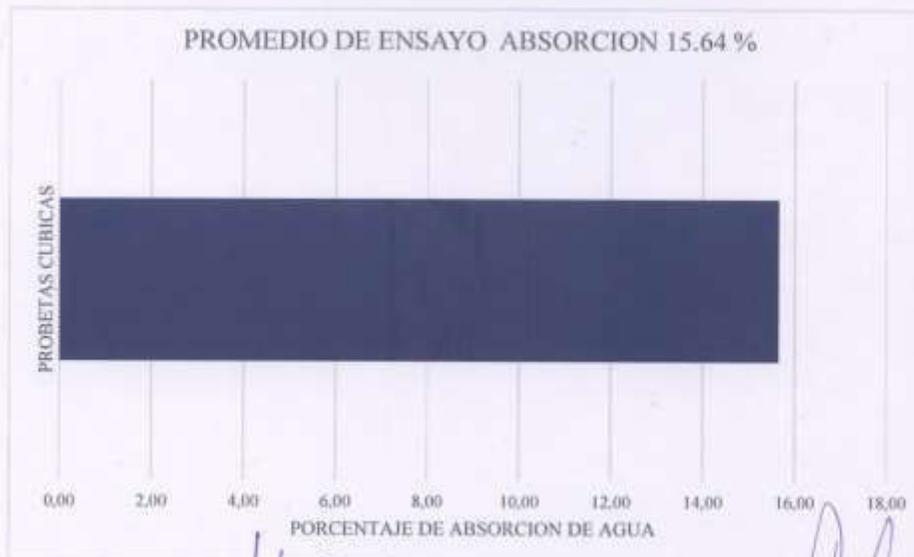


Fundada en 1867  
**UNIVERSIDAD DE CUENCA**

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y ESTRUCTURAS FACULTAD DE INGENIERÍA  
laboratorio.suelos@ucuenca.edu.ec  
Teléfono: 405-1000 Ext:2354

PROYECTO	MORTEROS DE SÍLICE Y CAL: Análisis del material para futuras aplicaciones en la construcción.
DIRECTOR DE TESIS:	MSC. ARQ. PEDRO XAVIER ANGUMBA AGUILAR
SOLICITADO POR:	CARLOS XAVIER VERA BECERRA
DESCRIPCIÓN	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE AGUA
FECHA	15/10/2018

DATOS DEL ENSAYO			
CUBOS	PESO. SAT	PESO. SECO	ABSORCIÓN
	gr	gr	%
1	230,30	198,20	16,20
2	231,10	201,20	14,86
3	229,80	197,20	16,53
4	230,10	199,30	15,45
5	230,80	200,10	15,34
6	231,20	200,30	15,43
PROMEDIO DE % DE ABSORCIÓN			15,64



Laboratorista  
Sandro Leonel Verdugo

Carlos Xavier Vera B.  
Autor



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE CUENCA  
COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO



**PERMISO DEL AUTOR DE TESIS PARA SUBIR AL REPOSITORIO  
INSTITUCIONAL**

Yo, **Carlos Xavier Vera Becerra** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° 0105627814. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación "**Morteros de sílice y cal: Análisis del material para futuras aplicaciones en la construcción**" de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 04 de junio de 2018

F: .....

Carlos Xavier Vera Becerra  
C.I. 0105627814