



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA.

TÍTULO DE ARQUITECTO.

Evaluación experimental de las características mecánicas de matrices cementicias con adición de cáscara de huevo pulverizado deshidratado y sus aplicaciones en la arquitectura.

TRABAJO DE TITULACIÓN.

AUTORA: Reibán Ojeda, Dayanna Verónica.

DIRECTOR: Aguirre Maldonado, Eduardo Bladimir, Mgrt.

LOJA – ECUADOR

2017



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2017

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.

Arquitecto, Mgrt.

Eduardo Bladimir Aguirre Maldonado.

DOCENTE DE LA TITULACION.

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: Evaluación experimental de las características mecánicas de matrices cementicias con adición de cáscara de huevo pulverizado deshidratado y sus aplicaciones en la arquitectura, realizado por Reibán Ojeda Dayanna Verónica, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, septiembre de 2017.

f)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.

“ Yo Reibán Ojeda Dayanna Verónica, declaro ser autora del presente trabajo de titulación: Evaluación experimental de las características mecánicas de matrices cementicias con adición de cáscara de huevo pulverizado deshidratado y sus aplicaciones en la arquitectura, de la Titulación de Arquitectura, siendo Eduardo Bladimir Aguirre Maldonado director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forma parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.

f)
Autor: Reibán Ojeda Dayanna Verónica.
C.I. 1104305253

DEDICATORIA.

La alegría de poder alcanzar un logro más se la debo a Dios y a la Virgen, quienes me han dado unos Padres que con su amor y bendición me han apoyado incondicionalmente durante toda mi vida, principalmente en la etapa universitaria, es por eso que les dedico este Trabajo, al igual que a mi sobrina y a dos seres que desde el cielo me cuidan y guían.

AGRADECIMIENTO.

A Dios y a la Virgen por darme la vida y el valor de poder culminar esta etapa.

A mis padres, hermana, sobrina y familia que con su apoyo y consejos se fue realizando mi sueño de ser profesional, todos ellos fueron mi motivación y les estaré agradecida infinitamente.

A los docentes que me impartieron las cátedras de estudio, especialmente al Arq. Eduardo Aguirre, quien fue el guía para la realización de este documento y mi formación profesional; de igual manera al Ing. Juan Carlos Quintuña, Ing. David González, Ing. Berenice Zúñiga, Ing. Ángel Tapia, Ing. Diego Mata y Arq. Christian Balcázar, por la paciencia y ayuda dentro de los distintos laboratorios.

A la Universidad Técnica Particular de Loja por haberme acogido estos años en sus aulas y sus laboratorios.

ÍNDICE DE CONTENIDOS.

CARÁTULA.....	i
APOBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABLAS.....	xii
LISTA DE ECUACIONES.....	xiii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO UNO	6
ESTADO DEL ARTE + SOSTENIBILIDAD + AGREGADOS.	
1. Estado del arte.....	8
1.1. El cemento.....	8
1.1.1. Historia del cemento.....	8
1.1.2. Composición del cemento y proceso de fabricación.....	10
1.1.3. Tipos de cemento con elaboración en Ecuador.....	14
1.1.4. Sostenibilidad del cemento en Ecuador.....	16
1.1.5. Mejoras ecológicas y ambientales implementadas para el cemento.....	17
1.1.6. Ventajas y beneficios en el empleo de residuos orgánicos e inorgánicos dentro del cemento.....	18
1.1.7. Desventajas de la utilización de productos orgánicos e inorgánicos dentro del cemento.....	20
1.2. Conglomerantes.....	21
1.2.1. Conglomerantes de origen mineral.....	22
1.2.1.1. Cal.....	23
1.2.1.2. Yeso.....	24
1.2.1.3. Arcilla.....	24
1.2.1.4. Puzolanas.....	25
1.2.1.4.1. Puzolanas naturales.....	26
1.2.1.4.2. Puzolanas artificiales.....	26
1.2.1.5. Cenizas volantes.....	27
1.2.1.6. Humo de sílice.....	28
1.2.1.7. Cementos de escoria.....	29
1.2.1.8. Metacaolín.....	29
1.2.1.9. Cenizas volcánicas.....	30
1.3. Residuos agrícolas como conglomerantes en el cemento.....	30
1.3.1. Ceniza de cáscara de arroz.....	31
1.3.2. Ceniza de bagazo de caña de azúcar.....	32
1.3.3. Ceniza de bambú.....	32
1.3.4. Ceniza de cáscara de huevo pulverizado.....	33

CAPÍTULO DOS. 35
CARACTERIZACIÓN + REFERENTES.

2.1.	La cáscara de huevo: su uso como un material complementario para las matrices cementicias.....	37
2.1.1.	El huevo y su historia.....	37
2.1.2.	Características y estructura del huevo.....	38
2.1.3.	Organización estructural y composición de la cáscara de huevo.....	39
2.2.	Caracterización química y física de la cáscara de huevo como residuo.....	43
2.3.	La cáscara de huevo como residuo orgánico en la ciudad de Loja, Ecuador....	44
2.4.	Resumen de conclusiones de referentes previamente analizados.....	45

CAPÍTULO TRES. 47
COMBINACIÓN DE CÁSCARA DE HUEVO PULVERIZADO CALCINADO + MATRICES CEMENTICIAS.

3.	Composiciones químicas del cemento y de muestras calcinadas de la cáscara de huevo pulverizada.....	49
3.1.	Composición química del cemento.....	49
3.1.1.	Cenizas y aditivos que actúan junto al cemento.....	50
3.2.	Efectos del cemento al utilizar adiciones.....	53
3.3.	Metodología para ensayos de matrices cementicias con reemplazo de aditivo de CH.....	54
3.4.	Metodología para ensayo a la compresión de morteros de cemento hidráulico ASTM-C 109.....	55
3.5.	Parte experimental.....	55
3.6.	Preparación de muestras de cáscaras de huevo.....	56
3.7.	Fase I.....	57
3.7.1.	Pesaje y molienda de las diferentes CH.....	57
3.7.2.	Medición de compuestos químicos con pistola de eflorescencia de rayos X....	59
3.7.3.	Pesaje de materia prima y materiales de laboratorio.....	60
3.7.4.	Calcinación de la materia prima en crisoles dentro de un horno eléctrico.....	61
3.8.	Fase II.....	63
3.8.1.	Calcinación de CH a temperaturas de 450° C, 700° C y 1000° C.....	63
3.8.2.	Pulverización de la CHMC.....	66
3.8.3.	Método granulométrico de la arena.....	67
3.8.4.	Dosificación para matrices cementicias.....	70
3.8.5.	Mezcla para matrices cementicias.....	72
3.8.6.	Roturas para determinación de resistencia a la compresión.....	73
3.9.	Fase III.....	76
3.9.1.	Calcinación y pulverización de la CHM para la mezcla de Matrices Cementicias.....	76
3.9.2.	Elaboración de matrices cementicias.....	76
3.10.	Fraguado y rotura de las matrices cementicias.....	78
3.11.	Método de ensayo de la absorción de agua por capilaridad de matrices cementicias y de la tasa de absorción de agua inicial de las mismas.....	80
3.12.	Método de granulometría para la CH calcinada a 1000° C.....	83

CAPÍTULO CUATRO. DISCUSIÓN DE RESULTADOS + RECOMENDACIONES + FUTURAS CONTRIBUCIONES.	86
CONCLUSIONES.....	88
RECOMENDACIONES.....	100
BIBLIOGRAFIA.....	101
ANEXOS	104
Anexo 1.....	105
Anexo 2.....	109
Anexo 3.....	112

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 Línea de Tiempo a través de la historia y evolución del cemento.....	9
Fig. 2 Proceso de fabricación del clínker.....	12
Fig. 3 Proceso de fabricación del clínker a través de maquinaria.....	13
Fig. 4 Ciclo ecológico industrial de Cenizas.....	19
Fig. 5 Fabricación de cementos ecológicos.....	19
Fig. 6 Proceso de mezcla de cemento con adición de cáscara de arroz.....	20
Fig. 7 Ciclo de vida del cemento.....	21
Fig. 8 Extracción de conglomerantes.....	22
Fig. 9 Formas de obtención de la cal.....	23
Fig. 10 La cal a través de la historia.....	23
Fig. 11 Cristales de yeso.....	24
Fig. 12 Proceso de explotación de la arcilla y ladrillo.....	25
Fig. 13 Canteras de puzolana (Piedra volcánica roja).....	25
Fig. 14 Puzolana natural de origen volcánico punmítico.....	26
Fig. 15 Micrografía SEM de una ceniza volante.....	27
Fig. 16 Micrografía SEM.....	27
Fig. 17 Microsilíce o humo de sílice.....	28
Fig. 18 Metacaolín en estado puro.....	29
Fig. 19 Microscopía de ceniza volcánica.....	30
Fig. 20 Ceniza de cáscara de arroz.....	31
Fig. 21 Bagazo de caña de azúcar.....	32
Fig. 22 Abono comercial a base de ceniza de madera de bambú.....	32
Fig. 23 Calcio de la cáscara de huevo.....	33
Fig. 24 Primeros criadores de huevos.....	37
Fig. 25 Proporción de los constituyentes básicos del huevo.....	38
Fig. 26 Fisionomía del huevo.....	39
Fig. 27 Esquema temporal de la puesta del huevo.....	40
Fig. 28 Esquema de la estructura de la cáscara del huevo. m: membranas de la cáscara; ma: mamillas; p: capa en empalizada; c: cutícula.	40
Fig. 29 Cáscara del huevo mostrando al microscopio electrónico, se muestra un microporo a través del cual se efectúa el intercambio.....	41
Fig. 30 Estructura de la cáscara del huevo.....	42
Fig. 31 Estructura de la cáscara del huevo.....	42
Fig. 32 Las adiciones dentro de las mezclas de cemento.....	53
Fig. 33 Moldes cúbicos para matrices cementicias.....	55
Fig. 34 a) CH marrón de gallina de incubadora. b) CH criollo de gallina criolla. c) CH de ganso. d) Huevo de avestruz.....	57
Fig. 35 a) Peso de cáscara de huevo marrón de gallina. b) peso de cáscara de huevo criollo de gallina. c) Peso de cáscara de huevo de ganso. d) peso de cáscara de huevo de avestruz.....	57
Fig. 36 a) Molino convencional. b) Colocación de cáscaras en el molido. c) Trituración de las cáscaras. d) Muestras de cáscaras de huevos pulverizados.....	58
Fig. 37 Pistola de Eflorescencia de Rayos X. UTPL.....	59
Fig. 38 Colocación de las muestras dentro de recipiente de pistola de eflorescencia.....	59

Fig. 39 Hidratación de CHPC en cajas petri.....	62
Fig. 40 a) CHM calcinada a 450° C. b) CHMcalcinada a 700° C. c) CHM calcinada a 1000° C.....	63
Fig. 41 a) Pulverizadora de Discos RS 200 internamente. b) Discos con muestras para ser pulverizadas. c) Muestra pulverizada en Discos.....	67
Fig. 42 Horno para secar material (arena) por 24 horas.....	67
Fig. 43 Recipiente de la arena en el horno, secado durante 24 horas.....	68
Fig. 44. Ilustración de la serie de tamices en la máquina tamizadora RO-TAP.....	68
Fig. 45 Serie de tamices en la máquina tamizadora RO-TAP.....	69
Fig. 46 Gráfica de la curva granulométrica.....	70
Fig. 47 Mezcladora eléctrica HOBART.....	72
Fig. 48 a) Materiales a utilizar, variación en la cantidad de CHMC. b) Mezcla en el tazón de la mezcladora. c) Matriz cementicias fraguada sin adición de CHCM, Cementante pura.....	72
Fig. 49 a) Matriz cementicias fraguada con adición de CHCM a 450° C. b) Matriz cementicias fraguada con adición de CHCM a 700° C. c) Matriz cementicias fraguada con adición de CHCM a 1000° C.....	73
Fig. 50 Matrices cementicias	73
Fig. 51 Máquina Triaxial para roturas Accu Tek.....	74
Fig. 52 Panel de control de Rotura mediante máquina Triaxial.....	74
Fig. 53 a) CHMC a 1000° C dentro de los crisoles. b) CHMC en un pírex enfriándose para poder ser pulverizado. c) Discos de pulverizadora con CHMC frío.	76
Fig. 54 Secuencia de procesos para la realización de las matrices cementicias con variación de dosificación de CHM del 30, 20 y 10%. Iniciando desde la recolección de la materia (CHM) hasta el curado de las matrices.....	77
Fig. 55 a) Pesaje de materialidad. b) Relleno de Matrices Cementicias con 32 golpes con el apisonador y en 3 capas. c) Desmolde de Matrices Cementicias a las 24 horas de formarse la misma.....	78
Fig. 56 a) Matrices cementicias sumergidas en agua, acorde a los días de fraguado. b) Armado de máquina Triaxial Accu Tek con placas y alzas de acero para roturas a la compresión (kN). c) Rompimiento de Matriz Cementicia a la compresión.....	79
Fig. 57a) Matrices a 28 días. b) Matrices a 14 días. c) Matrices a 14 días.....	79
Fig. 58 Esquema de capilaridad en pared con ladrillo y mortero.....	80
Fig. 59 a) Balanza, cronómetro y apoyos para sumergir las matrices en agua. b) Matrices sumergidas en agua por 10 min. c) Secado de matrices para ser pesadas. d) Pesaje de matrices por medio de balanza.....	82
Fig. 60 Curva granulométrica de la CHPD mediante tamizaje.....	85
Fig. 61 Conclusión de compuestos químicos en cascarones crudos. Nomenclatura: CHM_01: CH marrón de gallina; CHC_01: CH criollo de gallina; CHG_01: CH de ganso y CHA_01: CH de avestruz.....	88
Fig. 62 Conclusión de compuestos químicos en cascarones calcinados. Nomenclatura: CHMC_01: CH marrón de gallina; CHCC_01: CH criollo de gallina; CHGC_01: CH de ganso y CHAC_01: CH de avestruz.....	89
Fig. 63 Conclusión de pérdida de la materia al momento de ser calcinada a tres temperaturas.....	89
Fig. 64 Medición de compuestos químicos a diferentes temperaturas de calcinación.....	90
Fig. 65 Promedio de resistencia a la compresión de matrices cementicias.....	90

Fig. 66 Cuadro de resistencias finales a diferente dosificación de CHMC.....	91
Fig. 67 Comparativa de porcentajes de componentes de CHMC y Cal mediante efluorescencia de rayos X.....	91
Fig. 68 Conclusión comparativa de resistencias de las matrices cementicias a 7 días.....	93
Fig. 69 Conclusión comparativa de resistencias de las matrices cementicias a 14 días...	94
Fig. 70 Conclusión comparativa de resistencias de las matrices cementicias a 28 días...	94
Fig. 71 Propuesta de dosificación para matrices cementicias con 20% de CHMC + 80% de cemento.....	95
Fig. 72 Conclusión de promedios de matrices cementicias expuestas a método de absorción por medio de capilaridad.....	95
Fig. 73 Porosidad de las matrices cementicias.....	96

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1 Fábricas y tipos de cemento elaborados en Ecuador.....	10
Tabla 2 Componentes en la mezcla del cemento.....	11
Tabla 3 Criterio de los tipos de cemento.....	14
Tabla 4 Tipos y subtipos de cementos.....	14
Tabla 5 Clasificación de los tipos de cementos portland según las características.....	15
Tabla 6 Características químicas y físicas de la cáscara de huevo y tamaño de las pastículas.....	43
Tabla 7 Cantidad de venta semanal de cubetas de huevo en la ciudad de Loja.....	44
Tabla 8 Porcentajes de cantidades a implementar en las muestras.....	45
Tabla 9 Componentes del cemento portland.....	49
Tabla 10 Clasificación de minerales del clínker.....	50
Tabla 11 Reacciones de cenizas y aditivos más cemento.....	50
Tabla 12 Composición química de la ceniza volante, puzolana natural, clínker y yeso...	52
Tabla 13 Pesos de las diferentes cáscaras de huevos.....	58
Tabla 14 Resultados de Compuestos químicos por medio de la Pistola de Eflorescencia de Rayos X.....	60
Tabla 15 Pesaje de materia prima y materiales de laboratorio.....	60
Tabla 16 Pesos de crisoles con muestras a calcinar y perdida de materia.....	61
Tabla 17 Resultados de muestras calcinadas mediante pistola de eflorescencia de Rayos X.....	62
Tabla 18 Pesos de la calcinación de la CHM acorde a las temperaturas establecidas...	64
Tabla 19 Compuesto químicos de la CHMC mediante pistola de eflorescencia de rayos X.....	65
Tabla 20 Compuesto químicos de la cal viva mediante pistola de eflorescencia de rayos X.....	65
Tabla 21 Datos para calcular la granulometría de la arena.....	69
Tabla 22 Dosificación. Cantidad de material para la mezcla.....	71
Tabla 23 Roturas de Matrices Cementicias a los 7 días de curado.....	74
Tabla 24 Cantidades de dosificación para matrices cementicias.....	77
Tabla 25 Promedios de Resistencia a la compresión de las matrices cementicias.....	78
Tabla 26 Resultados de medición de la capilaridad en las matrices cementicias.....	81
Tabla 27 Medición de la porosidad en matrices cementicias.....	83
Tabla 28 Método granulométrico de la CHPD.....	84
Tabla 29 Empleo y uso del conglomerante CHMC según su resistencia.....	97
Tabla 30 Utilidades a la que fue expuesta la PC de CH.....	105
Tabla 31 Cantidades de materiales para la realización de la investigación.....	106
Tabla 32 Cantidades de materiales para la realización de la investigación.....	107
Tabla 33 Características químicas y físicas de la piedra caliza comercial, marrón y banco, rellenos de piedra caliza de CH.....	107
Tabla 34 Resultados finales de la investigación.....	108
Tabla 35 Desglose de vocabulario y puntos importantes.....	109
Tabla 36 Cantidades de materiales para la realización de la investigación.....	110
Tabla 37 Resultados finales de la investigación.....	111
Tabla 38 Números de tamices acordes a la arena.....	114

LISTA DE ECUACIONES.

Ecuación 1. $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$	8
Ecuación 2. $\text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	25
Ecuación 3. Puzolana + cal + Agua = Silicatos y Aluminatos de calcio hidratados.....	25
Ecuación 4. $\text{C} + \text{C}_2\text{S} \rightarrow \text{C}_3\text{S}$	33
Ecuación 5. $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$	33
Ecuación 6. Anhidrita (solida) + Agua \rightarrow Hidrato (sólido) + Calor.....	50
Ecuación 7. $M. \text{ finura} = \Sigma = \frac{(T\# 8+T\#16+T\# 30+T\#50+T\#100)}{100}$	70
Ecuación 8. volumen de cemento= $V_c = \frac{\text{Cont. Cemento}}{3080}$	71
Ecuación 9. Masa de Arena= $\frac{V_a \times 2700}{\text{Cont. Cemento}}$	71
Ecuación 10. Dosificación resultante con la medición granulométrica de la arena. 1 ; 2,6 ; 0,5 Cemento Arena Agua.....	71
Ecuación 11. Dosificación según la norma ASTM-C 109 (útil). 1 ; 2,75 ; 0,485 Cemento Arena Agua.....	71
Ecuación 12. Área total = $l \times l = \hat{A}t$	75
Ecuación 13. Carga = $\frac{\text{Carga (Máquina Triaxial)}}{9,81} = \text{Carga (kN)}$	75
Ecuación 14. Carga (kN) = $\frac{\text{Area total}}{\text{Carga}} = \text{Carga Total (kN)}$	75
Ecuación 15. Promedio de Carga = $\frac{Ct 1+Ct 2+Ct3}{3 \text{ matrices}} = \text{Prom. CargaT (kN)}$	75
Ecuación 16. $C_{w,3} = \frac{m_{sos} - m_{seco,5}}{A_s \sqrt{t_{50}}} \times 10^6 \left[\frac{g}{m^2 \times s^{0,5}} \right]$	81

RESUMEN

Con la necesidad de obtener materiales de construcción que sean conscientes con la explotación excesiva de minerales, se pretende la creación de un aditivo basado en la cáscara de huevo (CH), estudiando el procesamiento y caracterización química del mismo, que se reemplazará en un porcentaje del cemento. Para producir la ceniza se debe calcinarla, así se logra eliminar toda la materia orgánica perjudicial dentro de los morteros.

Con la evaluación de los componentes del cemento y la CH cruda y calcinada, mediante una Pistola de Eflorescencia de Rayos X; los resultados obtenidos determinaron la presencia de Óxido de Calcio (CaO); con estos datos se establece la diferencia entre el cemento que posee un gran porcentaje de CaCO_3 y la CH que es un conglomerante de cal viva, capaz de unir varios materiales y dar cohesión al mortero.

La ceniza obtenida de las cáscaras de huevo se la considera útil para juntas de ladrillos o revoques; otra consideración es el de potenciar la cal viva como pintura para muros o fachadas de adobe o tapial por ser altamente resistente al fuego.

PALABRAS CLAVES: *Adiciones orgánicas, Absorción, Cáscara de huevo, Capilaridad, Cemento, Conglomerantes, Resistencia a la compresión.*

ABSTRACT

With the need to obtain construction materials that are aware of the excessive exploitation of minerals, it is intended to create an additive based on the eggshell, studying the processing and chemical characterization of the same, which will be replaced in a percentage of the cement. To produce ash, it should be calcined, thus eliminating all harmful organic matter inside the mortars.

with the evaluation of the components of the cement and the eggshell crude and calcined, by means of a pistol of efflorescence of X-rays; The results obtained determined the presence of Calcium Oxide (CaO); with this data the difference between the cement is established It has a large percentage of CaCO₃ and eggshell which is a living lime conglomerate, able to unite various materials and give cohesion to the mortar.

The ash obtained from egg shells is considered useful for brick or plaster joints; another consideration is to enhance quicklime as paint for walls or facades of adobe or tapial for being highly resistant to fire.

KEYWORDS: *Absorption, Binders, Capillarity, Cement, Compressive strength, Eggshell, Organic additions.*

INTRODUCCIÓN.

El mortero es uno de los materiales de construcción con más versatilidad, se moldea acorde a la necesidad, tiene una alta resistencia mecánica, estabilidad ante el fuego y aislamiento acústico. En la actualidad, el 90% de nuestra vida la realizamos dentro de edificios, un 42% es de consumo energético y el 35% de emisiones de gases invernaderos; la vida útil de un edificio es de 60 años, durante ese periodo expulsa aproximadamente 90% de CO₂, un 8-10% durante la fabricación de materiales y entre un 2-3% durante el proceso de construcción. Para lograr una sostenibilidad del edificio se considera los cálculos desde la extracción de materia prima de los materiales a ocupar, hasta su demolición, desarrollando una ponderación de parámetros energéticos, medioambientales, sociales y económicos. (Abascal, 2016)

Para la fabricación del cemento se debe explotar canteras de cal que están a cielo abierto, mediante voladuras controladas¹ y excavadoras para calizas, pizarras, arcillas y margas². Esa materia prima es triturada y calentada en un horno de clínker³ a 1000° C. Todo este proceso emana gases invernaderos hacia el ambiente con un 7% de emisiones de CO₂ a nivel mundial y por cada tonelada de cemento se emite una tonelada del mismo; los materiales cementosos suplementarios contienen silicio, aluminio y calcio y son desechos de productos orgánicos como las cenizas volantes de la cáscara de arroz, el bambú, la mazorca de maíz, el bagazo de la caña (Aprianti, Shafigh, Bahri, & Farahani, 2014) o el *cascarón de huevo* (Pliya & Cree, 2015); todos ellos son de bajo costo y con menor impacto ambiental, tanto en la explotación de materia prima y el proceso industrial al que se exponen. Respecto a la utilización de la cáscara de huevo como aditivo (conglomerante) dentro del cemento, se rescata la parte de reciclaje, aportando a la disminución de explotaciones excesivas de hectáreas de minas de cal y a respetar los bosques y el hábitat de animales en peligro de extinción.

El concreto es el segundo material que es más consumido después del agua, pero al terminar su vida útil es desechado y no tiene un segundo uso; se explotan alrededor de 25 billones de toneladas de cemento al año y se transportan más de 1.7 billones; dando una producción de 1300 millones de toneladas de desechos en Europa con un 40% de residuos de construcción y demolición; 325 millones de toneladas en EEUU; en Japón 77 millones de toneladas y China e India producen y consumen más del 50% del concreto del mundo (Cembureau, 2006) y al año son recuperadas más de 125 millones de toneladas en diferentes partes del mundo

¹ Voladuras controladas: Operadora de explosivos para el sector de la construcción y minería.

² Marga: Tipo de roca sedimentaria compuesta principalmente de calcita y arcillas, con predominio de color blanquecino con tonos que pueden variar bastante de acuerdo con las distintas proporciones y composiciones de los minerales principales.

³ Clínker: Es el producto del horno que se muele para fabricar el cemento Portland.

(Varios, 2009) es en donde se pone a discusión las nuevas alternativas ecológicas y orgánicas de adiciones de polvos y cenizas que han sido evaluadas sus capacidades físicas, químicas y mecánicas en matrices cementicias (Aprianti, Shafigh, Bahri, & Farahani, 2014).

La cáscara de huevo cuenta con el 95% de carbonato de calcio (CaCO_3) (Pliya & Cree, 2015), material que se utiliza en el medio por ser biodegradable como abono de los suelos alimenticios en los hogares y campos; las mayores fuentes que desechan esta materia son las panificadoras y empresas de condimentos de la ciudad de Loja, pudiendo obtener un aditivo, dando una solución de materiales alternativos eco-sustentables, recolectado y procesado en el medio con las resistencias acordes a las normas de compresión, pasando por un proceso experimental en los laboratorios de la Universidad Técnica Particular de Loja.

La cantidad de huevos producidos anualmente por una gallina está entre 300 a 325 huevos, siendo un 10% de cáscara, resultando que en un huevo de peso normal de 50 gr, obtendríamos de 1500 gr a 1625 gr anuales por gallina de carbonato de calcio (CaCO_3) crudo y de 1000 gr a 1200 de óxido de calcio (CaO) (Araneda, 2015); esta materia orgánica será reemplazada en matrices cementicias para pruebas de compresión y de absorción mediante capilaridad, en porcentajes de 30, 20 y 10% dentro del 100% del cemento y dejando fraguar a 7, 14 y 28 días, logrando establecer el mejor uso de este aditivo tomando en cuenta los estándares de calidad de materiales para la construcción.

Para lo cual planteamos la posibilidad de crear un aditivo que sirva como conglomerante orgánico alternativo para el cemento a partir de la cáscara de huevo pulverizada deshidratada, cumpliendo con la normativa para cementos hidráulicos ASTM-C 109 que al momento de ser añadido a morteros responda favorablemente dentro de la construcción arquitectónica.

Objetivo General.

Determinar experimentalmente las propiedades químicas, físicas y mecánicas de matrices cementicias con adición de cáscara de huevo pulverizado deshidratado para la valoración de sus posibles usos en construcciones arquitectónicas y su porcentaje permitido trabajando como un conglomerante.

Objetivos Específicos.

- Sintetización conceptual relacionada a cementos, adiciones orgánicas e inorgánicas, composición de la cáscara de huevo y los procesos de diseño de mezcla para matrices cementicias
- Estudio de la obtención de materia orgánica a partir de las producciones de huevo anuales y mensuales, dependiendo del consumo en el medio; y estudio de sus características físicas y químicas.
- Preparación y recolección de la materia prima junto al estudio de características químicas del CHPD y el desarrollo de procesos de calcinación del cascarón de huevo.
- Proponer una dosificación de mezcla para la elaboración de matrices cementicias de mortero con adiciones de CHMC y evaluación de sus características mecánicas mediante una normativa de cementos hidráulicos ASTM-C 109.
- Valoración de requerimientos técnicos para los usos en la construcción arquitectónica con los resultados en base a las características químicas, físicas y mecánicas arrojadas en el proceso experimental.

CAPITULO UNO.

ESTADO DEL ARTE + SOSTENIBILIDAD + AGREGADOS.

Campo de estudio.

PALABRAS CLAVES:

Concreto, Construcción, Materialización, Compuestos, Residuos de origen orgánico.

Conforme las áreas de investigación establecidas por la UTPL a través del Departamento de Arquitectura y Artes (Área Técnica) para la realización de Trabajos de Fin de Titulación; la presente investigación está encaminada hacia la experimentación de nuevos materiales (CHC) dentro de matrices cementicias a través de la práctica para lograr establecer el uso específico al que aportaría dicho conglomerante dentro del campo de la construcción en la Arquitectura sostenible, teniendo como objetivo específico los materiales alternativos para la sustitución de un porcentaje de cemento por un material orgánico que tenga un menor impacto ambiental y menor explotación minera de calderas en las que se explota grandes hectáreas de terrenos, perdiendo así la flora y la fauna, muchas veces en peligro de extinción, y generando cantidades excesivas de emisiones de gases de efecto invernadero hacia la atmosfera.

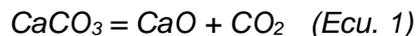
El fuerte impacto ecológico que genera la explotación de canteras de piedra caliza derivan de la trituración de canteras de rocas calizas, tiza y conchas marinas que generan liberación de dióxido de carbono (CO₂) en cantidades de 1 tonelada por tonelada de cemento; esto denota la sustentabilidad de la investigación acotada anteriormente y por ende el estudio de conceptos variados referentes al proceso de fabricación tradicional del clínker y cemento dentro del ámbito local, nacional e internacional, haciendo comparaciones de procesos tecnológicos como la Eflorescencia de rayos X, que permitirá obtener la medición de propiedades químicas de la materia, la calcinación del producto mediante hornos, utilización de productos químicos y agua para el proceso de hidratación y fraguado de matrices cementicias y metodología de absorción mediante capilaridad.

1. Estado del arte.

1.1. El cemento.

En la actualidad el cemento es un componente hidráulico, conocido como un material inorgánico colocándolo como ingrediente principal del concreto premezclado, ya que es un polvo finamente molido proveniente de la obtención de la calcinación a 1450° C de la mezcla de piedra caliza, arcilla y mineral de hierro (Cemex, 2016). Este al ser amasado con agua se convierte en una pasta que fragua y endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación, conservando su resistencia y estabilidad, por lo que sus componentes se dilatan y comienza la hidratación de silicatos de calcio y aluminatos; esta suma de proporciones corresponden al óxido de calcio (CaO) y al dióxido de silicio reactivo (SiO₂) que tienen un porcentaje del 50% dentro de la masa total (IECA, 2016).

La energía asociada a la fabricación del cemento portland data del proceso de clinkerización, mismo que consume más del 90% de la energía total de la fabricación del material. Hay varias reacciones al momento de la cocción del Clinker y es la descarbonatación de la piedra caliza (CaCO₃) (Ma-tay, 2014):



En esta reacción se pierde un 44% de materia prima de caliza que va directamente a la atmósfera en forma de CO₂ junto con óxidos como SO_x y NO_x (Ma-tay, 2014), con la eliminación de cantidades abruptas de contaminación ambiental mundial negativa innegable, se incrementa con las fábricas que aún utilizan carbón o fuel⁴ para quemar el clinker.

1.1.1. Historia del cemento.

Para entender la evolución del cemento a través de la historia, se debe tomar en cuenta los materiales que cada localidad poseía acorde a la época; cada evolución fue surgiendo por la necesidad de encontrar la mejor manera de construir edificaciones resistentes, duraderas y que alcancen alturas impresionantes referidas a dicho período constructivo. Para la comprensión del mismo se detalla una línea de tiempo:

⁴ Fuel: Líquido constituido por una mezcla de hidrocarburos que se obtiene por destilación fraccionada del petróleo natural; se emplea como combustible, especialmente en centrales eléctricas y en la calefacción doméstica.

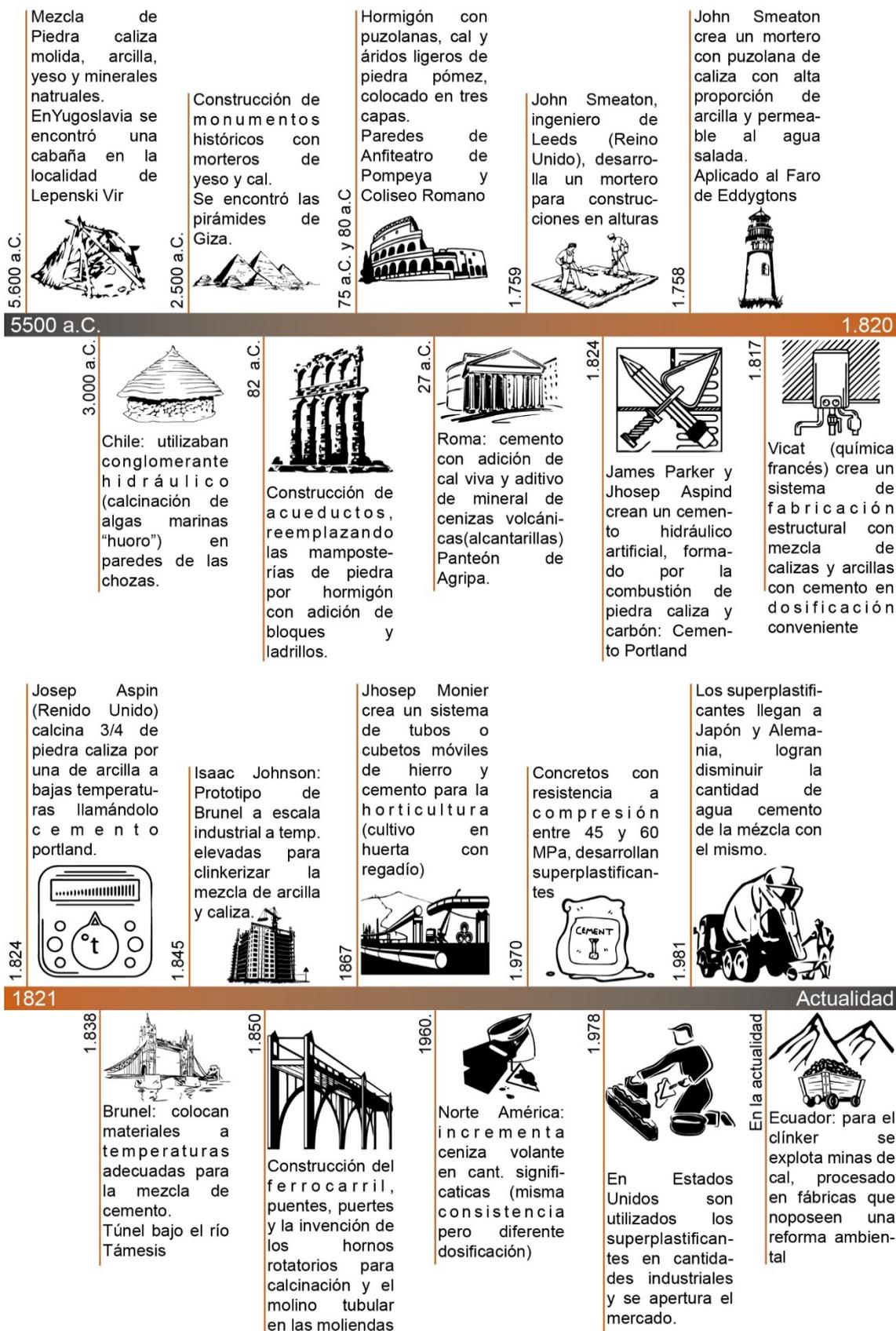


Figura 1. Línea de Tiempo a través de la historia y evolución del cemento.

Fuente: (Abascal, 2016) (Aitcin P. , 2007) (IECA, 2016) (Hattori, 1981) (Suner, 2016) (Tucker, 1932).
Elaborado por: Reibán, D. 2017.

En la actualidad existen numerosas fábricas de cemento en Ecuador, sus componentes se explotan en las diferentes minas de cal del país y luego son procesadas en las fábricas, pero en su mayoría aún no cuenta con una reforma que sea amigable con el medio ambiente y no desechen emisiones de gases tóxicos; según la *Empresa Pública Cementera de Ecuador*, las principales son:

Tabla 1. Fábricas y tipos de cemento elaborados en Ecuador.

Compañía	Nombre para la distribución.	Ubicación	Oficinas.	Tipo de cemento
Unión Cementera Nacional, UCEM C.E.M	Industrias Guapán S.A.	Riobamba	Azogues. Biblián. Cuenca.	Tipo 1P
	Cementos Chimborazo C.A.		Azogues. Loja. Quito.	Tipo 1P
Empresa Pública Cementera del Ecuador	EPCE	Riobamba	Quito. Loja.	Tipo 1P
Unión Andina de Cementos	Selvalegre.	Regiones con alta humedad.		Tipo 1P
	Campeón.	Región Costa y Oriente.		Tipo HS
La Farge Holcim	Holcim	Molienda Latacunga	Planta Guayaquil	Tipo 1P

Fuente: (Cementera, s.f.) (FICEM, s.f.) (UNACEM, s.f.)
Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Para el estudio de la composición y fabricación del cemento, se ha tomado de referencia a la Empresa Cementera Holcim, por sus años de trayectoria y el proceso de industrialización que se está encaminando a favor del ambiente.

1.1.2. Composición del cemento y proceso de fabricación.

En la actualidad el cemento ha evolucionado por el desarrollo de las nuevas tecnologías que permiten que su fabricación sea más ágil y en menor tiempo, implantando técnicas que apuestan su rumbo a la sostenibilidad de las industrias; intentando mejorar sus propiedades

y minimizando la huella ambiental al momento de producirlas, una solución es el usar residuos industriales como materia prima, este reciclaje se encamina hacia la reducción de emisiones de CO₂.

Las nuevas alternativas de cementos llegan a ser capaces de oxidar y eliminar las sustancias contaminantes que se depositan sobre las sustancias de las construcciones con ayuda de la luz y el oxígeno. El desarrollo de conglomerantes orgánicos se lo reemplaza con cemento geo-polímero, este posee propiedades únicas y potencializa el campo de materiales sostenibles, manteniendo su composición química con procesos productivos en su totalidad nuevos, con eficiencia energética, rendimiento y con consumo de recursos naturales mínimos.

Su composición es una mezcla de aglomerantes (áridos) como la arena, grava o piedra machacada, agua y en ocasiones algún aditivo que sirve como acelerante o retardante para su secado. Existen dos tipos de componentes:

- *Componente principal:* Material inorgánico que es especialmente seleccionado y usado en una proporción superior al 5% en masa respecto de la suma de todos los componentes principales (IECA, 2016).
- *Componente minoritario:* Cualquier componente principal que se use en cantidades menores al 5% en masa respecto a la suma de todos los componentes (IECA, 2016).

Los componentes que se utilizan y sus descripciones son las siguientes:

Tabla 2. Componentes en la mezcla del cemento.

Nombre del componente	Simbología	Porcentaje
Caliza	L	75% en masa
Caliza	LL	75% en masa
Cenizas volantes calcáreas	W	10 al 25% depende de mezcla
Clínker	K	2 y 5% acorde al uso
Clinker aluminado de calcio	-	-
Escoria granulada de horno alto	S	1%

(Continuación: Tabla 2 Componentes en la mezcla del cemento.)

Esquistos ⁵ calcinados	T	-
Humo de sílice	D	85 al 4%
Puzolana natural	P	Entre el 25%
Puzolana natural calcinada	Q	Entre el 25%

Fuente: (IECA, 2016)

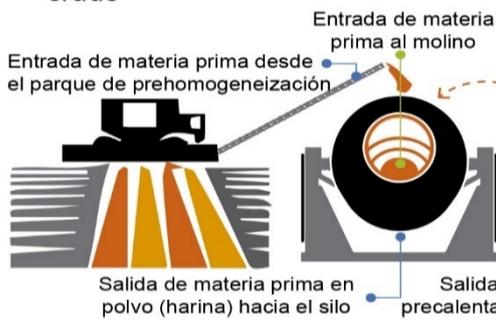
Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Según Abascal el proceso de creación del clínker siendo el producto principal para la elaboración del cemento es el siguiente:

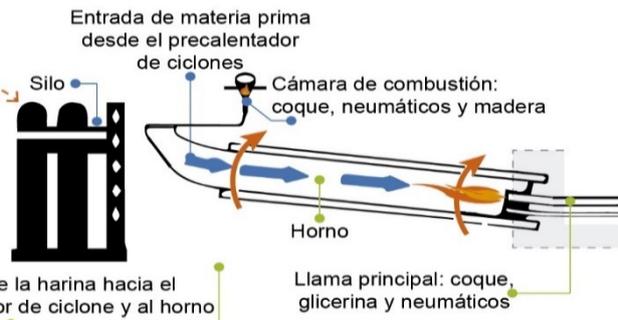
1) **Obtención** y preparación de materias primas



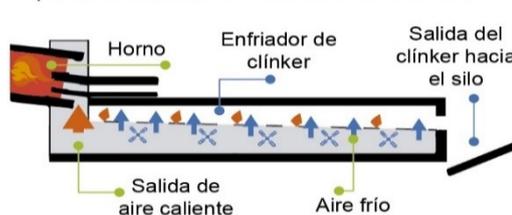
2) **Homogeneización** y molienda del crudo



3) **Fabrización** de clínker en el horno



4) **Fabricación** del clínker enfriador



5) **Molienda** del clínker

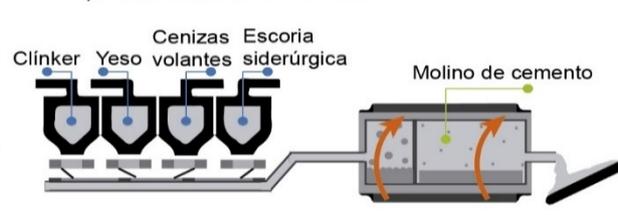


Figura 2. Proceso de fabricación del clínker.

Fuente: (Abascal, 2016)

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

⁵ Esquisto: contiene más de un 50% de minerales planos y alargados, son sedimentarios o arcillosos se refieren a rocas clásticas de grano fino y no metamorizadas que presentan la misma propiedad de laminación.

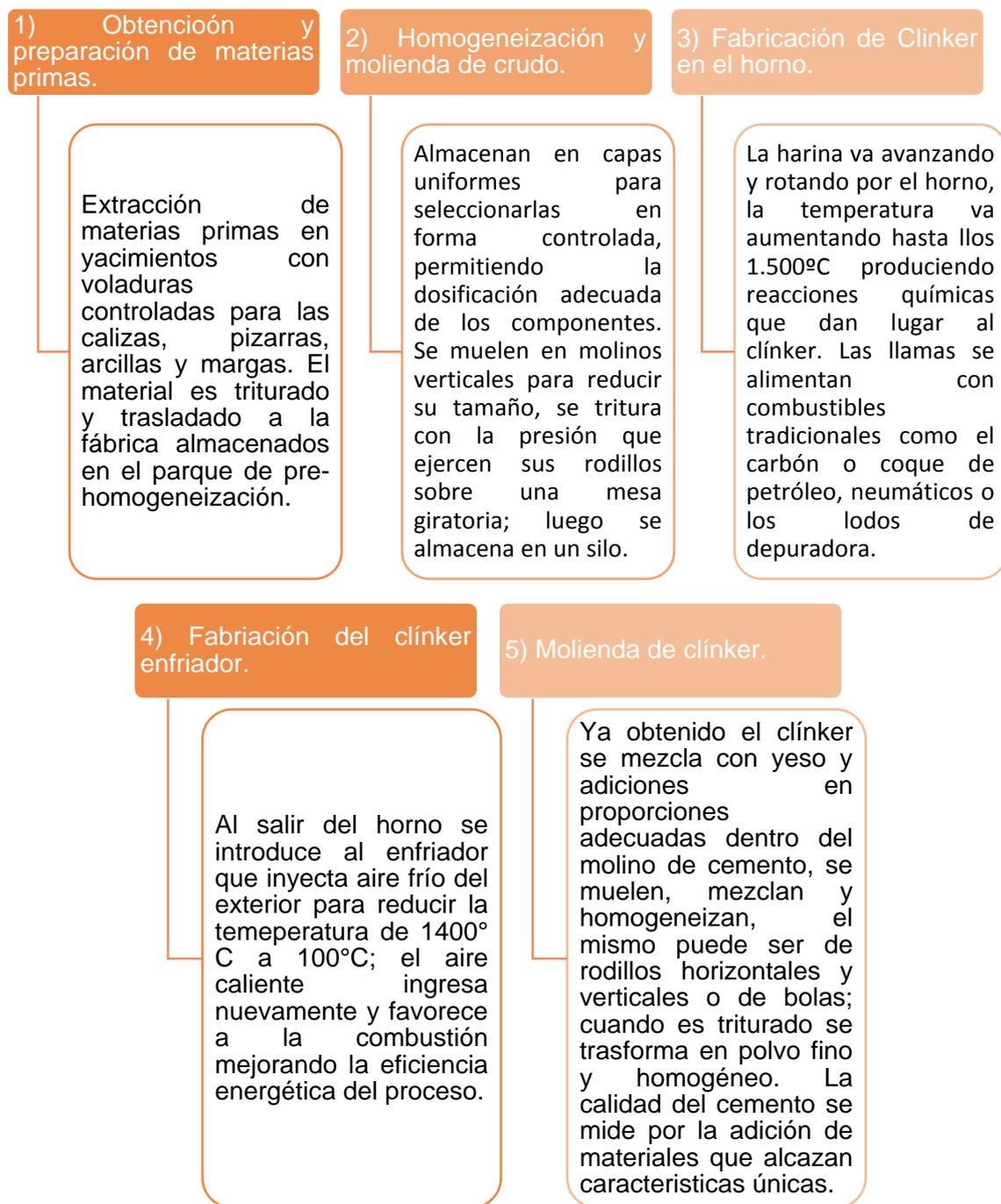


Figura 3. Proceso de fabricación del clínker a través de maquinaria.
 Fuente: (Abascal, 2016)
 Elaborado por: Reibán, D. 2017.

El problema ambiental radica en la gestión o uso que se les da a las edificaciones luego de haber cumplido su vida útil, teniendo una atención por parte de administraciones, empresas y ciudadanos; estas políticas van orientadas a la prevención de la producción de residuos y la gestión adecuada de los mismos utilizando la siguiente jerarquía según Abascal:

Reducción – Reutilización – Valorización – Eliminación

- Reducción: Minimiza sus porcentajes de residuos ambientales.
- Reutilización: Vuelve a utilizar los residuos.
- Valorización: Da un uso a los residuos, aprovechando los recursos materiales o energéticos que contienen.
- Eliminación: Se asocia al vertido o la destrucción sin aprovechar los residuos energéticos.

En este estudio se recopila información relacionada con la producción de cementos en Ecuador para poder implementar el aditivo de CHC, que estará en forma de reemplazante, por ello detallamos los tipos de cementos y el nombre genérico de su composición.

1.1.3. Tipos de cemento con elaboración en Ecuador.

En el mercado existe variedad de cementos que son utilizados y clasificados dependiendo de la resistencia y utilidad que va a desempeñar el mismo, se clasifican por los criterios, denominaciones y designaciones, por sus componentes y por su funcionalidad.

Tabla 3. Criterio de los tipos de cemento.

Tipos de cemento	Denominaciones	Designaciones
I	Cemento Portland	CEM I
II	Cemento Portland con adiciones	CEM II
III	Cemento portland con escorias de horno alto	CEM III
IV	Cemento puzolánico	CEM IV
V	Cemento compuesto	CEM V

Fuente: (Cemex, 2016).

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Tabla 4. Tipos y subtipos de cementos.

Tipo de cemento	Subtipo	Denominación	Designación
CEM I	Sin subtipo	Cemento portland	CEM I
CEM II	A	Cemento portland con escoria de horno alto	CEM II/A-S
	B		CEM II/B-S

<i>(Continuación: Tabla 4 Tipos y subtipos de cementos.)</i>			
	Solo A	Cemento portland con humo de sílice	CEM II/A-P
	A	Cemento portland con puzolana natural	CEM II/B-P
	B		CEM II/B-P
	A	Cemento portland con puzolana natural calcinada	CEM II/A-Q
	B		CEM II/B-Q
	A	Cemento portland con ceniza volante sílicea	CEM II/A-V
	B		CEM II/B-V
	A	Cemento portland con ceniza volante calcárea	CEM II/A-W
	B		CEM II/B-W
	A	Cemento portland con esquisto calcinado	CEM II/A-T
	B		CEM II/B-T
	A	Cemento portland con caliza L	CEM II/A-L
	B		CEM II/B-L
	A	Cemento portland con caliza LL	CEM II/A-LL
	B		CEM II/B-LL
	A	Cemento portland mixto con todas las adiciones	CEM II/A-M
	B		CEM II/B-M
CEM III	A	Cemento portland con escoria de horno alto	CEM III/A
	B		CEM III/B
	C		CEM III/C
CEM IV	A	Cemento Portland con D, P, Q, V, W	CEM IV/A
	B		CEM IV/B
CEM V	A	Cemento Portland con S, P, Q, V	CEM V/A
	B		CEM V/B

Fuente: (Cemex, 2016).

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Para el estudio de las Tablas 3 y 4, se debe tomar en cuenta los usos a los que van destinados cada tipo, en donde se especificaran a continuación los tipos de cemento portland:

Tabla 5. Clasificación de los tipos de cemento portland según las características.

Característica	Tipo I.	Tipo II.	Tipo III.	Tipo IV.	Tipo V.
Tipo de obra.	Edificios, estructuras industriales.	Puentes y tuberías.	Estructuras de concreto (pocos días)	Control de temperatura	Canales, alcantarillas y portuarias

(Continuación: Tabla 5 Clasificación de los tipos de cemento portland según las características.)

Resistencia.	Trabaja como incorporador de aire.	Resistencia moderada a los sulfatos.	Alta resistencia inicial.	Sin dilatar en el fraguado.	Mayor resistencia a sulfatos.
Componentes	Puzolana	Genérico	Silicato cálcico.	Silicatos y aluminatos	Silicatos y aluminatos.
Temperatura adecuada.	Temperaturas elevadas o clima lluvioso	Temperaturas elevadas, orillas del mar o selva.	Altas resistencia en varias temperaturas	Bajo calor de hidratación	Cualquier temperatura

Fuente: (Cardona Castro, 2013) (Cemex, 2016)
 Elaborado por: Reibán, D. 2017.

La industria del cemento emite alrededor de 2 GT (giga-toneladas) de CO₂ al año, lo que equivale al 6% de emisiones industriales en el mundo, teniendo como estadísticas para el 2050 llegar hasta las 5 GT (Twenergy , 2013).

1.1.4. Sostenibilidad del cemento en Ecuador.

En Ecuador existen varias empresas cementante que distribuyen su producto a las regiones del país siendo Holcim el líder con un 66% a nivel nacional según datos del Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Hormigón; en el 2013 modernizan su planta de producción de la ciudad de Guayaquil y sacan al mercado una nueva línea para la producción del clínker y poseen el 21% del mercado nacional dando una producción total del 87% de producción en el mercado Nacional. La Cementera Nacional (Revista Líderes) entre el 2007 y 2012, se ha incrementado su capacidad de producción cerca de 3600 toneladas de cemento al día.

En cuanto a los aspectos de sostenibilidad, el Cemento Chimborazo para el cemento Portland puzolánico Tipo HE con Norma NTE INEN 2380 (Cementos de Alta Resistencia) ha reducido en gran escala la emisión de gases de efecto invernadero con la utilización del clínker más una puzolana natural de origen volcánico de alta reactividad y yeso, los cuales se los obtiene en una molienda por medio de un sistema de gestión de calidad basado en la Norma ISO 9001.

Según la empresa Holcim su iniciativa sustentable se basa en la reducción del consumo de recursos reemplazando y reduciendo las cantidades de materias primas, combustibles alternativos y de biomasa⁶, energía térmica, energía eléctrica y agua potable, logrando reducir la huella ambiental por medio de cementos hidráulicos con menor impacto en cuanto a CO₂ por tonelada de cemento con un 46% de disminución de emisiones con relación a 1990. La empresa se basa en la conservación de la naturaleza en zonas circundantes a las canteras de explotación de materia prima, tomando en consideración el uso de especies nativas cuando realizan deforestación y revegetación especialmente en el *Bosque Protector Cerro Blanco*, donde se almacena y captura el carbono y aprovisiona el agua dulce, existe un mantenimiento de biodiversidad a través del cuidado de su habitat promoviendo el turismo y la recreación.

En cuanto a la energía utilizada en Holcim y el cambio climático que se produce, han dispuesto una estrategia de reducción de la intensidad de producción de CO₂ a través de políticas y mecanismos internacionales logrando una tasa de sustitución térmica de cerca del 11%. Referente a su innovación tecnológica para la explotación de los recursos naturales como la caliza y puzolana, andesita y caliza en sus agregados adquiere coque de petróleo como fuente principal de energía térmica para la elaboración del clínker representando el 35% de costo de producción.

1.1.5. Mejoras ecológicas y ambientales implementadas para el cemento.

Existe una empresa hormigonera llamada NOVACEM que se niega a la utilización de silicatos de magnesio con carbono y lo compensa con la absorción de CO₂; su CaO no es cal, sino un silicato de magnesio a 650° C de temperatura, cuyo valor es inferior a la del cemento convencional, capturando al momento de su fabricación 100 kg de gases invernaderos por tonelada. (Twenergy , 2013).

El mayor potencial real actualmente es el reciclaje y la valoración del material, dado desde los puntos de vista técnico, ecológico y económico. Según Abascal, las empresas cementicias realizan una contribución medioambiental social teniendo tres líneas principales de trabajo:

- Inversiones y modificaciones en los procesos productivos del cemento.
- Realización de estudios y proyectos de explotación sostenible y restauración ambiental de canteras.

⁶ Biomasa: materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente.

- Reciclaje y valorización de residuos, en condiciones que garantizan la protección del entorno, seguridad de trabajadores y vecinos y la calidad misma del cemento.

Para lograr un reciclado de minerales y reducir las emisiones de CO₂ al ambiente es importante el empleo de escorias⁷, cenizas de procesos térmicos, cenizas volantes granuladas en horno alto, las cuales aportan según Abascal, 1,5 millones de toneladas que contribuyeron a la fabricación del cemento con menos clínker; evitando la explotación de 2 años de una cantera tipo I, el consumo de 170.000 toneladas de petróleo y ahorrando en las emisiones de gases en más de 1,7 millones de toneladas de CO₂, se emplearon cerca de 130,000 toneladas de yeso artificial recuperado de procesos de limpieza de grandes industrias y se sustituyó el yeso de explotaciones mineras.

Para muchos países estos índices de contaminación significan nuevas propuestas de políticas que se encaminan hacia la conservación del medio ambiente y al ahorro en el coste de la energía de la producción del cemento con la búsqueda de nuevas alternativas adecuadas como es la introducción de materiales que tengan características comunes de la actividad puzolánica o fijación de cal.

1.1.6. Ventajas y beneficios en el empleo de residuos orgánicos e inorgánicos dentro del cemento.

Con el empleo de estas nuevas escorias, cenizas y demás materiales inorgánicos, se regula la explotación minera que sufren las diferentes canteras, evitando y minorando las emisiones vertidas por las maquinarias utilizadas y los recursos naturales explotados dentro de terrenos verdes, según Abascal tenemos que destacar las siguientes ventajas:

- Evita el depósito de residuos en vertedero y sus consecuencias adversas, emiten metano al fermentar, un gas de efecto invernadero (contamina 20 veces más que el CO₂).
- Reduce las inversiones necesarias al aprovechar instalaciones ya existentes, recuperando la energía que contienen los residuos (Ver Fig. 4).

⁷ Escorias: subproducto de la fundición de la mena para purificar los metales. Se pueden considerar como una mezcla de óxidos metálicos; sin embargo, pueden contener sulfuros de metal y átomos de metal en forma de elemento.

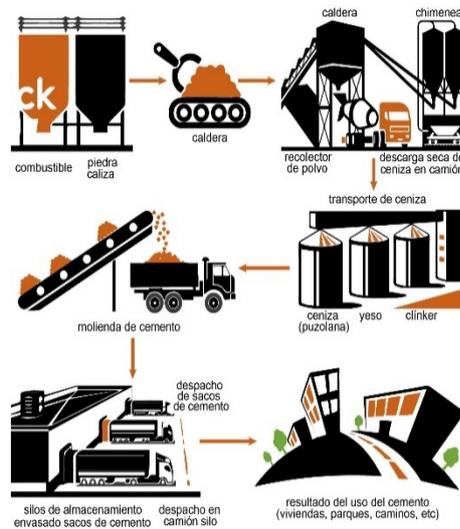


Figura 4. Ciclo ecológico industrial de Cenizas.

Fuente: INECESA.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

- Reduce emisiones de gases de efecto invernadero al sustituir combustibles fósiles por materiales que incinerados o abandonados en vertederos (sustituyen la piedra caliza y evita CO_2 producido por descarbonatización⁸).
- La disminución del consumo de combustibles fósiles aprovechando el poder calorífico de los residuos.

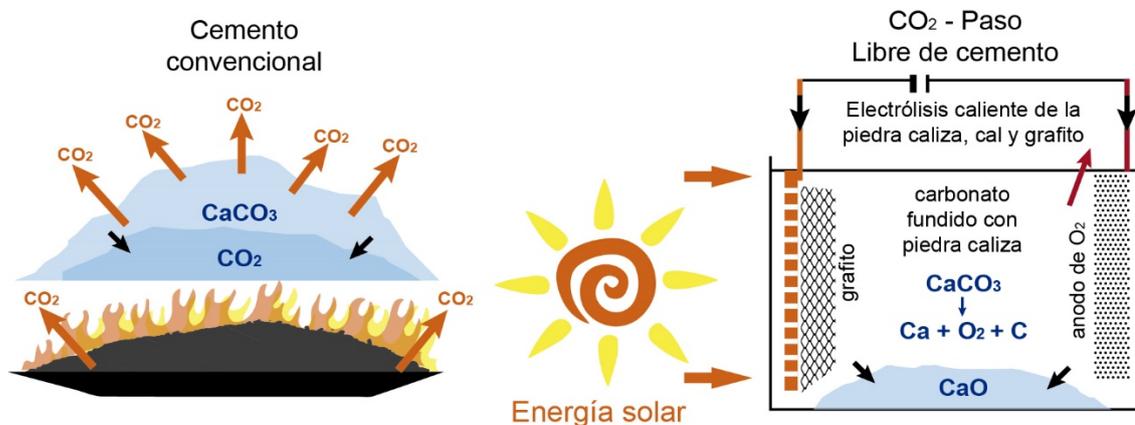


Figura 5. Fabricación de cements ecológicos.

Fuente: (Dazne, 2012).

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

- Disminuye el uso de materias primas por residuos que tienen características similares en su composición. De los 28,8 millones de toneladas de materias primas que se consumieron en 2014 para fabricar cemento, 1,5 millones procedían de residuos o subproductos industriales, dejando de llevar a vertederos.

⁸ Descarbonatización: Eliminar el anhídrido carbónico de un compuesto químico.

- Mejora la competitividad reduciendo los costes de fabricación. Los costes energéticos suponen de media el 40% de los costes totales. Reciben garantía de tratamiento ambiental adecuado, la combustión se realiza en condiciones de muy alta temperatura (Ver Fig. 5). (Abascal, 2016).

Al trabajar en industrias cementeras se requiere tener una visión a largo plazo y preservar la calidad de vida de los habitantes. Dentro de las estrategias tenemos:



Figura 6. Proceso de mezcla de cemento con adición de cáscara de arroz.

Fuente: (Castro, 2014)

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

- Mejora la eficiencia energética y da mayor optimización de las adiciones de cementos tipo II, III y IV.
- Optimización del mix de combustibles fósiles.
- Potenciación del uso de residuos como combustibles alternativos.
- Fomentar el uso de nuevas materias primas que reduzcan el radio de emisión por la reacción química de descarbonatación.

1.1.7. Desventajas de la utilización de productos orgánicos e inorgánicos dentro del cemento.

La explotación de canteras supone un impacto medioambiental derivado de la ocupación de espacios (impacto visual) y de las actividades realizadas durante la explotación (voladuras, trituración y transporte), las desventajas dentro del cemento tenemos:



Figura 7. Ciclo de vida del cemento.
Fuente: (Abascal, 2016)
Elaborado por: Reibán, D. 2017.

- La Manipulación, almacenamiento y procesado de materiales en forma de polvo, asociada a la emisión de partículas (Abascal, 2016).
- La cocción en el horno da lugar a emisiones de gases de combustión a la atmósfera, pero la fábrica de cemento aporta un importante potencial de contribución ambiental en la gestión de residuos hacia la valorización energética y material (Ver Fig. 7). (Abascal, 2016).
- Los componentes principales de los gases de combustión de CO₂ proveniente de la descarbonatación de la caliza y la combustión antes de ser emitidos a la atmósfera, las emisiones en los filtros son recogidas e introducen nuevamente. (Abascal, 2016).

Se han encontrado productos de origen vegetal y mineral que cuentan con propiedades químicas y físicas, de resistencia y durabilidad similares a las materias primas del clínker, mismos son aptos para el reemplazo en el cemento. Así tenemos la siguiente clasificación:

1.2. Conglomerantes.

Son materiales que al hidratarse se vuelven pastosos, se solidifican y adquieren una rigidez entre los elementos expuestos, utilizados como medio de unión o ligazón entre dos materiales, formando una masa llamada mortero. Se los ha clasificado de la siguiente manera:

1.2.1. Conglomerantes de origen mineral.

O llamados cementos alcalinos, es un proceso químico mediante de materiales silico-aluminosa con configuración parcial o totalmente amorfa o vítrea⁹, al ser sometidos a la acción de un medio fuertemente alcalino y un suave proceso de curado bajo condiciones hidrotermales (Ma-tay, 2014). Según Quintería, durante las dos últimas décadas, los cementos alcalinos han suscitado un gran interés tanto entre la comunidad científica como en el sector de la construcción debido a los motivos que se enumeran a continuación:

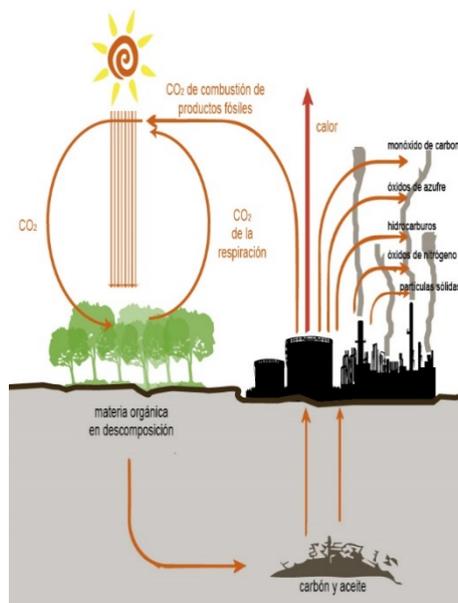


Figura 8. Extracción de conglomerantes.
Fuente: (Quitería , 2013)
Elaborado por: Reibán, D. 2017.

- Buenas prestaciones mecánicas a cortas edades, a las 20 horas de curado pueden llegar a desarrollar resistencias mecánicas comparables a las que desarrolla el cemento portland tras los 28 días de curado.
- Ofrece la posibilidad de emplear como única “materia prima” residuos industriales como las cenizas volantes (centrales termoeléctricas) o las escorias de alto horno (vertederos) (Ver Fig. 8).
- Buena resistencia al ataque por sulfatos y ácidos (clorhídrico, sulfúrico, acético) ya que no presentan los problemas de expansión derivados de la reacción “árido-álcali” en morteros con muy buena adherencia en armaduras de acero.

⁹ Vítrea: semejante al vidrio, que tiene alguna de sus características.

1.2.1.1. Cal.

Es un producto químico básico que resulta de la calcinación de la piedra caliza luego de apagarse con agua, se convierte en cal hidratada (Ver Fig. 9). Es posible que los antiguos pobladores la utilizaban como protección de los fogones ya que producía el calentamiento de las rocas, ésta se quemaba y con la lluvia se hidrataba para formar hidróxido de calcio, misma que reaccionaba con cenizas y arena ocasionando el primer mortero tradicional.

La cal a través de la historia se presenta como:



Figura 9. Formas de obtención de la cal.

Fuente: (IECA, 2016)

Elaborado por: Reibán, D. 2017.



Figura 10. La cal a través de la historia.

Fuente: (Rhenman, 2012)

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

El tratamiento de la cal se ha aumentado, evolucionando y encontrando nuevas maneras de reducir el consumo de combustible al darle un mejor uso en sus depósitos.

Su composición estructural es la siguiente:

- Para la caliza de tipo *L*, su fórmula química es CaCO_3 y su dosificación es el 75% en masa total del cemento. Tiene un contenido de arcilla del 1,20 gr / 100gr y su contenido de carbono orgánico total es del 0,20 % en masa (IECA, 2016).
- La caliza tipo LL contiene un 75% en masa, el contenido de arcilla que posee es de 1,20 g/100 g; el contenido de carbono orgánico total es del 0,20% en masa (IECA, 2016).

1.2.1.2. Yeso.

Es uno de los conglomerantes más antiguos en el ámbito de la construcción, utilizado para medicina, decoración y alimentación; su origen data del Oriente Medio en Asiria y Sumeria, en el Neolítico con grandes extensiones de rocas yesíferas, que recubrían los recipientes de madera con esa pasta llamada alabastro¹⁰ y los hacía resistentes al fuego, para pasar a llamarse *cerámica*.



Figura 11. Cristales de yeso.
Fuente: (Celestial Construction, 2014)
Elaborado por: (Celestial Construction, 2014)

1.2.1.3. Arcilla.

Es un producto que se forma de la descomposición lenta de rocas o minerales silico-aluminosos. Con alto contenido de hierro para fabricar adobes o ladrillos y como remedio natural útil muy apreciado por el hombre y animales. Los egipcios la utilizaron para momificar sus muertos y para emplastos. En la edad Romana, Plinio, el viejo, fue una obra en tierra

¹⁰ Alabastro: Piedra blanca y translúcida, parecida al mármol, que se trabaja fácilmente y se usa en escultura y decoración.

blanca de las colinas de Nápoles. El diámetro de las partículas de arcilla es inferior a 0,002 mm., la constitución de sus partículas no minerales, los fitolitos¹¹ demuestran que es un silicato hidratado de alúmina dando su fórmula: (Font, 2015)

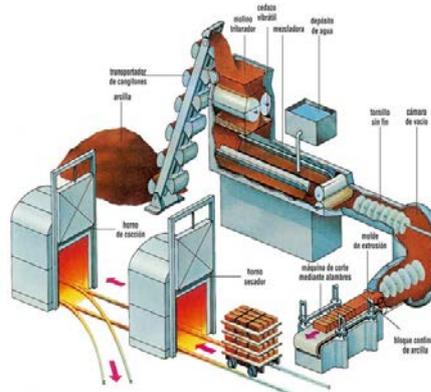
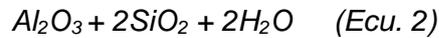


Figura 12. Proceso de explotación de la arcilla y ladrillo.

Fuente: Asociación nacional de fabricantes de cal.

Elaborado por: Asociación nacional de fabricantes de cal.

1.2.1.4. *Puzolanas.*

Las puzolanas son materiales naturales o artificiales que contienen sílice o alúmina, no son cementosas (sin propiedad hidráulica) pero se pueden convertir mediante la mezcla con cal o cemento. Su mayoría proviene de procesos industriales o agrícolas, con beneficios que contribuyen al ahorro de costos y energías, reducen el impacto ambiental y mejora de la calidad del producto. Las propiedades físicas de las puzolanas son la cantidad máxima de hidróxido de calcio y la velocidad en que reaccionan con otros materiales, así tenemos:



Figura 13. Canteras de puzolana (Piedra volcánica roja).

Fuente: (canteraselcerro.com)

Elaborado por: (canteraselcerro.com)

¹¹ Fitolitos: biomineralización de origen vegetal. Una biomineralización es la precipitación de un mineral resultante del metabolismo de un organismo vivo, es decir, de su actividad celular.

Sus propiedades dependen de la naturaleza y las proporciones, de finura y temperatura de la reacción; los productos más usados en la mezcla son el cemento portland, Aluminatos Cálcidos (CAH) y Sílico-Aluminatos Cálcidos (CSAH). (Salazar, 2015).

1.2.1.4.1. *Puzolanas naturales.*

Son de origen mineral y orgánico; las minerales se transforman en polvo y cenizas volcánicas. Las rocas volcánicas compactas, cristalinas, líticas¹² o vítreas provienen del enfriamiento de lava. Las orgánicas son abundantes en sílice en yacimientos submarinos por la acumulación de esqueletos y caparazones de animales o algas diatomeas¹³ (Salazar, 2015) (Ver Fig. 14).

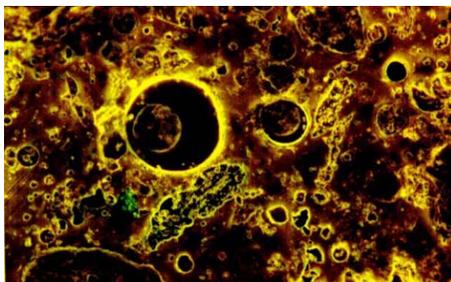


Figura 14. Puzolana natural de origen volcánico punmítico.
Fuente: (Salazar, 2015)
Elaborado por: (Salazar, 2015)

Su composición silíceo-aluminosa o la combinación de ambas al estar molidas y mezcladas con agua reaccionan formando compuestos de silicato y aluminato de calcio. Para las puzolanas de origen volcánico, arcillas, pizarras o rocas sedimentarias activadas por el tratamiento térmico su composición es de SiO_2 reactivo, Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO (IECA, 2016).

1.2.1.4.2. *Puzolanas artificiales.*

Existen puzolanas mixtas, intermedias o semi-artificiales, con un tratamiento posterior, el polvo de ladrillo de los desechos de la cerámica y bauxitas¹⁴ naturales; estos residuos se los utiliza para la obtención de aluminio y el polvo de chimeneas de altos hornos (IECA, 2016).

¹² Rocas líticas: es una pieza tallada en piedra que reúne un conjunto de rasgos característicos que definen un modelo o patrón de artefacto de piedra y que se repite dentro de una industria lítica prehistórica.

¹³ Algas diatomeas: unicelulares; constituyen el fitoplancton, importante en la alimentación de diversos organismos. Algunas de ellas pueden vivir en colonias formando filamentos o cintas, se hallan rodeadas por una pared celular hecha de sílice llamada frústula.

¹⁴ Bauxita: Es una roca, que puede ser tanto blanda como dura, compuesta por óxidos de aluminio hidratados. Se origina como residuo producido por la meteorización química de una amplia gama de rocas comúnmente ricas en arcilla.

1.2.1.5. *Cenizas volantes.*

Material sólido inorgánico formado del subproducto de la combustión del carbón dentro de centrales térmicas. Con sistemas colectores que retienen la ceniza en finas partículas para desembocar a la atmósfera. Sus características físicas y químicas depende de (Ma-tay, 2014):

- El origen y composición del carbón quemado.
- El grado de pulverización depende de la instalación productora.
- El proceso de combustión.

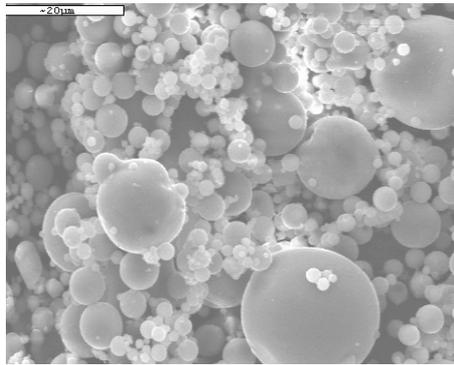


Figura 15. Micrografía SEM.
Fuente: (Salazar, 2015)
Elaborado por: (Salazar, 2015)

Esta ceniza actúa como filler¹⁵ entre los granos de cemento y el árido, es una efectiva puzolana a periodos largos de curado. Las ventajas es que mejoran la trabajabilidad del hormigón fresco obteniéndose una densidad de 2,3 g/cm³ y la del cemento portland de 3,15 g/cm³. Se obtiene por precipitación electrostática o por captación mecánica de los polvos que acompañan a los gases de combustión de los quemadores de las centrales termoeléctricas. Compuestas por silicio, aluminio, hierro y en menor medida, por cantidades variables de calcio, titanio, magnesio etc. (Vega, 2006).



Figura 16. Micrografía SEM de una ceniza volante.
Fuente: (Quiteria , 2013).
Elaborado por: (Quiteria , 2013).

¹⁵ Fíller: O polvo mineral, es la fracción que pasa por el tamiz de 0,063 mm, por lo que tiene una levada superficie específica.

En este tipo de cenizas, la cantidad de calcio varía de un 2 a 5%. Las partículas de ceniza volante presentan una morfología esférica huecas o pueden alojar a otras esferas de menor tamaño en su interior. La composición de las cenizas volantes puede variar dependiendo de la procedencia de la misma y los cambios de composición, pueden modificar las propiedades finales de los cementos alcalinos obtenidos a partir de las mismas. Los porcentajes de la composición de las cenizas volantes son las siguientes: (Quiteria , 2013)

- Porcentaje de material inquemado inferior al 5%.
- Contenido de Fe_2O_3 inferior al 10 %.
- Bajo contenido en CaO ($< 5\%$).
- Contenido de sílice reactiva entre el 40 – 50%.
- Contenido de Al_2O_3 reactivo del 18 – 20%.
- Alto contenido en fase vítrea ($> 50\%$)
- 80 – 90 % de las partículas con diámetro inferior a 45 μm .

1.2.1.6. *Humo de sílice.*

Es un subproducto de las industrias de producción de las aleaciones de ferrosilíceo. Se produce a altas temperaturas superiores a 2000° C. Contiene micro partículas esféricas (Ver Fig. 17) de dióxido de silicio amorfo (Ma-tay, 2014). Sus características son:

- Gran finura: el tamaño de sus partículas oscila entre 0.01 y 1 μm en su estado no densificado; de forma esférica que ayuda a la buena dispersión en la matriz conglomerante y mejora las características de los morteros y hormigones.
- Carácter vítreo muy elevado: las altas temperaturas y el brusco enfriamiento que sufren las partículas al ser creadas, impiden la formación de cristales ya que contienen un 80% de sílice amorfa (Ma-tay, 2014).



Figura 17. Microsílice o humo de sílice.

Fuente: (www.arqhys.com)

Elaborado por: (www.arqhys.com)

El humo de sílice (D) se origina por la reducción de cuarzo de elevada pureza con carbón en hornos de arco eléctrico. Sus especificaciones son SiO₂ amorfo contiene un 85% dentro de la mezcla de cemento; la pérdida por calcinación corresponde al 4% en masa y la superficie específica es de 15 m²/g (IECA, 2016).

1.2.1.7. Cementos de escoria.

Llamada escoria granulada de horno alto; se la obtiene por el enfriamiento rápido de una escoria fundida de composición adecuada y la fusión del mineral de hierro (IECA, 2016). Se produce en Estados Unidos y Canadá; actúan de forma hidráulica reemplazando parcialmente el cemento (Tucker, 1932).

Su composición tiene silicato y silicato aluminato de calcio CaO, SiO₂, MgO, Al₂O₃ y otros compuestos; posee tres especificaciones: la fase vítrea corresponde al 2/3 de masa dentro del cemento; Cao + MgO +SiO₂ en un 2/3 y Cao + MgO/SiO₂ al 1 % (IECA, 2016).

1.2.1.8. Metacaolín.

El caolín, es una roca de color blanco, o débilmente coloreado, que presenta más de un 15% (en peso) de material arcilloso de composición fundamentalmente caolinítica¹⁶. Deriva de la descomposición de los feldespatos¹⁷ por acción del agua y del CO₂ atmosférico, principalmente. Tras el proceso de beneficiado del caolín, se obtiene la caolinita (arcilla calcinada especial), el producto se muele hasta un tamaño de partícula promedio de cerca de 1 a 2 µm (Cardona Castro, 2013).



Figura 18. Metacaolín en estado puro.
Fuente: (poraver.com)
Elaborado por: (poraver.com)

¹⁶ Caolinita: Es un mineral de arcilla, una parte del grupo de minerales industriales, con la composición química Al₂Si₂O₅(OH)₄.

¹⁷ Feldespatos: grupo de minerales tecto y aluminosilicatos que corresponden en volumen a tanto como el 60 % de la corteza terrestre.

1.2.1.9. Cenizas volcánicas.

Se forman por erupciones explosivas en pequeñas partículas que se templean a temperaturas ambiente y originan la formación del estado vítreo (Vega, 2006). Su composición es similar al material vidrioso (Ver Fig. 19), formado por el violento lanzamiento de la magna fundida en la atmosfera y es más reactiva que la cal. Estas deben ser trituradas ya que su calidad varia grandemente, una ceniza muy utilizada es el Sika ViscoCrete 2100, que es ideal para aplicaciones horizontales y verticales.

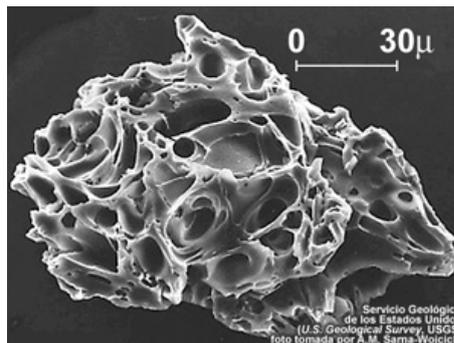


Figura 19. Microscopía de ceniza volcánica.

Fuente: (goes-r.gov)

Elaborado por: (goes-r.gov)

1.3. Residuos agrícolas como conglomerantes en el cemento.

Estos residuos agrícolas se producen en las fábricas e industrias alimenticias como la agricultura, ganadería, pesca o actividades forestales. En el mercado se los clasifica:

- Residuos de base orgánica.
- Residuos de base inorgánica.

Los de *base orgánica* poseen componentes ricos en calcio, celulosas, lignina¹⁸, azúcares y materiales fibrosos, ayudando a la ligereza, porosidad y solubilidad de la fracción orgánica; al ser mezclado con el cemento, sufre un cambio de propiedades de aligeramiento, retraso de fraguado, endurecimiento e incremento de agua. Estas sustancias se las obtiene de partes de plantas y árboles como el tallo del yute, las hojas de sisal¹⁹ o el henequén²⁰ y de materia

¹⁸ Lignina: Sustancia natural que forma parte de la pared celular de muchas células vegetales, a las cuales da dureza y resistencia.

¹⁹ Hojas de sisal: es una fibra basta y fuerte que se usa cada vez más en materiales compuestos para automóviles y muebles, y en la construcción, así como en productos de plástico y de papel.

²⁰ Henequén: Planta de hojas radicales largas, triangulares, carnosas, terminadas en un fuerte aguijón, y flores amarillentas en ramillete sobre un bohordo central; es originaria de México; se emplea en la fabricación de fibras textiles y en la elaboración de pulque, mezcal y tequila.

orgánica residual de origen animal (excremento o cáscaras de huevos), fibras vegetales como el bagazo de caña de azúcar, coco o de la madera de eucalipto, bambú y cáscara de arroz.

Los residuos de base inorgánica tienen alto contenido de sílice y alúmina²¹, con contenidos importantes de álcalis²². Sus características de granulometría fina, baja solubilidad y una fracción vítrea al ser mezclados con el cemento forman una reactividad puzolánica que aumenta la durabilidad al momento de compensarlo con plastificantes, los más utilizados son:

- Ceniza de cascara de arroz.
- Ceniza de bagazo de caña de azúcar.
- Ceniza de cáscara de palma.
- Ceniza de cáscara de huevo.

1.3.1. Ceniza de cáscara de arroz.

Considerada una ceniza rica en sílice, es un desecho agroindustrial que se produce en altos volúmenes. Cuenta con un grado de dióxido de silicio para que el cemento mejore sus características mecánicas (Páez & Ahumada, 2006). No se propaga el fuego, es aislante al frío y calor, contiene humedad e impide el ataque de hongos y bacterias. Con esta ceniza se puede llegar a reemplazar hasta un 30% de cemento de un mortero o concreto. Sus características más reconocidas son:



Figura 20. Ceniza de cáscara de arroz.

Fuente: (spanish.alibaba.com)

Elaborado por: (spanish.alibaba.com)

- Sílice amorfa >90%.
- Estructura celular de gran área superficial de 50 a 60 m²/g.
- Gran actividad puzolánica.

²¹ Alúmina: Óxido de aluminio que se halla en la naturaleza puro y cristalizado o formando con otros cuerpos feldespatos y arcillas

²² Álcalis: Hidróxido de amonio o de los metales alcalinos, que pueden actuar como bases energéticas debido a que son muy solubles en agua: **álcalis** cáusticos.

1.3.2. Ceniza de bagazo de caña de azúcar.

Es un residuo agrícola de base inorgánica generado por la industria de la azúcar y el etanol. En su composición hay altos porcentajes de sílice y alúmina con un 76,3% de ceniza de caña de bagazo de caña y el restante se dividen entre sus dos componentes. Sus características ayudan a mejorar las características mecánicas del cemento, a su durabilidad y resistencia y emiten menor contaminación al medio ambiente en comparación al cemento en su producción (Larco, 2016).



Figura 21. Bagazo de caña de azúcar.
Fuente: (spanish.alibaba.com)
Elaborado por: (spanish.alibaba.com)

1.3.3. Ceniza de bambú.

Es una ceniza que ha sido evaluada como una puzolana artificial tomando estudios previos realizados por Dwivedi (2006) que la utilizó como una puzolana en la industria del cemento en la India; por otro lado Singh Et Al (2007) estudió la hidratación de la ceniza de la hoja de bambú con el cemento portland en la India mismo y Villar (2010) dio las características exactas y la determinación de los parámetros cinéticos de dicha ceniza (Cardona Castro, 2013).



Figura 22. Abono comercial a base de ceniza de madera de bambú.
Fuente: (Martínez, 2013)
Elaborado por: (Martínez, 2013)

1.3.4. Ceniza de cáscara de huevo pulverizado.

Es un material de desecho orgánico compuesto por un 95% de CaO (óxido de zinc), con un costo cero o muy bajo a diferencia de los minerales utilizados mediante explotación de recursos naturales.

Dentro de la construcción se la incluye en forma triturada ya que el calcio que posee es un aditivo para el cemento, la mezcla se solidifica y se disminuye el agua (Vega, 2006). El CaO deriva del silicato dicálcico para formar el silicato tricálcico, según la reacción:



Esta cal libre reacciona con el agua formando el hidróxido:



Es un material que presenta un sistema biomineralizado²³ que cuenta con dos fases: una matriz orgánica y una mineral cristalina, haciendo una comparación entre el calcio de la concha de nácar y la CH, produciendo 5 gr de calcio por día; esto muestra que es un modelo muy conveniente para la realización de un estudio experimental (Choi, 2015).



Figura 23. Calcio de la cáscara de huevo.

Fuente: (Avicultura, 2014).

Elaborado por: (Avicultura, 2014).

Su elección data del estudio de los desechos de la CH en la localidad (Loja) sin darle un segundo uso, a más de ser un abono orgánico para la agricultura; los desechos que se producen en las industrias de condimentos y panificadoras, desechan toneladas de material que se depositan en vertederos, esto forma un problema de contaminación ambiental, pudiendo ser potencializado dentro de construcción. Sus características generales son las siguientes (Montes, 2013):

²³ Biomineralización: Es la precipitación de un mineral resultante del metabolismo de un organismo vivo, es decir, de su actividad celular. Es un proceso vital por el cual los organismos ganan en estructura y masa.

- El 95% de su composición es de carbonato de calcio.
- Tiene un grosor de 0.35 mm en promedio.
- Es un residuo de bajo costo y bajo índice de refracción²⁴.
- Posee una alta blancura, una baja abrasividad²⁵ y una buena dispersión,
- Su cáscara posee un alto grado de dureza y absorción.

²⁴ Refracción: Cambio de dirección de un rayo de luz u otra radiación que se produce al pasar oblicuamente de un medio a otro de distinta densidad.

²⁵ Abrasividad: es una sustancia que tiene como finalidad actuar sobre otros materiales con diferentes clases de esfuerzo mecánico —triturado, (molienda), corte, pulido—. Es de elevada dureza y se emplea en todo tipo de procesos, industriales y artesanales.

CAPITULO DOS.

CARACTERIZACIÓN + REFERENTES.

Campo de estudio.

PALABRAS CLAVES:

Cantidades, Compuestos, Experimentación, Materialización y Matrices Cementicias.

Mediante la investigación, en el capítulo II se detallará las cantidades necesarias para la realización de la experimentación, tomando en cuenta las cantidades de CaO que poseen las cáscaras de huevos de gallina común (CHM), criollo (CHC), de ganso (CHG) y de avestruz (CHA).

Los referentes a estudiar son experimentaciones realizadas con CH para la extracción de calcio, convertido en piedra caliza para la reducción de cantidades dentro del cemento, logrando la creación de un cemento orgánico. La CH posee grandes porcentajes de calcio, del 94% al 96% (Choi, 2015) y el restante derivan de compuestos secundarios, que al momento de ser calcinados desaparecen, dejando pequeños porcentajes de los mismo.

La principal razón para el uso de la cáscara de huevo calcinada (CHMC), data de la necesidad de creación de cementos más orgánicos; en la ciudad de Loja se desecha gran cantidad de dicho producto, sirviendo un porcentaje para la agricultura como un residuo y abono orgánico, convirtiéndose en un material mediático con gran escala de obtención, lo cual reduciría el impacto ambiental.

2.1. La cáscara de huevo: su uso como un material complementario para las matrices cementicias.

Acorde a los referentes estudiados (Ver Anexos 1, 2 y 3) (Pliya & Cree, 2015) (Mtallib & Rabiou, 2009) y (Ludovico & Hideo, 2014), la CH sirve como un aditivo dentro del cemento, buscando la adecuación de la biomasa del CH como un determinado tipo de catalizador para el mejoramiento del desempeño de materiales de construcción. Para ello se detalla su composición y estructura para el máximo provecho de su cáscara, tomando en cuenta la versatilidad y manejo del material respecto a la mezcla entre cemento, arena, agua y CH, en algunas matrices se podría implementar el uso de algún acelerante del mercado.

La CH es un material que presenta un sistema biomineralizado que cuenta con dos fases, una matriz orgánica y una mineral cristalina, haciendo una comparación entre el calcio de la concha de nácar y la CH, produciendo 5 gramos de calcio por día; esto muestra que el material es un modelo muy conveniente para la realización de un estudio de biomineralización (Araneda, 2015).

2.1.1. El huevo y su historia.

El huevo es un alimento derivado de las aves de corral, éste se conjuga como uno de los alimentos más rico en nutrientes proveniente de un animal (Ver Fig 24); está protegido por una cáscara de colágeno natural y es un alimento versátil que puede ser utilizado para cocinar comidas tanto dulces como saladas.



Figura 24. Primeros criadores de huevos.

Fuente: huevosdoblea.com/

Elaborado por: huevosdoblea.com/

De acuerdo a su gran aporte proteínico, el huevo está constituido principalmente por aminoácidos y pequeñas proporciones que contienen vitaminas, minerales y ácidos grasos, que complementan el balance proteínico en una dieta alimenticia; es ideal para la prevención de enfermedades crónicas debido a su bajo porcentaje calórico.

2.1.2. Características y estructura del huevo.

Se lo considera como alimento primordial en la dieta alimenticia del ser humano, según Vasconcelos, su estructura está constituida por una piel resistente y deformable, sometida a una presión interna. El huevo está formado por tres constituyentes básicos (Ver Fig. 25):

- *La cáscara:*

La cáscara representa en promedio alrededor del 10% del huevo.

- *Clara:*

La clara representa alrededor del 57%.

- *Yema:*

La yema alrededor de 1/3 (33%).

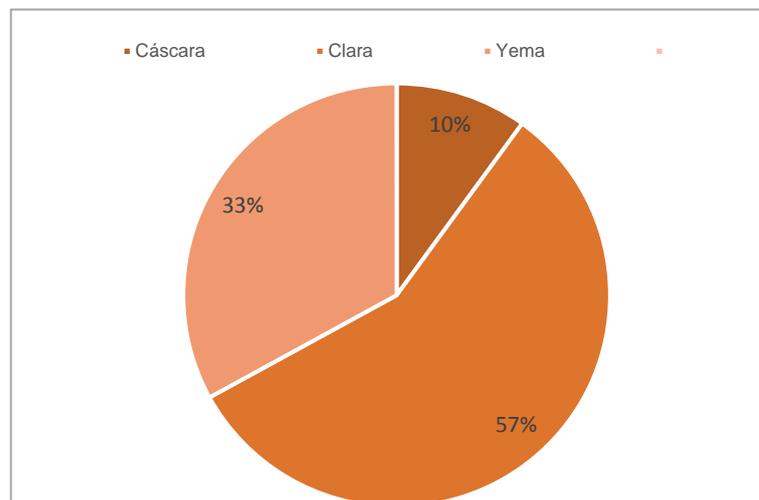


Figura 25. Proporción de los constituyentes básicos del huevo.
Fuente: (Todosobrehuevo.com)
Elaborado por: Reibán, D. 2017.

La avicultura nace hace unos 3,000 a.C. años en las regiones de la India, China y Asia ya que sus pobladores domesticaron a las gallinas que habitaban en la selva; cruzaron Mesopotamia hasta llegar a Grecia, hasta su mayor dispersión que se cree fue en la Edad de Hierro (Ver Fig. 26).

El huevo además de ser un alimento nutritivo se lo ha tomado como un símbolo de arte en la pintura y en algunas culturas religiosas para la celebración de la Pascua. Algunos huevos se elaboran con tintura llamándolos *huevo de mil años* y su clara es de color negro con yema dorada. Su fisionomía es un cuerpo ovalado que producen las hembras de algunas especies animales y contiene el embrión y las sustancias destinadas a su nutrición en la incubación (Ver Fig. 26).

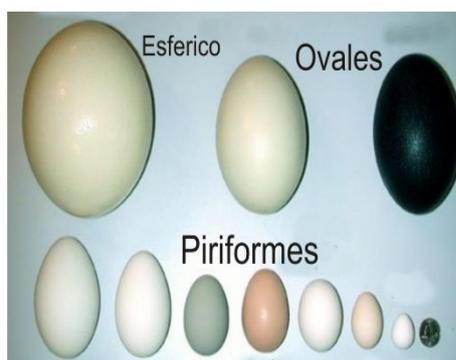


Figura 26. Fisionomía del huevo.
Fuente: (todosobrelhuevo.com)
Elaborado por: (todosobrelhuevo.com)

2.1.3. Organización estructural y composición de la cáscara de huevo.

La cáscara de huevo posee tres membranas tanto interna como externamente:

- Dos membranas externas: están ligadas entre sí por un colchón y el espacio encerrado entre ellas se encuentra relleno por un líquido bajo presión que se endurece luego de la postura constituyendo la cáscara de carbonato de calcio. La membrana externa y los colchones se secan y desaparecen, dejando poros para la respiración del embrión (Ver Fig. 27).
- Membrana interna: permite el cambio de oxígeno por ósmosis²⁶, los carbonatos son prismáticos con dimensiones de 300 micrones de largo y 50 micrones de diámetro (Vasconcelos, 2000).

La CH cumple la función de resguardar al embrión y disolver fácilmente los suministros de calcio, debe soportar golpes (depredadores), para la respiración del embrión posee poros muy grandes para que no contamine con bacterias exteriores. Su creación tarda 24 horas y de la gallina se desprende el 10% de calcio de su esqueleto (International year of Crystallography, 2015). Es una biocerámica estructurada por 4 capas:

²⁶ Ósmosis: Difusión que tiene lugar entre dos líquidos o gases capaces de mezclarse a través de un tabique o membrana semipermeable.

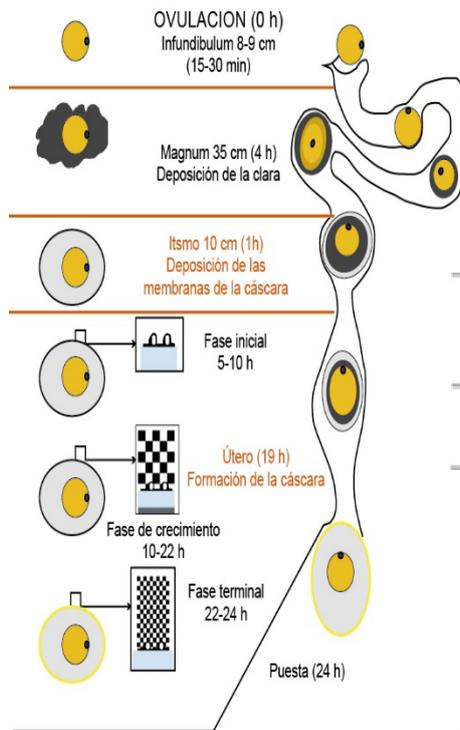


Figura 27. Esquema temporal de la puesta del huevo.

Fuente: (Todosobreelhuevo.com)
Elaborado por: Reibán, D. 2017.

a) Membrana de la cáscara.

Es la capa más interna de la cáscara de huevo (Ver Fig. 28), formada por un entramado fibrilar con un peso en conjunto 145 mg, con un diámetro de 70 nm (Simkiss y Taylos, 1971).

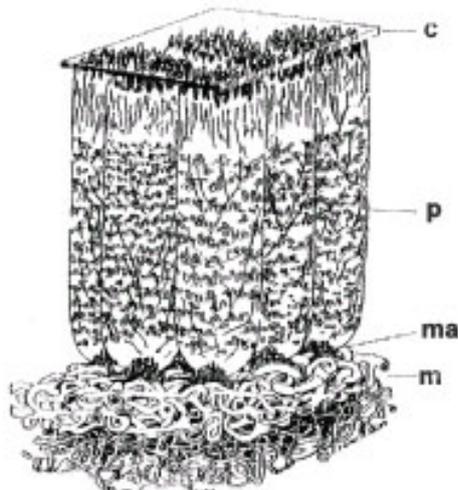


Figura 28. Esquema de la estructura de la cáscara del huevo. m: membranas de la cáscara; ma: mamillas; p: capa en empalizada; c: cutícula.

Fuente: (M. S. Fernández, J. L. Arias.)
Elaborado por: (M. S. Fernández, J. L. Arias.)

Se compone de dos subcapas, una interna de 20 μm de grosor en contacto con la albúmina y otra externa de 50 μm de grosor en la zona mineralizada de la cáscara y la membrana interna (Ver Fig. 29). La parte orgánica de la membrana de la cáscara posee un 3% de lípidos, 3% de azúcares y 95% de proteínas. La superficie interna de la membrana interna es lisa, por la presencia de una capa delgada y homogénea de 2,7 μm de grosor que impide el paso de la albumina²⁷ hacia los espacios de la fibra.

b) Capa mamilar.

Constituida por menos de 1/3 del grosor de la cáscara y es donde se inicia la mineralización. Las mamilas son pequeñas masas de material orgánico distribuidas y unidas a la superficie externa de la membrana externa y se encuentran los depósitos de cristales de calcita. Su estructura determina los factores determinantes de solidez de la cáscara (Ver Fig. 30), la correlación entre la densidad de las mamilas y su solidez (Parson, 1932).

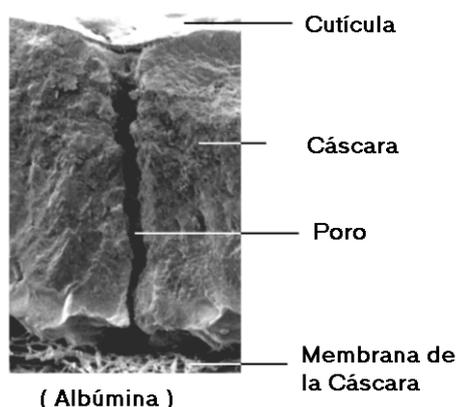


Figura 29. Cáscara del huevo mostrando al microscopio electrónico, se muestra un microporo a través del cual se efectúa el intercambio.
Fuente: (M. S. Fernández, J. L. Arias.)
Elaborado por: (M. S. Fernández, J. L. Arias.)

c) Capa de empalizada.

Es la capa más gruesa de la cáscara (Ver Fig. 31) compuesta por componentes orgánicos que es la matriz de la cáscara y corresponde al 2-5% de peso seco y un 2% de proteico, los inorgánicos que corresponde al carbonato de calcio en forma de calcita. La cáscara posee poros que permiten el intercambio gaseoso con una forma de embudo con su base amplia

²⁷ Albúmina: Proteína animal y vegetal, rica en azufre y soluble en agua (componente principal de la clara)

dirigida hacia la superficie. Su composición es de un 70% de proteínas, 11% de polisacáridos y lípidos (Simkiss y Tyler, 1957).

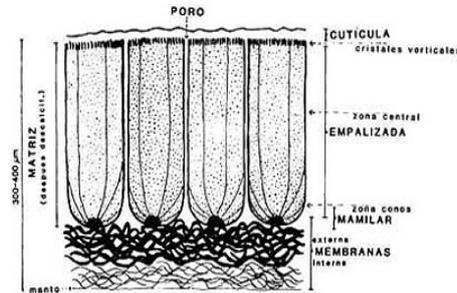


Figura 30. Estructura de la cáscara del huevo.

Fuente: (M. S. Fernández, J. L. Arias.)
Elaborado por: (M. S. Fernández, J. L. Arias.)

d) Cutícula.

Es la capa más externa del huevo (Ver Fig. 31), compuesta por glicoproteínas²⁸ con pigmentos que dan la coloración de la cáscara con un grosor de 10 μm en promedio que cubren los poros preservando el interior del huevo de la contaminación microbiana, dándole la función de proteger al huevo de la pérdida excesiva de agua por un mecanismo que depende de la humedad ambiental.

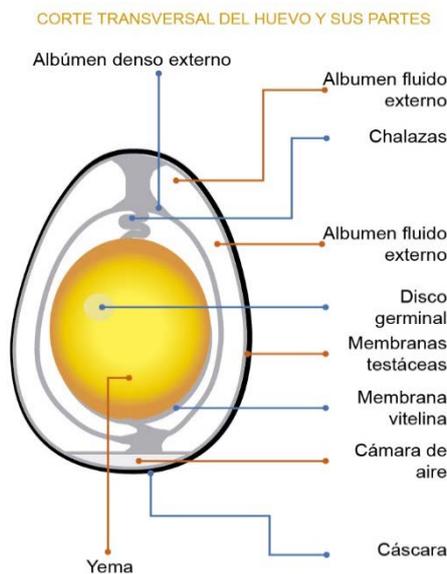


Figura 31. Estructura de la cáscara del huevo.

Fuente: (M. S. Fernández, J. L. Arias.)
Elaborado por: (M. S. Fernández, J. L. Arias.)

²⁸ Glicoproteínas: son moléculas compuestas por una proteína unida a uno o varios glúcidos, simples o compuestos.

2.2. Caracterización química y física de la cáscara de huevo como residuo.

El peso de un huevo promedio es de 50 g, dando como resultado el peso de la cáscara de 10 gr aprox. Se estima que 1 billón de huevos produciría 6600 toneladas de polvo de CH (Pliya & Cree, 2015). Para la caracterización química y su composición física se considera el color, la forma y la estructura; en los colores encontramos el blanco y el marrón; el tipo de cepa de gallina, raza, genética, edad, dieta nutricional y el estrés relacionado con la densidad de la población del gallinero (Pliya & Cree, 2015). Así tenemos:

Tabla 6 Características químicas y físicas de la cáscara de huevo y tamaño de las partículas.

Propiedades	Fórmula química	% huevo blanco	% huevo marrón
Características químicas			
Carbonato de calcio	CaCO ₃	94	96 -97
Cloruro	CL-	0,058	0,033
Sulfato	SO ₄₂₋	0,034	0,022
Azufre	S	0,067	0,063
Materia orgánica	-	6,0	3,4
Calcita en la membrana	CaCO ₃	97.8	98.3
Carbonato de magnesio	MgCO ₃	0.98	1.30
Fosfato cálcico	Ca ₃ (PO ₄) ₂	0,5	0.8
Pérdida por la ignición (g)	-	0.028	0.067
Tamaño de partícula (%)			
Partículas <2 mm	-	100	100
Partículas <0,125 mm	-	80	80
Partículas <0,063	-	65	65

(Continuación: Tabla 6 Características químicas y físicas de la cáscara de huevo y tamaño de las partículas.)

Características físicas			
Blancura (m2/kg)	-	367	307
Gravedad específica	-	2.5	2.5

Fuente: (Pliya & Cree, 2015), (Mtallib & Rabiú, 2009)
Elaborado por: Reibán, D. 2017.

El espesor de la CH se determina por la cantidad de tiempo que pasa en el útero de la gallina y la tasa de deposición de calcio al momento de su formación; si el óvulo pasa un corto tiempo en el útero, la cáscara tiene menor grosor y cuanto más temprano del día o mayor exposición de luz será más gruesa; contiene poros para que pase el agua y el oxígeno para el embrión no sufra de contagios de bacterias como la salmonela²⁹ (Press, 2015).

2.3. La cáscara de huevo como residuo orgánico en la ciudad de Loja, Ecuador.

En la ciudad de Loja desechan toneladas de material depositados en basureros o vertederos, pudiendo ser potencializado dentro de la industria de construcción. Existen distribuidoras del producto, mismas que se detallan a continuación:

Tabla 7. Cantidad de venta semanal de cubetas de huevo en la ciudad de Loja.

Distribuidora.	Lugar proveniente.	Lugar de destino.	Nº de cubetas semanales.	Valor por cubeta
Distribuidora Balcázar.	Ambato.	Loja.	5000	\$ 3.25 a \$ 3.30
Distribuidora Campos.	Ambato.	Loja.	3000	\$ 3.27
Huevos La Hacienda	Loja.	Loja.	4000	\$ 4.50

Nota: La distribución y venta de las cubetas constan de 30 unidades de, dando un resultado de 15000, 90000 y 12000 unidades respectivamente.

Fuente: Distribuidoras de la ciudad de Loja, Ecuador.
Elaborado por: Reibán, D. 2017.

²⁹ Salmonela: infección que se localiza en el intestino y que puede adquirirse a través de la ingesta de alimentos.

2.4. Conclusiones de referentes analizados.

Mediante el análisis de referentes se podrá llegar al conocimiento de los instrumentos y tecnologías a utilizar en el planteamiento de las matrices cementicias, aplicando normas y cantidades relevantes a la localidad y utilizar ciertos postulados ya experimentados en dichas investigaciones. La CH es una adición muy beneficiosa en el ámbito de la construcción, permitiendo obtener un aditivo, que sea de óptimas condiciones, haciendo una arquitectura más asequible en el mercado de la construcción, para ello en los procesos a seguir para su obtención del aditivo se recomienda:

- Al utilizar cascarones de gallina con una vida mayor a los 700 días se perderá gran proporción de propiedades y químicos de la misma, por lo que es recomendable hacer un estudio previo de la localidad de donde provienen los CH.
- Una vez obtenida la materia prima se deberá pulverizar, hasta desprenderse la parte de la membrana interna de la cáscara, misma que es 100 % parte orgánica.
- Calcinar las muestras a temperatura de 1000° C para eliminación de las impurezas que normalmente se encuentran en el cascarón aproximadamente el 4% de su masa, al ser triturada resulta un material biológico orgánico no uniforme, poroso y de distribución irregular de partículas (Brod, 1999)

Para la fase experimental, se ha tomado varios de los porcentajes de las cantidades y tiempos en que se debe calcinar las diferentes muestras, en dicho caso se utilizará cascarones de huevos de gallina de corral marrón y criollo, huevos de ganso y huevos de avestruz, los resultados dependerán de la cantidad de materia prima que se logre obtener en el medio, ya que algunas muestras son escasas.

Los puntos importantes a seguir son los siguientes:

Tabla 8. Porcentajes de cantidades a implementar en las muestras.

Autor	(Pliya & Cree, 2015)	(Ludovico & Hideo, 2014)
Pesos	0-15% CH a 70%	0-15% calcáreos

<i>(Continuación: Tabla 8 Porcentajes de cantidades a implementar en las muestras.)</i>		
Secado/tiempo	1150° C / 1 hora	70° V hasta obtener una masa consistente a 105°C/ 24 horas.
Sometimiento	Difracción de rayos X Análisis granulométrico térmico Microscopio electrónico secundario	
Trituración	Tambor de acero de 11 bolas de acero (47,62 mm / 1 hora)	Tamiz de acero de 0,60 mm
Muestreo	Prismas de 40x40 (160 mm ³)	Prismas
Secado (triturado)	400° C / 2 horas Análisis térmico: hasta 1000° C con elevaciones de 10° C/min	
Resistencia	A la compresión y tensión: A los 7,14,28 días	Compresión: 24 horas y 21 días.
Cantidad reemplazada	PC = 0%, 5%, 10%, 15% y 20%	1 de cemento y 0,6 de agua Arena: 2, 2.5, 1.5 Cáscara de huevo: 2, 1.5, 2
Desmolde	A las 24 horas y a los 7,14 y 28 días	Colocar entre 200 y 100 gr

Fuente: (Pliya & Cree, 2015) Y (Ludovico & Hideo, 2014)
Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Con los datos investigados se procederá a hacer una comparación con las normativas generales para Matrices Cementicias, la metodología de rotura a la compresión y el método de absorción mediante capilaridad.

CAPITULO TRES.

**COMBINACIÓN DE CÁSCARAS DE HUEVO PULVERIZADO CALCINADO
(CHPC) + MATRICES CEMENTICIAS.**

Campo de estudio.

PALABRAS CLAVES:

Cemento, Dosificación, Experimentación, Matrices cementicias, Metodología.

En el capítulo III se hace referencia a los componentes y porcentajes establecidos para el cemento y los componentes de la CH; en la experimentación se plantea el estudio de los componentes de CH de gallina marrón, criollo, de ganso y avestruz; midiendo sus porcentajes; el método de experimentación para la realización de las matrices cementicias se realizará mediante la norma ASTM-C 109 para morteros con una resistencia de una carga máxima superior a 13.3 kN (3000 lbf) y el Método de ensayo de la absorción de agua por capilaridad de matrices cementicias y de la tasa de absorción de agua inicial de las mismas expuesta en la Norma Española UNE-EN 772-11 y la Norma Europea prEN 771-3 .

Para lograr la dosificación precisa para la composición de matrices, se realizó un estudio de granulometría de la arena a utilizar, ya que, para mejores resultados se debe trabajar con la dosificación acorde al árido; la metodología se detalla en cada paso realizado, desde la calcinación de la CHMC hasta el fraguado de las matrices, para luego romperlas y determinar la resistencia si cumple o no la establecida al inicio.

3. Composiciones químicas del cemento y de muestras calcinadas de la cáscara de huevo pulverizada.

Refiriéndose a los detalles de los valores de composición química del cemento, temperaturas específicas de los componentes del mismo para la toma de decisiones al momento de proponer cantidades específicas del aditivo de CHPC; ayudará a tener un estudio de las normas a seguir en el desarrollo de las matrices cementicias al ser una mezcla de cemento común y la CHMC.

3.1. Composición química del cemento.

Se debe indicar que el cemento es un alúmino silicato de calcio (J. Aspin, 1824), mediante calentamiento incipiente³⁰ alrededor de 1450° C en hornos giratorios levemente inclinados de 3 m de diámetro y 100 m de largo, donde se mezcla polvos de piedra caliza y arcilla y se produce el clínker para luego adicionarle entre un 2% y 3% de yeso, mismo que evita que fragüe al instante. Sus componentes son los siguientes:

Tabla 9. Componentes del cemento portland.

Componente	Fórmula	Fórmula de óxidos	%
Silicato dicálcico	Ca_2SiO_4	$\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$	32 %
Silicato tricálcico	Ca_3SiO_5	$\text{SiO}_2 \cdot 3\text{CaO}$	40 %
Aluminato tricálcico	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$	10 %
Ferroaluminato tetracálcico	$\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{CaO}$	9 %
Sulfato de calcio	CaSO_4		2 – 3 %

Fuente: (IECA, 2016)

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Se puede reemplazar al calcio por magnesio, también silicatos y ferroaluminatos de sodio y potasio.

Para una caracterización del clínker referido a aspectos de producción y propiedades del cemento, se debe clasificar los minerales del mismo, así tenemos cuatro grupos:

³⁰ Incipiente: término que se emplea cuando se quiere dar cuenta que algo está iniciándose, es decir, que se encuentra dando sus primeros pasos.

Tabla 10. Clasificación de minerales del clinker.

Minerales	Representados	Características
Silicatos de calcio	C_3S y C_2S	Parte principal de clinker (75-85%) compuestos deseables para las propiedades de cementación.
Aluminatos y ferritos de calcio	C_3A , C_4AF y C_2F	Componentes necesarios en la práctica, constituyen un 10-20%.
Óxidos libres	CaO y MgO	Representan menos del 5% de componentes no deseados, indican cocción insuficiente del clinker (CaO) o alto contenido de MgO
Sulfatos	S	Presentes hasta con un 3% como resultado del azufre o combustible trasferido al clinker.

Fuente: (NRMCA, National Ready Mixed Concrete Association)
 Elaborado por: Reibán, D. 2017.

La base de las propiedades del cemento se define por la capacidad de reacción con el agua en fases de solidificación (hidratos). Para que el proceso ocurra se utiliza la ecuación:



3.1.1. Cenizas y aditivos que actúan junto al cemento.

Existen componentes orgánicos e inorgánicos que ayudan a reducir las cantidades de materiales, obtenidas en la explotación de canteras, así tenemos lo siguiente (IECA, 2016):

Tabla 11. Reacciones de cenizas y aditivos más cemento.

Cenizas y aditivos	<i>Ceniza volante calcárea (W)</i>	Obtenidas por precipitación electrostática o mecánica de partículas pulverulentas, arrastradas por flujos gaseosos de hornos o carbón pulverizado. Con propiedades hidráulicas y/o puzolánicas. Se reactiva con Al_2O_3 , Fe_2O_3 al incrementar entre el 10% y 15% de W. La cantidad de W o V varía de 5 al 65% en peso. Las características pueden variar de acuerdo a la fuente de carbón mineral (NRMCA, National Ready Mixed Concrete Association).
	<i>Ceniza volante silíceas (V)</i>	

(Continuación: Tabla 11 Reacciones de cenizas y aditivos más cemento.)

<p><i>Escoria granulada de horno alto (S)</i></p>	<p>Subproductos no metálicos obtenidos por enfriamiento rápido de una escoria fundida en una fusión del mineral de hierro en horno alto, reducido a hierro dulce³¹, es líquida similar al cemento. Componentes químicos: CaO, SiO₂, MgO, Al₂O₃ y otros.</p> <p>Con tres grados de escorias: 80, 100 y 120 (más alta; resistente). Se utiliza el 20 o 70% en peso (NRMCA, National Ready Mixed Concrete Association)</p>
<p><i>Humo de sílice</i></p>	<p>Material puzolánico de alta reactividad; subproducto de la producción de metal silíceo o ferrosilíceo (chimeneas de gases de hornos de arco eléctrico). Polvo demasiado fino (100 veces más pequeñas que 1 grano de cemento)</p> <p>Se utiliza entre el 5 y 12% en peso de materiales cementales en estructuras de concreto con alta resistencia o permeabilidad (reducción de agua).</p>
<p><i>Agregado Tipo A</i></p>	<p>Mezcla de subsustancias compuestas de un material calcáreo-arcilloso, calcinado a temperatura superior a 900° C y otros materiales a base de óxidos de silicio, aluminio y fierro.</p> <p>El contenido de calcio del agregado (CaO) total puede variar entre el 5 y 30% en peso de material (Dreyse Ortuzar, 2016).</p>
<p><i>Puzolana natural (P)</i></p>	<p>Contienen SiO₂ que se reactiva con Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO y otros al incrementar >25% de P. El metacolín se emplea entre el 5 y 15% en peso de materiales cementantes; la arcilla o esquistos calcinados se utilizan en mayor porcentaje.</p>
<p><i>Puzolana natural calcinada (Q)</i></p>	<p>Composición química: SiO₂ que se reactiva con Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO y otros al incrementar >25% de Q</p>

Fuente: (IECA, 2016) (NRMCA, National Ready Mixed Concrete Association)
Elaborado por: Reibán, D. 2017.

³¹ Hierro dulce: Hierro de fibra natural, de elevada resistencia a la corrosión y muy dúctil, que se emplea en la fabricación de tuberías, remaches, placas metálicas, etc.

A estos aditivos se los utiliza para mejorar el desempeño del concreto cuando están en estado fresco o endurecido, mejorar la trabajabilidad, durabilidad y resistencia, en una mezcla elevada en porcentaje de cemento genera mayor calor. Las características químicas y físicas de las cenizas volantes son las siguientes:

Tabla 12. Composición química de la ceniza volante, puzolana natural, clínker y yeso.

Componente	Ceniza volante %	Puzolana natural %	Clínker %	Yeso %
<i>Oxido de calcio (CaO)</i>	5,84	1,21	64,80	28,88
<i>Sílice (SiO₂)</i>	49,10	71,22	20,00	16,56
<i>Oxido de aluminio (Al₂O₃)</i>	26,18	15,77	6,95	
<i>Oxido férrico (Fe₂O₃)</i>	14,63	1,59	2,95	
<i>Oxido de magnesio (MgO)</i>	1,13	1,92	1,59	0,72
<i>Trióxido de azufre (SO₃)</i>	0,58	0,13	1,85	32,10
<i>Oxido de sodio (Na₂O)</i>	1,52	0,44	0,58	
<i>Cloruros (Cl)</i>	<i>Trazas</i>	<i>Trazas</i>	-	
<i>Oxido de potasio (K₂O)</i>	0,77	3,49	0,91	
<i>Óxidos de hierro y aluminio (R₂O₃)</i>	-	-	-	2,26
<i>Anhídrido carbónico (CO₂)</i>	-	-	-	5,68
<i>Cloruro de sodio (NaCl)</i>	-	-	-	0,17
<i>Agua libre (H₂O)</i>	-	-	-	0,50
<i>Pérdida por calcinación</i>	1,27	4,57	0,32	19,14 (950° C)
<i>Residuo insoluble</i>	77,31	86,53		

Fuente: (Ossa M. & Jorquera S., 2015) (IETCC, 1984)

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Se estudiará el reemplazo de la materia prima dentro del porcentaje total del cemento, mediante un aditivo que se obtendrá de la CH, basándose en la experimentación de los compuestos químicos, físicos y mecánicos y las comparativas entre matrices cementicias puras y con los porcentajes de las adiciones.

3.2. Efectos del cemento al utilizar adiciones.

En el cemento fresco, las adiciones mejoran la consistencia y trabajabilidad. Algunas reducen el tiempo de fraguado, retardándolo al incrementarlas en porcentajes elevados, es beneficioso en climas calientes; gracias al retardo se baja la cantidad y tasa de exudación³² (sangrado), así se tiene los siguientes casos: (NRMCA, National Ready Mixed Concrete Association)

- Adición de Humo de sílice: se utiliza con bajo contenido de agua con mezclas cohesivas y más viscosas que el concreto común.
- Adición de cenizas volantes y escorias: reducen las demandas de agua para su asentamiento que requiere el concreto.

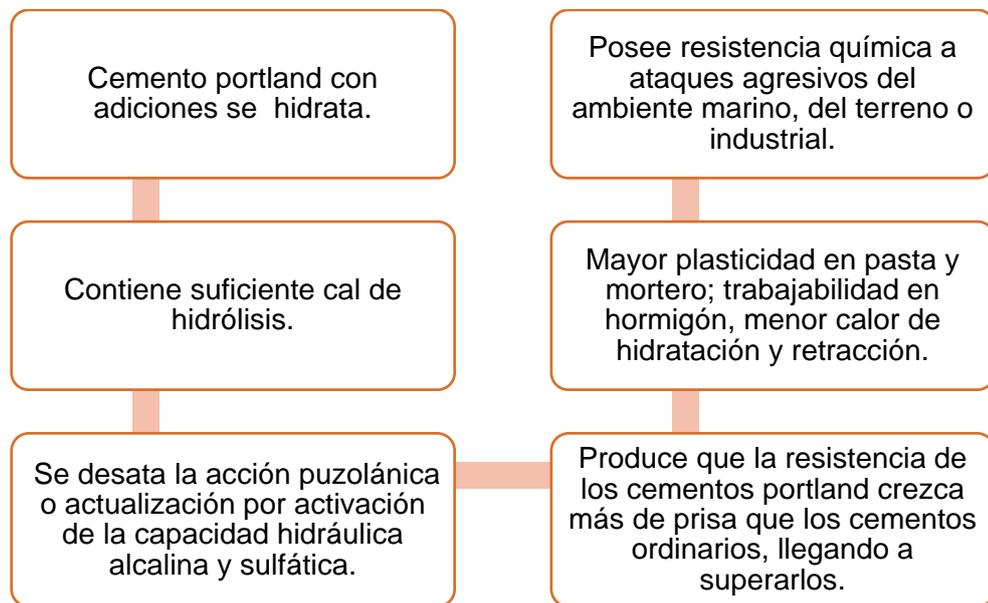


Figura 32. Las adiciones dentro de las mezclas de cemento.

Fuente: (Calleja, 1983)

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

³² Exudación: Salida de un líquido de un cuerpo o del recipiente en que está contenido, por transpiración o a través de sus rendijas.

➤ **Resistencia.**

Se dosifican acorde a la resistencia requerida y la velocidad de ganancia de resistencia a excepción de la adición de humo de sílice que su velocidad inicial es baja, pero, luego de un periodo de tiempo largo se elevada al ser comparado con los componentes de mezcla del cemento portland (NRMCA, National Ready Mixed Concrete Association).

➤ **Durabilidad.**

Las adiciones ayudan en la reducción de calor asociado con la hidratación del cemento, reduciendo la fisuración térmica en elementos estructurales masivos, modifican la microestructura del concreto reduciendo la permeabilidad y penetración de agua. La impermeabilidad ayuda a la reducción de corrosión del acero de refuerzo y el ataque químico (NRMCA, National Ready Mixed Concrete Association).

Las matrices cementicias tendrán un aditivo (ceniza) que sale de la calcinación de la CH, en un horno que alcanza los 1000° C. Se reemplazará en la dosificación total del cemento por 30%, 20% y 10% de CHC; en la ciudad de Loja se recolecta mayormente la CH de gallina de color marrón, siendo el más utilizado, pero, para pruebas de comparación de componentes se realizarán mediciones con el cascarón de huevo de gallina criolla, de huevo de ganso y de huevo de avestruz, acotando que si los resultados son más favorables, se mencionará, más no se podrá reemplazar el porcentaje dicho ya que no hay grandes cantidades de producción y consumo dentro del medio.

Para definir la metodología a usar, se ha basado en normativas para cementos hidráulicos como la INV-E, mismas que equivalen a normas ASTM-C, ya que son internacionales y muy usadas para la creación de matrices cementicias de morteros u hormigones con o sin adiciones; en este caso se utilizará la adición de la CHC.

3.3. Metodología para ensayos de matrices cementicias con reemplazo de aditivo de CH.

Teniendo en cuenta que el mortero es una mezcla homogénea de un material cementante más un agregado fino o grueso, agua y en ocasiones se añade aditivos (endurecimiento, acelerantes, retardantes o plasticidad), se deduce que es un hormigón sin agregado grueso con un aditivo de CHC (Gutiérrez de López, 2003). Para la mezcla mecánica de la pasta de

cemento (hidráulico) se estableció la norma INVE – 321, misma que corresponde a la ASTM C-305 (Ver Anexo 3),

3.4. Metodología para ensayo a la compresión de morteros de cemento hidráulico ASTM-C 109.

Dicho ensayo determina el esfuerzo de compresión de morteros de cemento hidráulico mediante moldes cúbicos de 50 mm (2”) de lado. El procedimiento se detalla en la norma ASTM-C 109 (Ver Anexo 4), En el curado se realizará una primera prueba que cumplirá los 7 días, ya que se realizarán matrices con adición de CHP calcinada a 450° C, 700° C y 1000° C; esto servirá para determinar la mejor dosificación y resistencia de las mismas. Posteriormente se definirá la temperatura a calcinar la CHP se dejarán en curado a 7, 14 y 28 días hasta alcanzar una carga máxima superior a 13 MPa.



Figura 33. Moldes cúbicos para matrices cementicias.
Fuente: (<http://proetisa.com>)
Elaborado por: (<http://proetisa.com>)

3.5. Parte experimental.

La metodología a seguir se inicia por la molienda de las distintas clases de CH en un molino convencional, hasta obtener un polvo lo más fino posible para ser pesadas e ingresarlas en un horno eléctrico de laboratorio; seguido por la creación de las matrices cementicias para realizar la rotura a compresión y la medición de absorción mediante la capilaridad. Un resumen puntual de la parte experimental es el siguiente:

- Obtención de cenizas con un molino convencional, hasta llegar a la finura máxima
- **Fase I**
 - Calcinación de cenizas de CH de gallina marrón, criollo, ganso y avestruz, a 1000° C de temperatura y dejando 1 hora desde que alcance dicha temperatura.

- Pulverización de las distintas CH calcinadas dentro de la pulverizadora de discos RS 200.
- Pruebas de ensayos en cajas petri por medio de hidratación mediante goteo y mezcla, hasta llegar a endurecer.
- Determinación de cenizas con mayor porcentaje de CaO mediante Eflorescencia de Rayos X.
- **Fase II**
 - Calcinación de cenizas elegidas con mayor porcentaje de CaO (CHMC) ingresadas al horno a temperaturas de 450° C, 700° C y 1000° C.
 - Pulverización de la CH calcinada a distintas temperaturas dentro de la pulverizadora de discos RS 200.
 - Método de granulometría de la arena en el Laboratorio.
 - Elaboración y ensayos de matrices cementicias con el método de fraguado.
 - Rotura para determinar la resistencia a compresión de las matrices cementicias a 7 días de curado.
- **Fase III**
 - Con las pruebas de la FASE II, se determinó la temperatura óptima para la calcinación final de cenizas de CHM siendo la de 1000° C, por 1 hora dentro del horno y pulverizada en los discos RS 200.
 - Dosificación del 10%, 20% y 30% en relación del 100% de cemento para la mezcla de dichas matrices.
 - Rotura para la determinación de la resistencia a la compresión en la Máquina Triaxial de las matrices cementicias a 7, 14 y 28 días de curado y con adición del 10%, 20% y 30% de CHMC.
 - Aplicación del método de ensayo de la absorción por capilaridad para matrices.

3.6. Preparación de muestras de cáscaras de huevo.

Las cáscaras que se recolectaron fueron de las siguientes:

- Cáscara de huevo marrón de Gallina de incubadora (CHM).
- Cáscara de huevo criollo de Gallina Criolla (CHC).
- Cáscara de huevo de Ganso (CHG).
- Cáscara de huevo de Avestruz (CHA).

Las CH se las obtuvieron crudas de color marrón de gallina (Fig. 34, a) desechadas en fundas plásticas semi-triturados; los CH de varios colores de gallina criolla (Fig. 34, b) depositadas

en fundas plásticas igualmente semi-triturados; los CH blancos corresponden a los de ganso (Fig. 34, c) y la CH de avestruz (Fig. 34, d), en este caso se obtuvo el huevo en estado intacto, para luego romperlo y otro semi-triturado. Se las guardó en un lugar oscuro y sin humedad.



Figura 34. a) CH marrón de gallina de incubadora. b) CH criollo de gallina criolla. c) CH de ganso. d) Huevo de avestruz.
Fuente: Reibán, D. 2017.
Elaborado por: Reibán, D. 2017.

3.7. Fase I:

3.7.1. Pesaje y molienda de las diferentes CH.

Para sacar el peso promedio de los diferentes tipos de cáscaras de huevos, se pesó en una balanza digital como se muestra a continuación:

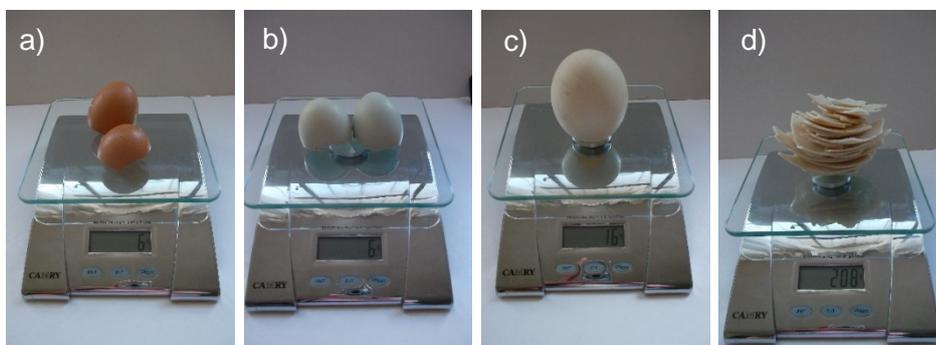


Figura 35. a) Peso de cáscara de huevo marrón de gallina. b) peso de cáscara de huevo criollo de gallina. c) Peso de cáscara de huevo de ganso. d) peso de cáscara de huevo de avestruz.
Fuente: Reibán, D. 2017.
Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Tabla 13. Pesos de las diferentes cáscaras de huevos.

Cáscara.	W 1 (g)	W2 (g)	W 3 (g)	W4 (g)	W promedio
CHM	5	6	7	6	6 g.
CHC	5	7	5	6	5,75 g.
CHG	15	16	14	13	14,5 g.
CHA	208	-	-	-	208 g.
H. avestruz	1296	-	-	-	1296 g.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Una vez recolectada la materia prima se procedió a moler en un molino convencional hasta llegar a la máxima finura de las mismas, con dichas muestras se procederá a la evaluación de los componentes químicos mediante la eflorescencia de rayos X.

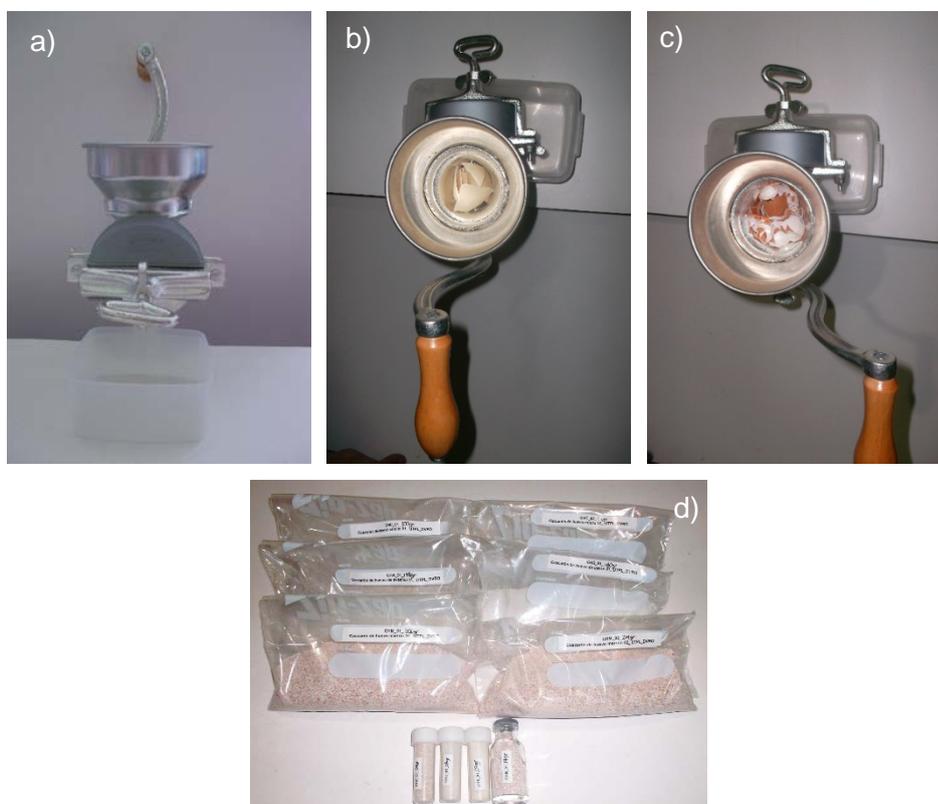


Figura 36. a) Molino convencional. b) Colocación de cáscaras en el molido. c) Trituración de las cáscaras. d) Muestras de cáscaras de huevos pulverizados en bolsas plásticas y probetas.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

3.7.2. Medición de compuestos químicos con pistola de eflorescencia de rayos X.

Se debe recalcar que se utilizó las instalaciones del Laboratorio de Geología y Minas de la Universidad Técnica Particular de Loja.



Figura 37. Pistola de Eflorescencia de Rayos X. UTPL.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017

Para el inicio de la Fase I de las muestras pulverizadas almacenadas en las probetas, se utilizó una *Pistola de Eflorescencia de Rayos X: S1 Turbo SD*, con el método Mining Light Elements FP - Fase de excitación (Ver Fig. 37), el mismo que nos arrojó los siguientes resultados con márgenes de errores y cantidades de los porcentajes de los compuestos químicos, en donde se utilizó el método de redondeo (Ver Fig. 38).



Figura 38. Colocación de muestra en la pistola de eflorescencia.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Tabla 14. Resultados de Compuestos químicos por medio de la Pistola de Eflorescencia de Rayos X.

Compuesto		CHM_01	CHC_01	CHG_01	CHA_01
Nº de Ensayo	Nombre	1279	1280	1281	1282
<u>CaO</u>	<u>Óxido de calcio</u>	60,09	76,96	46,10	75,50
Al ₂ O ₃	Óxido Aluminio	4,01	4,66	3,49	4,38
SiO ₂	Óxido de silicio	0,14	0,14	0,13	0,14
P ₂ O ₅	Óxido de fósforo	2,35	2,84	1,93	2,28
S	Azufre	0,86	1,23	1,44	0,49
K ₂ O	Óxido de potasio	0,40	0,40	0,30	0,30
Fe ₂ O ₃	Óxido de hierro	0,10	0,07	0,04	0,06
MgO	Óxido de magnesio	4,36	16,75	4,00	21,20

Nomenclatura: CHM_01 correspondiente a la CH color marrón de gallina; CHC_01 a la CH de gallina criolla; CHG_01 es la CH de ganso y la CHA_01 corresponde a la CH de avestruz.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

El mayor porcentaje de CaO se encuentra en la muestra CHA_01 con un 75,50% que corresponde a la CH de avestruz; seguido por la CHC_01 que es la CH de gallina criolla con un 76,96%; en la CHM_01 posee un 60,09% que es la CH marrón de gallina y la CHG_01 posee un 46,01%.

3.7.3. Pesaje de materiales de laboratorio.

Para el pesaje de los distintos tipos de CH se utilizó la balanza digital Mettler Toledo, se utilizó crisoles. Los valores se redactan a continuación:

Tabla 15. Pesaje de materia prima y materiales de laboratorio.

Cod. Muestra	CHM_01	CHC_01	CHG_01	CHA_01
Cod. Crisol	Crisol_01	Crisol_02	Crisol_03	Crisol_04
W crisol (g)	58,92	60,56	62,47	57,93

(Continuación: Tabla 15 Pesaje de materia prima y materiales de laboratorio.)

W bolsa (g)	3,68	3,68	3,68	3,68
W Polvo en bolsa (g)	72,27	58,95	80,83	66,23
Wc + Wp	100,25	100,18	100,03	101,24
W polvo a calcinar (g)	41,33	39,62	37,56	43,31
W restante bolsa (g)	30,94	19,33	43,27	22,92
Wr sin bolsa (g)	27,26	15,65	39,59	19,24

Nomenclatura: CHM_01 correspondiente a la CH color marrón de gallina; CHC_01 a la CH de gallina criolla; CHG_01 es la CH de ganso y la CHA_01 corresponde a la CH de avestruz.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

3.7.4. Calcínación de la materia prima dentro de un horno eléctrico.

Para la calcínación de las CH se utilizó el Horno Geología y Minas de la UTPL, colocando las muestras en los crisoles a 1000° C progresivamente. La medición de temperatura y tiempo se detalla a continuación, empezando por la muestra de colocación de crisoles dentro del horno. Una vez que se retiran los crisoles del horno, se deben enfriar en un desecador especial. Los valores y resultados luego de la calcínación se detallan a continuación:

Tabla 16. Pesos de crisoles con muestras a calcinar y pérdida de materia.

CH Calcínada y enfiada				
Cod. Muestra	CHMC_01	CHCC_01	CHGC_01	CHAC_01
W inicial de polvo (g)	41,33	39,62	37,56	43,31
W crisol (g)	58,92	60,56	62,47	57,93
Wc + Wp calcínado (g)	80,56	81,47	82,30	81,53
W polvo calcínado (g)	21,64	20,91	19,83	23,60
W pérdida de polvo (g)	19,69	18,71	17,73	19,71

Nomenclatura: CHM_01 corresponde a la CH marrón de gallina; CHC_01 a la CH de gallina criolla; CHG_01 es la CH de ganso y la CHA_01 corresponde a la CH de avestruz.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Con la obtención de las CH calcinadas, se procede a realizar el testeo experimental para la selección de la pasta que mejor reactividad tiene mediante la valoración rápida experimental en cajas petri, colocando cierta cantidad de CH calcinado dentro de la misma y mediante goteo con agua potable, curando cada 5 horas ayudando con una paleta para mezclar uniformemente la pasta (Ver Fig. 39).



Figura 39. Hidratación de CHPC en cajas petri.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

El resultado de la hidratación de las CHC fue que la CHCC y CHGC se endurecen con mayor rapidez y se solidifican sin perder la forma, a diferencia de las CHMC y CHAC que tienden a desprender su calor retenido en forma de humo y su consistencia es semi líquida en comparación con las otras dos. Una vez tomado los datos se procede a medir nuevamente con la Pistola de Eflorescencia de Rayos X para comparar la pérdida o repotenciación de los compuestos químicos, se detalla a continuación:

Tabla 17. Resultados de muestras calcinadas mediante pistola de eflorescencia de Rayos X.

Compuesto	Nombre del compuesto	CHMC_01	CHCC_01	CHGC_01	CHAC_01
N° de Ensayo		2090	2091	2092	2093
CaO	Óxido de calcio	83,98	82,42	64,10	62,20
Al ₂ O ₃	Óxido Aluminio	1,71	5,27	0,95	1,16
SiO ₂	Óxido de silicio	0,16	0,16	0,17	0,17
P ₂ O ₅	Óxido de fósforo	1,01	1,96	1,84	1,71
S	Azufre	0,23	0,45	0,47	0,42
K ₂ O	Óxido de potasio	0,16	0,35	0,24	0,24
Fe ₂ O ₃	Óxido de hierro	0,02	0,11	0,03	0,03

<i>(Continuación: Tabla 17 Pesaje de materia prima y materiales de laboratorio.)</i>					
MgO	Óxido de magnesio	9,09	15,69	17,11	17,98
SnO ₂	Óxido de estaño	2,26	4,28	6,85	7,54
Sb ₂ O ₃	Sulfuro de antimonio	10,90	13,54	12,50	8,46

Nomenclatura: CHMC_01 correspondiente a la CH color marrón de gallina; CHCC_01 a la CH de gallina criolla; CHGC_01 es la CH de ganso y la CHAC_01 corresponde a la CH de avestruz.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

La pérdida de material al ser calcinado tiene un promedio de 18,96 g, respecto a la cáscara de huevo de gallina, la pérdida de materia es de 19,69 teniendo un 47% de la muestra total; la cantidad de CaO es de 83,98%; otro componente con el 5% aprox. en el Al₂O₃ en la CHCC que ayuda a endurecer las matrices.

3.8. Fase II.

Luego de la medición de compuestos químicos de las diferentes CH, se inicia la Fase II en donde se calcinará la CHM a tres temperaturas que son a 450° C, 700° C y a 1000° C; esto arrojará resultados que se tomarán en consideración de la mayor resistencia y la menos pérdida de material durante la calcinación.

3.8.1. Calcinación de CH a temperaturas de 450° C, 700° C y 1000° C.

Las muestras fueron de CHM colocadas en crisoles, calcinándolas por una hora a diferentes temperaturas, deduciendo que a mayor temperatura el color de la CH se transformando en color blanco y a menor temperatura se transforma en color gris (Ver Fig. 40) describiendo los resultados en la Tabla 18:



Figura 40. a) CHM calcinada a 450° C. b) CHM calcinada a 700° C. c) CHM calcinada a 1000° C.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Tabla 18. Pesos de la calcinación de la CHM acorde a las temperaturas establecidas.

CALCINACION DE CH A 450° C (CHMC_01).					
Crisol	W + CHP	° C	t de calcinación	W CHC	CHC perdida
Crisol_01	116,62	450	1 h	-	-
Crisol_02	108,46	450	1 h	-	-
Crisol_03	109,40	450	1 h	-	-
Crisol_04	106,33	450	1 h	-	-
∑ total	440,81			407,08	33,73
CALCINACION DE CH A 700° C (CHMC_02).					
Crisol	W + CHP	° C	t de calcinación	W CHC	CHC perdida
Crisol_01	110,73	700	1 h	-	-
Crisol_02	107,73	700	1 h	-	-
Crisol_03	114,01	700	1 h	-	-
Crisol_04	104,94	700	1 h	-	-
∑ total	437,41			399,25	38,16
CALCINACION DE CH A 1000° C (CHMC_03).					
Crisol	W + CHP	° C	t de calcinación	W CHC	CHC perdida
Crisol_01	108,87	1000	1 h	-	-
Crisol_02	108,75	1000	1 h	-	-
Crisol_03	115,19	1000	1 h	-	-
Crisol_04	112,40	1000	1 h	-	-
∑ total	445,21			236,08	209,13

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Luego de la calcinación se realiza la medición de compuestos, redactándolos a continuación:

Tabla 19. Compuesto químicos de la CHMC mediante pistola de eflorescencia de rayos X.

Compuesto		CHMC_01	CHMC_02	CHMC_03
N° de Ensayo	Nombre de Compuesto	2094	2095	2096
CaO	Óxido de calcio	75,99	82,56	80,76
Al ₂ O ₃	Óxido Aluminio	4,30	0,96	1,40
SiO ₂	Óxido de silicio	0,15	0,16	1,87
P ₂ O ₅	Óxido de fósforo	1,93	1,79	2,94
S	Azufre	0,38	0,34	0,86
K ₂ O	Óxido de potasio	0,41	0,39	0,03
Fe ₂ O ₃	Óxido de hierro	0,07	0,08	0,02
MgO	Óxido de magnesio	22,54	15,69	17,11
SnO ₂	Óxido de estaño	3,21	3,45	3,24
Sb ₂ O ₃	Sulfuro de antimonio	10,64	13,22	18,10

Nomenclatura: CHMC_01 se refiere a la CHM calcinada a 450° C; CHMC_02 es la CHM calcinada a 700° C y la CHMC_03 a la CHM calcinada a 1000° C.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

La temperatura más óptima para la calcinación sería a 700° C, ya que el nivel de CaO es del 82,56% aunque la pérdida de materia es de 38,16 g de 300,25 g. pero tiene aún alto porcentaje de materia orgánica, es por eso que se decide trabajar con la CHMC a 1000° C aunque la pérdida de material es de 209,13 gr respecto a 445,21 gr antes de ser calcinada, por lo que se realiza la comparación de componentes referente a la CHMC y la cal, a continuación se describen los mismos:

Tabla 20. Compuesto químicos de la cal viva mediante pistola de eflorescencia de rayos X.

Compuesto	Nombre de Compuesto	Cal viva.
CaO	Óxido de calcio	45,60
Al ₂ O ₃	Óxido Aluminio	-
SiO ₂	Óxido de silicio	2,64

<i>(Continuación: Tabla 15 Pesaje de materia prima y materiales de laboratorio.)</i>		
P ₂ O ₅	Óxido de fósforo	3,26
S	Azufre	1,01
K ₂ O	Óxido de potasio	0,73
Fe ₂ O ₃	Óxido de hierro	0,26
MgO	Óxido de magnesio	-
SnO ₂	Óxido de estaño	-
Sb ₂ O ₃	Sulfuro de antimonio	-
MnO	Óxido de Manganeseo	2,28
NaO	Óxido de sodio	0,203

Nota: Se ha encontrado MnO y NaO en porcentajes menores, se los menciona ya que en la CHMC no se encontraron dichos componentes.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

La comparación entre los componentes de la CHMC y la cal viva se deduce que poseen similares porcentajes, tanto en el CaO y SiO₂ tienen similares fracciones de porcentaje y la diferencia de CaO entre dichos materiales oscila entre el 30%, pero ambos sirven para ser aditivos del cemento y ayudar a que no existan fracturas dentro del cemento.

3.8.2. Pulverización de la CHMC.

Las muestras calcinadas no cumplían con la finura establecida para las adiciones en morteros, ya que deben ser de la misma finura del cemento, por lo que se utilizó la pulverizadora de molinos de discos vibratorios de RETSCH RS 200 durante 3 min a una velocidad de 700 rpm. La CHMC se almacena en bolsas plásticas para su uso en la mezcla de las matrices cementicias.

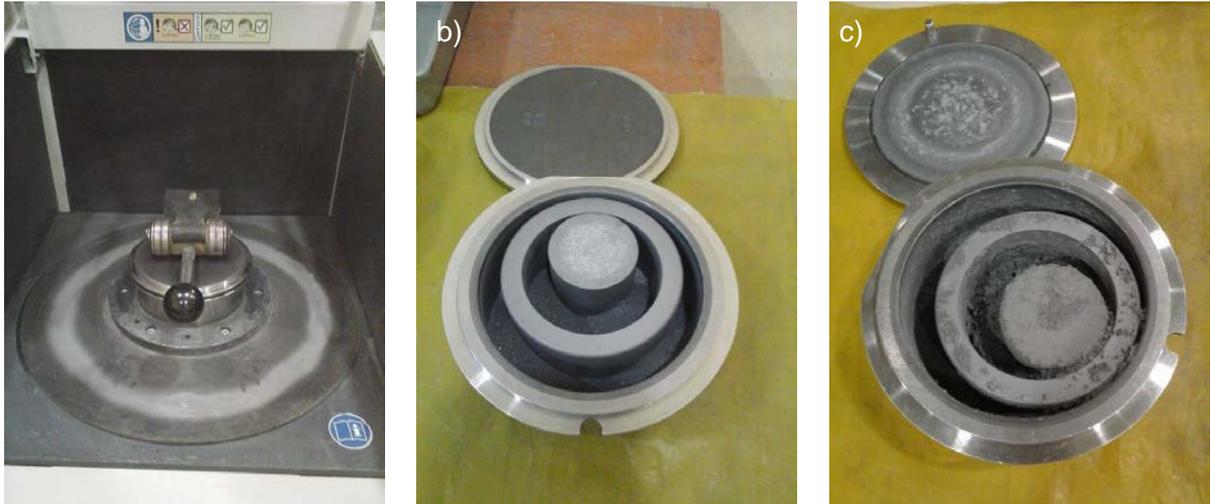


Figura 41. a) Pulverizadora de Discos RS 200 internamente. b) Discos con muestras para ser pulverizadas. c) Muestra pulverizada en Discos.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

3.8.3. Método granulométrico de la arena.

La granulometría es la distribución del tamaño de las partículas de un árido (arena) que se logra obtener por medio de tamices de malla de alambre con abertura cuadrada, ya que puede afectar las proporciones relativas de los mismos y la demanda de agua y cemento, la trabajabilidad, bombeabilidad, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto (NTE INEN 696:2011 Áridos).



Figura 42. Horno para secar material (arena) por 24 horas.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

El módulo granulométrico se realiza con la norma ASTM-C 136-84 Standard Method for sieve analysis of fine and coarse aggregates y ASTM-C 33-90 Standard Specification for Concrete Aggregates., para realizarla se debe tener la arena seca, sino se secará por 24 horas en una fuente dentro de una estufa (Ver Fig. 43), capaz de mantener una temperatura uniforme de $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$.



Figura 44. Recipiente de la arena en el horno, secado durante 24 horas.
Fuente: Reibán, D. 2017.
Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Los tamices a usar serán los de la norma ASTM-E 11, que va en la numeración de 8, 16, 30, 50, 100, 200 y el fondo (Ver Fig. 44) en orden decreciente de tamaño (si es mayor el módulo de finura, más grueso será el agregado).

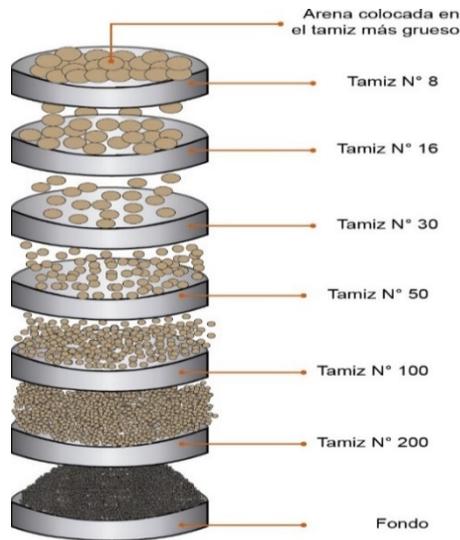


Figura 43. Ilustración de la serie de tamices en la máquina tamizadora RO-TAP.
Fuente: Reibán, D. 2017.
Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Para cribar³³ la arena se debe de cuartear la misma y tomar dos partes opuestas, colocando los tamices que dependen del grosor y volcar la arena cuarteadada para ir a la máquina tamizadora RO-TAP Testing Sieve Shaker Model B; se debe pesar en la balanza digital los tamices, incluyendo el tamiz de fondo.

El agitador de tamices mecánico es recomendado cuando el tamaño de la muestra es de 20 kg o mayor, aunque se lo puede utilizar para muestras pequeñas; al momento de encender la máquina, se debe tamizar la muestra por 10 min aprox. Al finalizar los 10 min, se saca la serie de tamices y se pesa el residuo que queda en cada uno de ellos, incluyendo el tamiz de fondo.

³³ **Cribar:** Pasar una materia por una criba para separar las partes finas y las gruesas o para limpiarla de impurezas.



Figura 45. Serie de tamices en la máquina tamizadora RO-TAP. Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Para el cálculo granulométrico se suman los porcentajes acumulados de los tamices N° 8, 16, 30, 50 y 100 para luego aplicar la fórmula de granulometría. Todos los valores se detallan en la Tabla 21 a continuación:

Tabla 21. Datos para calcular la granulometría de la arena.

Pesos Iniciales						
W Fuente		W Fuente + Arena			W Arena	
123,32		1380			1256,68	
GRANULOMETRIA				SERIE FINA		
TAMIZ	W TAMIZ	Wt + Muestra	W Parcial	W Acumulado	% Acumulado	
No 8	473,98	482,07	8,09	8,09	0,64	
16	445,17	568,10	122,93	131,02	10,43	
30	399,73	631,36	231,63	362,65	28,86	
50	332,87	799,12	466,25	828,90	65,96	
100	341,88	633,25	291,37	1120,27	89,15	
200	300,54	390,99	90,45	1210,72	96,34	
Fondo	376,86	422,08	45,22	1255,94	99,94	
Σ total			1255,94			

Fuente: (ASTM C 136 - 84) (ASTM C 33-90)
Elaborado por: Reibán, D. 2017.

$$M. finura = \sum = \frac{(T\# 8+T\#16+T\# 30+T\#50+T\#100)}{100} \quad (Ecu. 7)$$

$$M. finura = \sum = \frac{(0,64+10,43+28,86+65,96+89,15)}{100} = \frac{195,03}{100}$$

$$M. finura = \sum = 1,95$$

Dando como resultado el % acumulado de 195,03 y el módulo de finura de 1,95; se detalla la curva granulométrica con los resultados obtenidos del cribado:

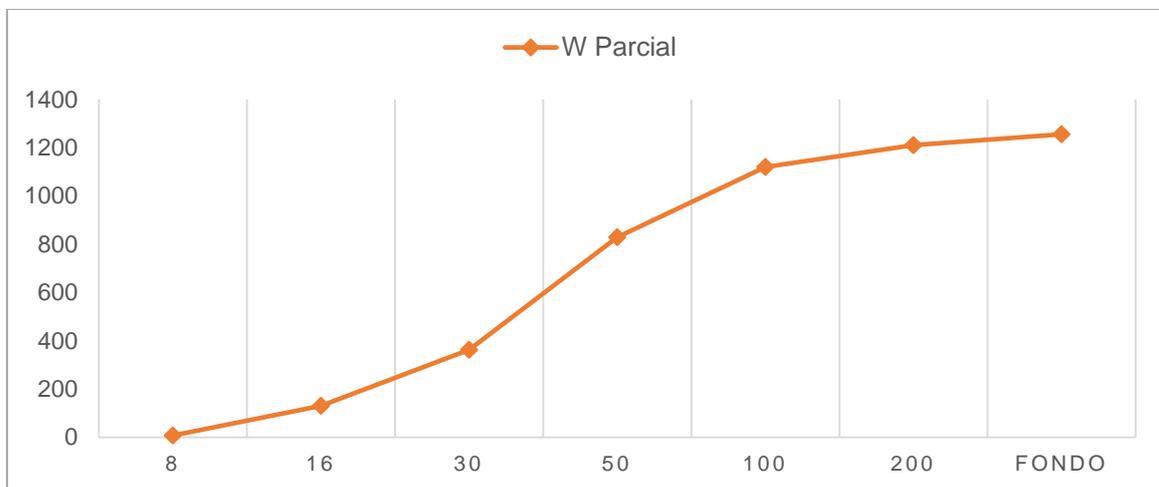


Figura 46. Gráfica de la curva granulométrica.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

3.8.4. Dosificación para matrices cementicias.

Con el módulo de finura que es de 1,95 se procede a calcular el volumen de cemento / arena misma que se detalla a continuación:

Datos:

Finura de arena: 1,95

Contenido de cemento: 540 Kg/m³ (establecido)

Agua/Cemento: 0,5

Cantidad de agua = C x A/C = 270 l/m³.

Fórmula para calcular el volumen de materiales:

$$\text{Volumen de cemento} = V_c = \frac{\text{Cont. Cemento}}{3080} \quad (\text{Ecu. 8})$$

$$V_c = 0,18$$

$$\text{Volumen de arena} = 0,52$$

$$\text{Masa de Arena} = \frac{V_a \times 2700}{\text{Cont. Cemento}} \quad (\text{Ecu. 9})$$

$$= \frac{0,52 \times 2700}{540} = 2,60$$

Haciendo la comparación con la dosificación establecida en la norma ASTM-C 109 o ICONTEC 220 teniendo como relación de dosificación lo siguiente:

Dosificación resultante con la medición granulométrica de la arena.

$$\begin{array}{ccc} 1 & ; & 2,6 & ; & 0,5 & (\text{Ecu. 10}) \\ \text{Cemento} & & \text{Arena} & & \text{Agua} \end{array}$$

Dosificación según la norma ASTM-C 109 (útil).

$$\begin{array}{ccc} 1 & ; & 2,75 & ; & 0,485 & (\text{Ecu. 11}) \\ \text{Cemento} & & \text{Arena} & & \text{Agua} \end{array}$$

Las cantidades de material para la mezcla de mortero con el reemplazo del 30% de CHMC dentro del cemento, con una relación del 30 – 70% (CHMC – Cemento) acorde a la norma ASTM-C 109 son las siguientes:

Tabla 22. Dosificación. Cantidad de material para la mezcla.

	Dosificación.				Dosificación final.	
	Material	Dosificación	Total (g)		Material	Total (g)
Cant. Cemento – arena - agua	Cemento	1	250	Cant, CHCM - Cemento	Cemento	175
	Arena	2,75	660		CHC	75
	Agua	0,485	117		Arena	660
					Agua	150 (*)

Nota: (*) Debido a que la mezcla queda seca y no moldeable con 117 ml que sugiere la norma, se ha incrementado 33 ml más de agua, dando un total de 150 ml dentro de la dosificación.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

3.8.5. Mezcla para matrices cementicias.

Con la dosificación establecida y las cantidades en gr y ml respectivamente, se procede a pesar los mismos y colocar en la mezcladora, tal como en la norma ASTM-C 109 - ICONTEC 220 que se refiere a la Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico I.N.V. E – 323 (Ver Anexo 3). Se utilizará la mezcladora eléctrica Hobart (Ver Fig. 47).



Figura 47. Mezcladora eléctrica HOBART.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

El agua debe ser destilada, la cámara húmeda fue el Laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil; mientras que los moldes son los específicos de la norma junto con el apisonador se realizaron los 32 golpes a las tres capas de mortero que se colocó (Ver Fig. 48), para esta Fase II se realizaron 12 matrices cementicias en total; 3 matrices de cemento sin adición, 3 matrices con 30% de CHMC a 450° C; 3 matrices con 30% de CHMC a 7000° C y 3 matrices con 30% de CHMC a 1000° C.



Figura 48. a) Materiales a utilizar, variación en la cantidad de CHMC. b) Mezcla en el tazón de la mezcladora. c) Matriz cementicias fraguada sin adición de CHCM, Cementante pura.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.



Figura 49. a) Matriz cementicias fraguada con adición de CHCM a 450° C. b) Matriz cementicias fraguada con adición de CHCM a 700° C. c) Matriz cementicias fraguada con adición de CHCM a 1000° C.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Una vez desencofradas las matrices, se etiquetan para luego colocar en una bandeja metálica o plástica (Ver Fig. 50) en donde iniciará el fraguado de las matrices. Se realizarán en dos fases, esta primera se ensayarán a 7 días para determinar la temperatura más óptima de calcinación de la CHMC según las resistencias que arrojen las pruebas a compresión. Al transcurrir los primeros 7 días se procederá a la medición de resistencias basándose en la norma I.N.V. E-323 (ASTM-C.109 o ICONTEC 220) que sirve para la Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico.



Figura 50. Matrices cementicias

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

3.8.6. Roturas para determinación de resistencia a la compresión.

Para realizar este ensayo se debe sacar del agua las matrices la fecha que cumplen los días de fraguado establecido, en este caso se dejaron por 7 días dentro de agua cubriendo por completo todas las superficies; luego se procede a dejar secar por 24 horas aproximadamente para medir 3 lados y 2 alturas con ayuda de un calibrador manual o electrónico y pesar mediante balanza digital las matrices para llegar a los cálculos de resistencia de carga total.



Figura 51. Máquina Triaxial para roturas Accu Tek.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Para el método de rotura se siguió la Norma ASTM-C 39 para la Máquina Triaxial (Ver Fig. 51), la cual se deberá establecer para cubos de 50 mm de caras (Ver Fig. 52), dicha máquina requiere de placas y alzas de acero. Todos los valores se detallan a continuación:



Figura 52. Panel de control de Rotura mediante máquina Triaxial.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Tabla 23. Roturas de Matrices Cementicias a los 7 días de curado.

Dosificación (cemt.-arena)	N°	Alto (mm)	Medio (mm)	Bajo (mm)	h _a (mm)	h _b (mm)	W (gr)	Carga (kN)	Carga Total (MPa)
Sin adición	1	51,92	50,92	50,96	51,13	51,15	273,65	0,01	11,10
Sin adición	2	51,12	50,95	51,13	51,40	51,02	276,66	0,01	9,98
Sin adición	3	51,05	51,11	51,14	51,75	50,28	273,87	0,01	12,15

<i>(Continuación: Tabla 23 Roturas de Matrices Cementicias a los 7 días de curado.)</i>									
CHC 450° C	4	51,19	51,16	50,93	50,80	51,34	277,42	0,01	9,15
CHC 450° C	5	51,22	51,00	51,07	51,41	51,33	278,62	0,01	8,43
CHC 450° C	6	51,05	51,12	51,06	51,25	51,71	275,36	0,01	8,79
CHC 700° C	7	51,27	51,12	51,07	51,07	51,05	276,69	0,01	8,56
CHC 700° C	8	51,24	51,10	51,19	51,41	51,32	279,56	0,01	8,76
CHC 700° C	9	51,16	51,08	51,19	51,19	51,16	276,99	0,01	9,17
CHC 1000° C	10	51,30	51,30	51,51	53,88	52,99	286,60	0,01	6,62
CHC 1000° C	11	51,53	51,49	51,37	52,66	52,99	287,62	0,01	9,37
CHC 1000° C	12	51,44	51,43	51,33	53,01	52,83	285,62	0,01	10,29

Nota: Las matrices de la N° 4 a la 12 tienen una relación del 30% de CHMC más 70% de Cemento; luego del apisonado se dejó fraguar en los moldes por 24 horas para luego ser sumergidas en agua durante 7 días.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Para llegar al cálculo de la Carga Total en MPa se considera las siguientes fórmulas, en el orden a mencionar:

$$(1) \text{ Área total} = l \times l = \hat{A}t \quad (\text{Ecu. 12})$$

$$(2) \text{ Carga} = \frac{\text{Carga (Máquina Triaxial)}}{9,81} = \text{Carga (kN)} \quad (\text{Ecu. 13})$$

$$(3) \text{ Carga (kN)} = \frac{\text{Área total}}{\text{Carga}} = \text{Carga Total (MPa)} \quad (\text{Ecu. 14})$$

La carga promedio de las matrices cementicias puras de la N° 1 a la 3 es de 11,08 MPa; de la N° 4 a la 6 es de 8,79 Mpa; desde la N° 7 a la 9 su promedio es de 8,83 MPa y de la N° 10 a la 12 el promedio de carga es de 8,76 MPa. La fórmula se detalla a continuación:

$$\text{Promedio de Carga} = \frac{Ct_1 + Ct_2 + Ct_3}{3 \text{ matrices}} = \text{Prom. CargaT (MPa)} \quad (\text{Ecu. 15})$$

Para pasar a la **Fase III** se tomó de referencia las resistencias en MPa que arrojó las roturas y se decidió realizar las Matrices Cementicias finales con adición de CHM calcinado a 1000° C ya que su promedio de carga es de 8,76 MPa, aunque su pérdida de materia es de 209,13 gr de 445,21 gr totales, se evidenció que al salir del horno la CH se convierte en Cal Viva³⁴ y al realizar las pruebas de hidratación se evidenció que desprende calor, por lo tanto dicho compuesto es el más óptimo para la fabricación de cementos.

3.9. Fase III.

3.9.1. Calcinación y pulverización de la CHM para la mezcla de Matrices Cementicias.

Para la calcinación de la CH se retoma los procedimientos mencionados en la Fase II, en donde se indica que se trabajará con una calcinación hasta alcanzar los 1000° C dejando por una hora dentro del horno. Luego se procede a pulverizar (Ver Fig. 53)

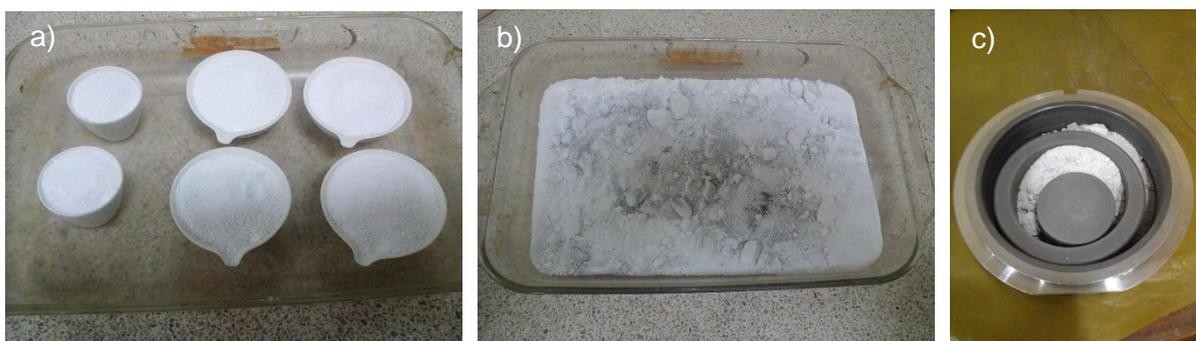


Figura 53. a) CHMC a 1000° C dentro de los crisoles. b) CHMC en un pìrex enfriándose para poder ser pulverizado. c) Discos de pulverizadora con CHMC frío.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

3.9.2. Elaboración de matrices Cementicias.

Como se ha mencionado en la Fase II, el proceso de la calcinación de la CHM es similar, con la variante de que se ha definido la temperatura a 1000° C por una hora.

Como existe una nueva variante dentro del reemplazo de cierto porcentaje (30%, 20% y 10%) del cemento con la adición de CHMC, se debe calcular las cantidades a utilizar, teniendo como

³⁴ Cal Viva: Sustancia alcalina blanca, ligera y cáustica, que en contacto con el agua se hidrata y desprende calor; se emplea en la fabricación de abonos, cementos y materiales refractarios.

base la Norma ASTM-C 109, teniendo como variante el aumento de ml en la dosificación del agua, colocando 150 ml para las tres matrices. El procedimiento se describe a continuación:

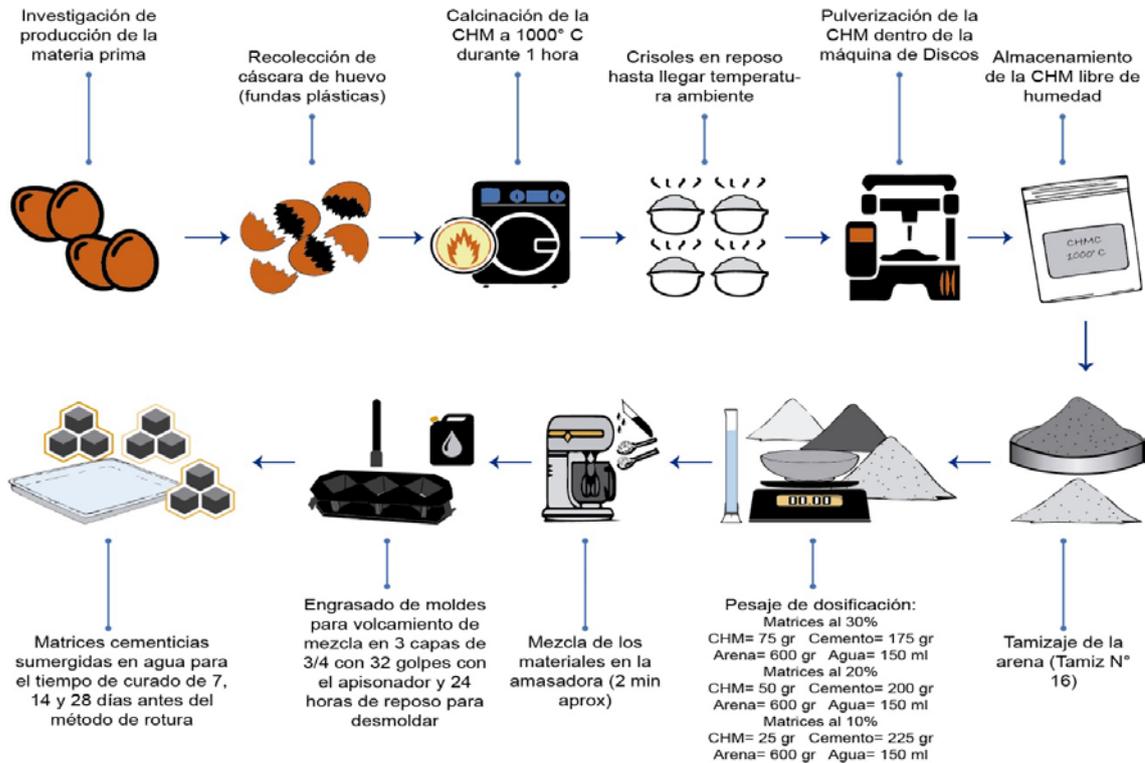


Figura 54. Secuencia de procesos para la realización de las matrices cementicias con variación de dosificación de CHM del 30, 20 y 10%. Iniciando desde la recolección de la materia (CHM) hasta el curado de las matrices.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Las dosificaciones se describen en la siguiente tabla:

Tabla 24. Cantidades de dosificación para matrices cementicias.

Material	Material			
	CHMC 1000° C (gr)	Cemento (gr)	Arena (gr)	Agua (ml)
Dosificación %				
30 CHM + 70 Cemento	75	175	660	150
20 CHM + 80 Cemento	50	200	660	150
10 CHM + 90 Cemento	25	225	660	150

Nota: El agua en un principio fue 117 ml por normativa, acotando que la pasta no era moldeable y se decide aumentar a 150 ml.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.



Figura 55. a) Pesaje de materialidad. b) Relleno de Matrices Cementicias con 32 golpes con el apisonador y en 3 capas. c) Desmolde de Matrices Cementicias a las 24 horas de formarse la misma. Fuente: Reibán, D. 2017. Elaborado por: Reibán, D. 2017.

3.10. Fraguado y rotura de las matrices cementicias.

Al ya tener en los moldes metálicos la mezcla con las dosificaciones antes mencionadas, se procede a realizar 3 matrices por cada fecha de fraguado y reemplazo de CHMC, ya que se debe sacar un promedio de las resistencias a compresión por medio de rotura; con ello se determinará el uso específico del material estudiado (CHM). Para las matrices cementicias con dosificación de reemplazo del 30, 20 y 10% de la adición de CHMC con el cemento, se procedió a la toma de resultados de carga aplicada y calculando sus valores con las ecuaciones 12, 13 y 14 señaladas en la Fase II; con la resistencia acorde a los días de fraguado, se realizó un porcentaje entre las tres matrices con la misma dosificación (Ver Ecu 15) resultando una tabla detallada de los valores de la resistencia a la compresión (MPa):

Tabla 25. Promedios de Resistencia a la compresión de las matrices cementicias.

Días de fraguado	30% CHMC + 70% Cemento		20% CHMC + 80% Cemento		10% CHMC + 90% Cemento		100% Cemento	
	Matriz N°	Carga Total (MPa)	Matriz N°	Carga Total (MPa)	Matriz N°	Carga Total (MPa)	Matriz N°	Carga Total (MPa)
7	1	9,49	7	11,92	13	15,25	1'	9,02
7	2	9,26	8	10,95	14	14,88	2'	8,89
7	3	10,25	9	12,76	15	19,36	3'	9,88
		9,67						9,26
								16,49
								11,88

(Continuación: Tabla 25 Promedios de Resistencia a la compresión de las matrices cementicias.)

14	25	18,53		31	16,03		19	18,75		37	16,34	
14	26	16,11	17,33	32	17,48	17,17	20	19,16	18,81	38	19,99	17,75
14	27	17,36		33	17,99		21	18,53		39	16,93	
28	4	9,97		10	15,95		16	21,76		40	19,60	
28	5	10,54	10,72	11	16,34	16,76	17	23,37	22,88	41	17,28	19,18
28	6	11,65		12	18,00		18	23,52		42	20,65	

Nota: Las operaciones se detallan en las Eq. 19 de la Fase II

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.



Figura 56. a) Matrices cementicias sumergidas en agua b) Armado de máquina Triaxial Accu Tek con placas y alzas de acero para roturas a la compresión (kN). c) Rompimiento de Matriz Cementicia a la compresión.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.



Figura 57. a) Matrices a 28 días. b) Matrices a 14 días. c) Matrices a 14 días.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

La interpretación de la Tabla 24 se resume en que, las matrices con reemplazo del 20% son las de más alta resistencia, con 17,33 MPa a los 7 días; 17,17 MPa a los 14 días y 18,81 MPa a los 28 días, favoreciendo a la creación de cementos con adiciones orgánicas sustentables.

3.11. Método de ensayo de la absorción de agua por capilaridad de matrices cementicias y de la tasa de absorción de agua inicial de las mismas.

La capilaridad es una propiedad física del agua que se adentra hacia el interior de una pieza con movimientos de un líquido (agua) rellenando los espacios porosos, resultando una tensión superficial llamada atracción capilar o efecto de capilaridad (Revista ARQHYS, 2017).

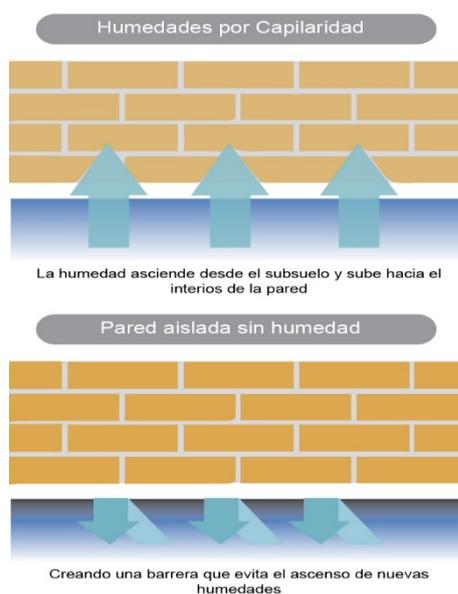


Figura 58. Esquema de capilaridad en pared con ladrillo y mortero. (antihumedades.es)
Fuente: Reibán, D. 2017.
Elaborado por: Reibán, D. 2017.

En la ruptura capilar se observa los espacios entre dos superficies, evitando que la humedad pase cuando el material no posee una base con impermeabilizantes (Ver Fig. 58). Para dicho ensayo se ha basado en Norma Española UNE-EN 772-11 Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería Parte 11: Determinación de la absorción de agua por capilaridad, misma que permite la medición del coeficiente de absorción de agua por capilaridad de bloques de mortero y la tasa de absorción inicial de agua de los mismos; para las matrices se sigue la normativa ASTM-C109, secándolas al ambiente o con ayuda de una estufa; para el procedimiento de capilaridad se debe medir las caras de las matrices cementicias hasta calcular la superficie bruta A_s .

Con el cronometro se toma el tiempo que menciona la Norma Europea prEN 771-3 (10 min con una tolerancia de $\pm 0,2$ min), el proceso dura hasta que se no se observe aumento de masa. Para los cálculos tenemos lo siguiente:

Nomenclatura:

$m_{seco,s}$ = masa de la matriz después del sacado (gr).

m_{sos} = masa de la matriz después de la inmersión durante un t (gr).

A_s = superficie bruta de la cara de probeta sumergida en el agua en mm².

$C_{w,3}$ = coeficiente de absorción del agua por capilaridad de la matriz [g/(m²xmin)]^{0,5}.

Fórmula:

$$C_{w,3} = \frac{m_{sos} - m_{seco,5}}{A_s \sqrt{t_{s0}}} \times 10^6 \left[\frac{g}{m^2 \times s^{0,5}} \right] \quad (\text{Ecu. 16})$$

Así tenemos la siguiente tabla de capilaridad:

Tabla 26. Resultados de medición de la capilaridad en las matrices cementicias.

Matriz N°	mseco,s	Wt1	Wt2	Wt3	Wt4	msos	As	Cw,3
28	270,32	283,91	286,41	289,72	290,58	290,98	2525,00	334,04
29	269,45	280,73	285,38	287,51	288,41	288,71	2565,40	306,50
30	266,94	277,49	280,58	281,53	282,43	282,47	2545,20	249,10
34	269,19	278,17	281,92	282,79	284,83	284,91	2719,20	236,01
35	267,84	276,49	279,41	280,71	281,59	281,70	2678,00	211,29
36	266,91	273,74	277,59	278,48	279,46	280,16	2730,00	198,14

(Continuación: Tabla 26 Promedios de Resistencia a la compresión de las matrices cementicias.)

22	271,38	280,21	284,21	285,52	286,24	286,37	2601,00	235,28
23	270,71	279,31	282,41	282,93	284,26	284,92	2601,00	223,04
24	266,91	274,93	277,94	279,65	279,76	279,81	2601,00	202,48
43	271,89	273,56	282,43	284,56	285,23	285,67	2613,76	215,23
44	270,56	274,45	281,34	287,34	288,76	289,45	2652,00	290,79
45	273,45	281,23	285,02	289,15	290,33	290,81	2575,50	275,18

Nota: para el t_{so} se utilizó 600 s (10 min). De la matriz 28 a la 31 se ha reemplazado el 30% de cemento con CHMC; de la 34 a la 36 el 20% de cemento con CHMC; de la 22 a la 24 se reemplazó el 10% de cemento con CHMC; y de la 43 a la 45 se ha mantenido el 100% de cemento con la finalidad de realizar comparativas.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

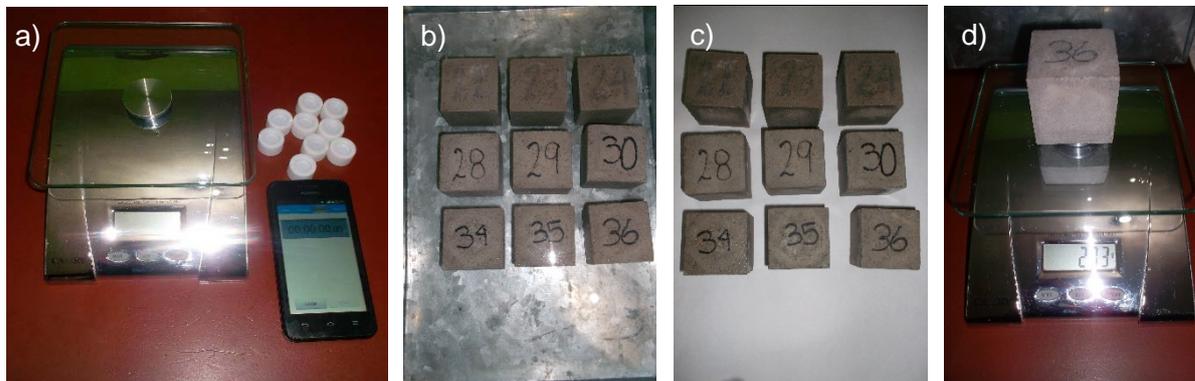


Figura 59. a) Balanza, cronómetro y apoyos para sumergir las matrices en agua. b) Matrices sumergidas en agua por 10 min. c) Secado de matrices para ser pesadas. d) Pesaje de matrices por medio de balanza.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Mediante la tabulación de la Tabla 25, se deduce que la porosidad abierta, accesible al agua, es baja, ya que sus porcentajes oscilan entre el 4,83% y el 7,64% por lo tanto, la absorción capilar depende de la porosidad del material; el coeficiente de penetración capilar (altura ascendida por unidad de tiempo) va en aumento si aumenta el tamaño del poro, es decir, mientras los poros sean grandes, el agua circula más deprisa que en los poros pequeños.

Para la medición de la porosidad se tiene la siguiente tabla, es decir, se acotará el valor del aumento de peso de la matriz introducida al agua:

Tabla 27. Medición de la porosidad en matrices cementicias.

Matriz	Peso-Secco (g)	Peso-Saturado (g)	Aumento de peso (g)	Porosidad (%)
M28	270,32	290,58	20,26	7,49
M34	269,19	284,83	15,64	5,81
M22	271,38	286,24	14,86	5,48
M43	271,89	285,23	13,34	4,91

Nota: M28 corresponde a la matriz con 30% de reemplazo de CH; M34 con el 20% de reemplazo de CH; M22 al 10% de reemplazo de CH; y M43 es una matriz 100% de cemento.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

La lectura de la Tabla 26 se define en que la porosidad aceptable se encuentra en la matriz cementicia con el 10% de reemplazo ya que al compararla con la matriz de cemento puro los valores se diferencian por gramos, es decir, los poros de CH al ser mezclado con el cemento son de menor dimensión.

Finalmente se deduce que la absorción del agua es mínima, ayudando a mantener la resistencia del material y a no sufrir humedades graves dentro del mismo.

3.12. Método de granulometría para la CH calcinada a 1000° C.

Con la obtención de la CH pulverizada deshidratada, se procede a realizar la medición granulométrica de dicha adición mediante la utilización de la norma ASTM-C 136-84 Standard Method for sieve analysis of fine and coarse aggregates, en tal caso se utilizará el Equipo Tamizador modelo 45200 Retsch As 200 y los tamices marca Retsch Gmbtt con la numeración de tamiz N° 10, 18, 35, 60, 120, 200, 230, 325, 400 y el fondo. La tabla de cálculo se detalla a continuación:

Tabla 28. Método granulométrico de la CHPD.

Peso inicial de CHPD			
W CHPD a tamizar		151,38 g.	
Granulometría serie fina			
N° Tamiz	Grosor	W Tamiz (g)	Wt + Wch (g)
10	2 mm	331,39	331,59
18	1 mm	288,49	288,96
35	500 µp	315,04	317,05
60	250 µp	238,69	244,94
120	125 µp	280,92	294,15
200	75 µp	266,07	359,9
230	63 µp	279,94	296,54
325	45 µp	218,08	223,14
400	38 µp	265,04	270,66
fondo	-	391,03	398,19
∑ total	-	2874,69	3025,12 g
Comparativa	-	3025,12 - 2874,69 =	150,43 g

Nota: El tamizaje se realiza en µp ya que se encuentra pulverizado y la finalidad del ensayo es conocer su grosor para así poder definir su utilidad.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

La curva granulométrica corta en el tamiz N° 200 que corresponde a 75 μ m, es decir, la CHPD es bastante fina y volátil, es por eso que los valores en pérdida de la materia corresponden a 0,95 g de 151,38 g inicialmente.

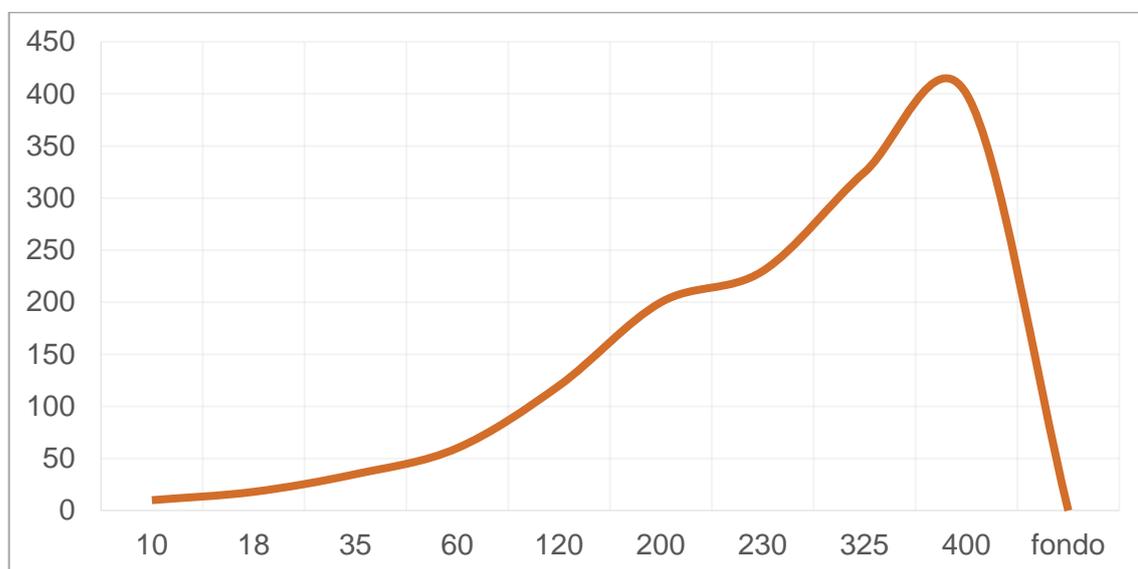


Figura 60. Curva granulométrica de la CHPD mediante tamizaje.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

CAPITULO CUATRO.

**DISCUSIÓN DE RESULTADOS + RECOMENDACIONES + FUTURAS
CONTRIBUCIONES.**

Campo de estudio.

PALABRAS CLAVES:

Conclusiones, contribución, invención, nuevos materiales, recomendaciones.

Finalmente en el Capítulo Cuatro, se tiene las conclusiones y recomendaciones que se ha logrado establecer mediante todos los procesos investigativos, prácticos y teóricos de la creación de matrices cementicias con adición de la CHMC, ya que desde un inicio se aclaró que es un material con un alto porcentaje de CaO, mismo que es indispensable para la creación del cemento; dicho material se ha logrado estudiarlo a profundidad y mediante ensayos demostrar su resistencia.

Considerando que es un material orgánico reciclado, se procederá a mencionar las ventajas y desventajas que presenta el mismo al momento de ser procesado (calcinado) y el avance tecnológico que se ha logrado obtener. Cabe destacar que se puede seguir con el estudio y caracterización de nuevos materiales con adición de la CHM hacia futuras investigaciones y ensayos constructivos.

CONCLUSIONES.

La relación entre los distintos procesos experimentales realizados y la comparativa entre los cementos orgánicos y los cementos comunes, han ayudado a culminar la presente investigación favorablemente, obteniendo varias relaciones y discusiones de los datos obtenidos.

A manera general se aprecia la creación de un nuevo material orgánico que desempeña la función de ser un componente reemplazante dentro del porcentaje del cemento, cumpliendo la hipótesis de que se logró crear un material que sirva de aditivo orgánico a partir de la CHPD conjuntamente con la disminución de la explotación de canteras de cal, ya que es una CAL VIVA que al ser hidratada se transforma en un componente idóneo para la formación industrial del cemento.

Respecto a los distintos tipos de CH estudiadas se tiene como conclusión final referente al porcentaje de componentes químicos mediante Eflorescencia de Rayos X en condiciones crudas, lo siguiente:

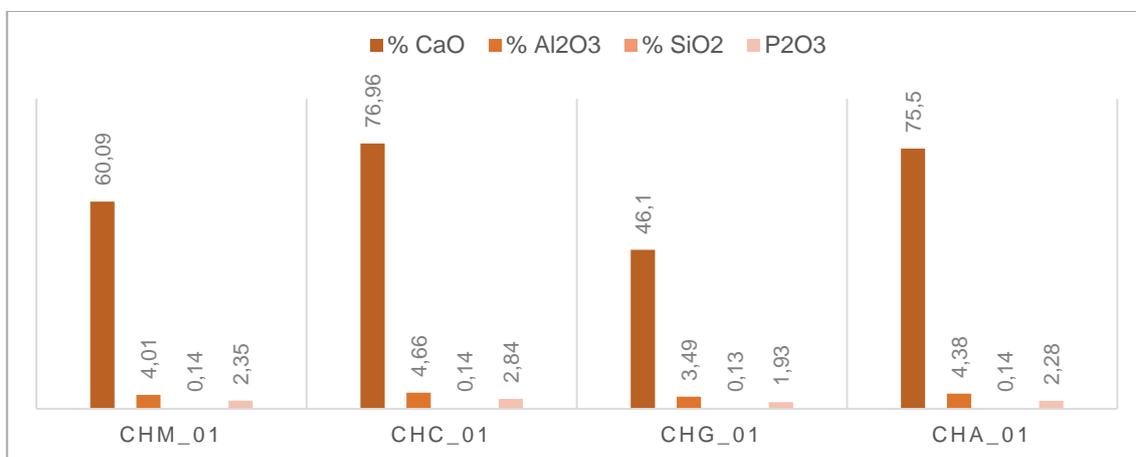


Figura 61. Conclusión de compuestos químicos en cascarones crudos. Nomenclatura: CHM_01: CH marrón de gallina; CHC_01: CH criollo de gallina; CHG_01: CH de ganso y CHA_01: CH de avestruz.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Cabe recalcar que la CH más óptima y con mayor porcentaje de CaO es la cáscara de huevo criollo y de avestruz, pero si se utilizarían en forma cruda, teniendo porcentajes orgánicos que afectarían a largo plazo la resistencia y consistencia del mortero, dejando porosidades dentro del material.

Iniciando las calcinaciones de las CH hasta alcanzar una temperatura de 1000° C y dejándolos por una hora dentro del horno eléctrico para luego medir los compuestos químicos de la CH calcinada mediante el uso de la Pistola de Eflorescencia de Rayos X se tiene que:

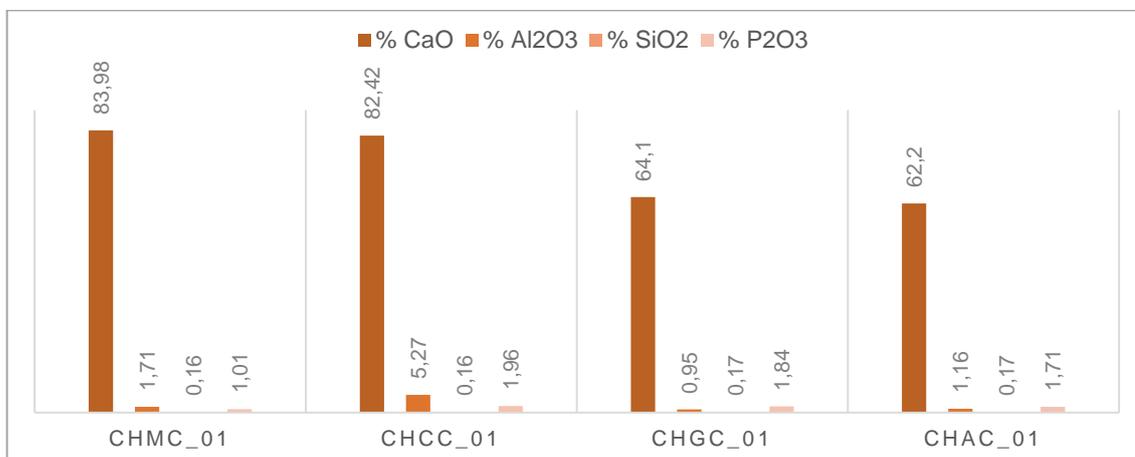


Figura 62. Conclusión de compuestos químicos en cascarones calcinados. Nomenclatura: CHMC_01: CH marrón de gallina; CHCC_01: CH criollo de gallina; CHGC_01: CH de ganso y CHAC_01: CH de avestruz.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

En cambio, al momento de perder sus componentes orgánicos mediante la calcinación, se observa que la mejor CH es la de color marrón de gallina con un 83,98% de CaO, también se convierte en cal viva al momento de hidratarse o en contacto con la humedad, esta crece y se desprende su calor.

Referente a la pérdida de masa al momento de ser calcinada a diferentes temperaturas (450, 700 y 1000° C) la CH se tiene que:

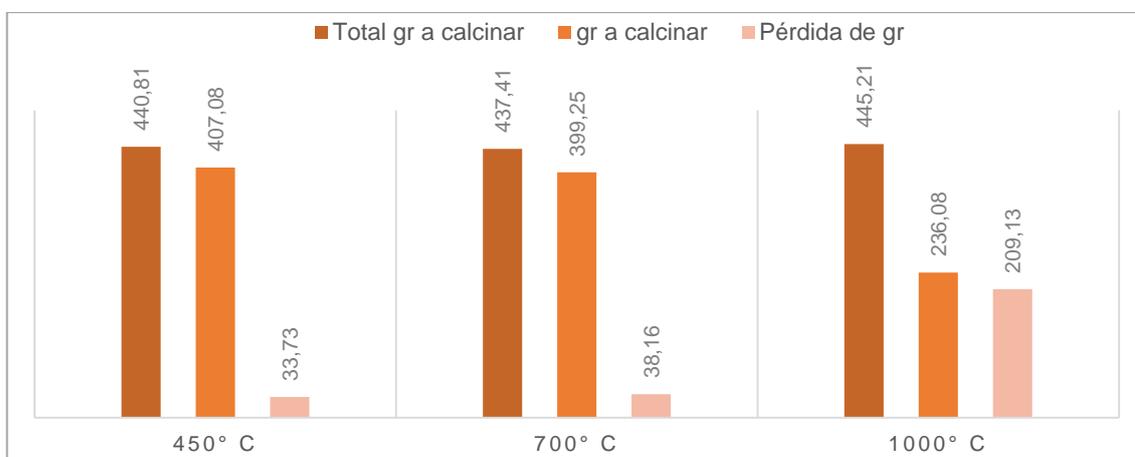


Figura 63. Conclusión de pérdida de la materia al momento de ser calcinada a tres temperaturas.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Al hacer una comparativa de la temperatura correcta para un conglomerante de buena calidad, se procede a la calcinación de CH a 450, 700 y 1000° C para luego realizar una medición de los componentes químicos mediante la pistola de Eflorescencia de Rayos X en donde se obtuvo los siguientes resultados, los cuales sirvieron para argumentar el uso de la CHM a 1000° C, se concluye que:

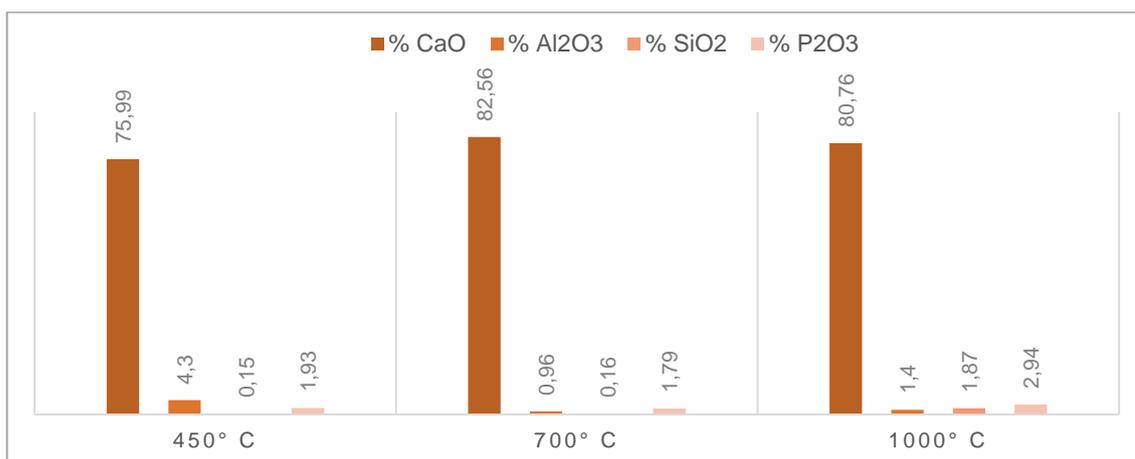


Figura 64. Medición de compuestos químicos a diferentes temperaturas de calcinación.
 Fuente: Reibán, D. 2017.
 Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Para la Fase II que se trataba de realizar un promedio de la resistencia a la compresión mediante el método de rotura, la norma indica que debe llegar a los 13,3 MPa de resistencia, las matrices cementicias llegaron a la medición de:

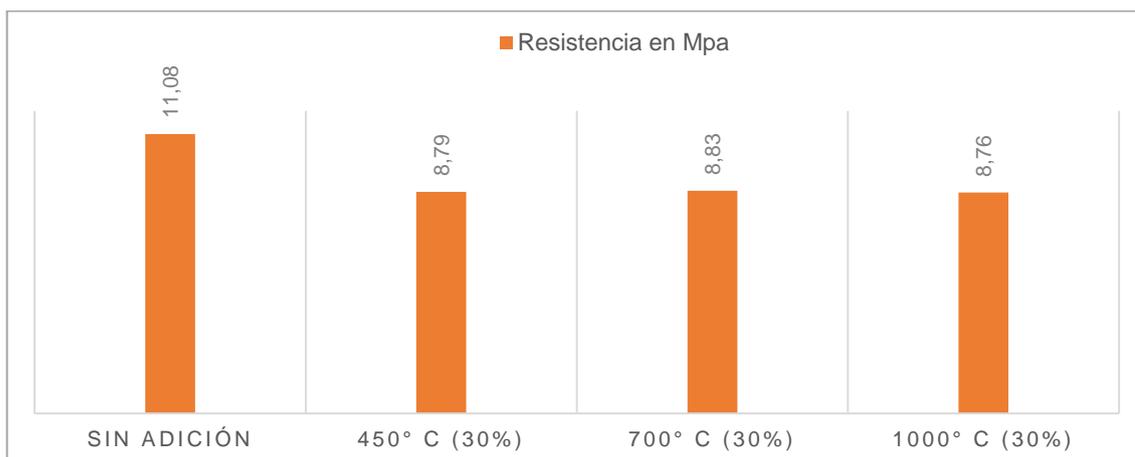


Figura 65. Promedio de resistencia a la compresión de matrices cementicias.
 Fuente: Reibán, D. 2017.
 Elaborado por: Reibán, D. 2017.

En la Fase III se realiza las matrices cementicias con la CHMC a 1000° C, ya que es la más recomendable y la que no posee elementos orgánicos, sino el 80,76% de CaO más otros

compuestos químicos menores que no afectarían a largo plazo; se procede a reemplazar el cemento por la CHMC en cantidades del 30% de CHMC + 70% de cemento; 20% de CHMC + 80% de cemento; 10% de CHMC + 90% de cemento y con el 100% de cemento; luego se sumergieron en agua para empezar el proceso de fraguado a 7,14 y 28 días; los promedios del ensayo a la compresión en la Máquina Triaxial de las matrices se concluyen en las siguientes barras, indicando que la unidad de medida es en MPa:

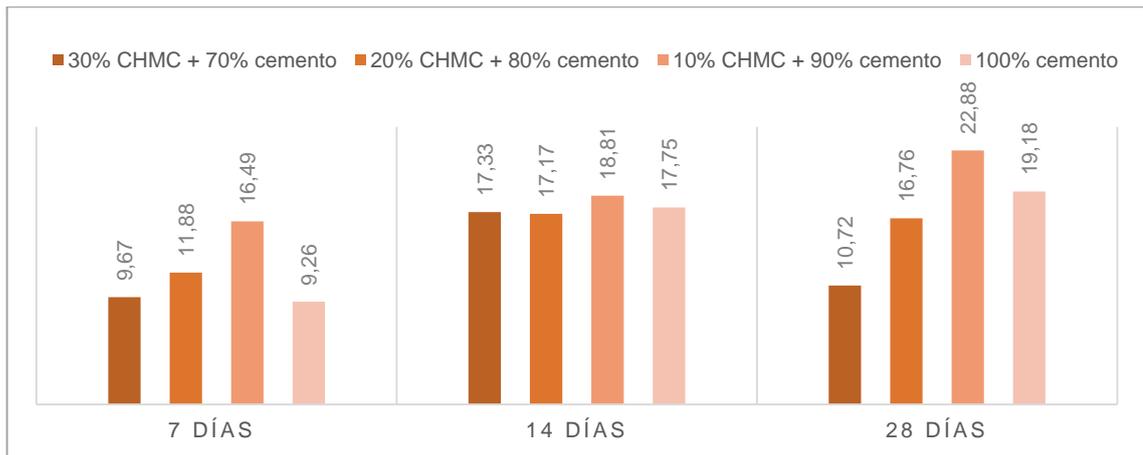


Figura 66. Cuadro de resistencias finales a diferente dosificación de CHMC.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Mediante las barras se ha logrado comprobar la hipótesis planteada, demostrando la factibilidad que tiene el conglomerante de CHMC dentro de la construcción en arquitectura.

La comparativa de los porcentajes de componentes entre la CHMC y la cal viva se realizó utilizando el método de eflorescencia mediante rayos X y se detalla en la siguiente tabla:

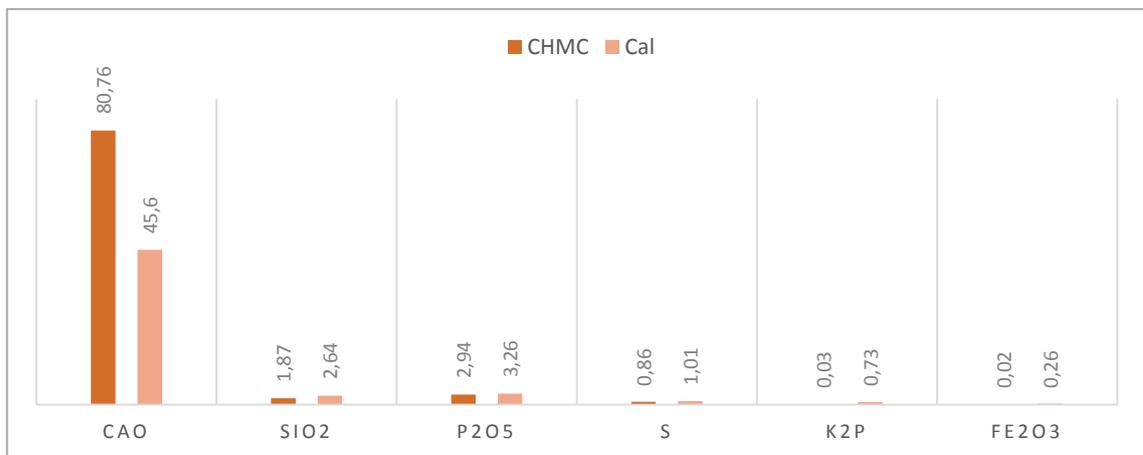


Figura 67. Comparativa de porcentajes de componentes de CHMC y Cal mediante eflorescencia de rayos X.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Con ello se demuestra que funciona como dicho material, ya que tienen los mismos componentes pero en porcentajes diferentes, siendo aptos para el relleno de los huecos que deja el cemento y protegiendo de las variaciones de temperatura que muchas veces producen agrietamientos al material, se debe mencionar que en valores de fracción la diferencia de porcentaje variable de CaO oscila entre el 30% entre la CHMC y la cal viva.

Respecto al método de absorción, en las distintas proporciones de reemplazo de CHMC se obtiene que existe entre el 4,83% y el 7,64% de absorción, demostrando que el material logra cumplir con el comportamiento del concreto para que pueda soportar heladas que debe tener una absorción no mayor al 5%, ya que el material puede correr peligro de deterioro; al comparar con los porcentajes obtenidos se deduce que al reemplazar el 20 y 10% de cemento por CHMC se logra mantener el material en buenas condiciones.

➤ **Desenlaces finales.**

Se concluye que luego de dichos procesos experimentales, la utilización de la cáscara de huevo marrón de gallina es apta para sumergirse en el campo de la construcción, ya que se comprobó la hipótesis planteada, los siguientes postulados son el resumen ejecutivo de los análisis de la investigación:

La cáscara de huevo al ser un material orgánico y de consumo diario, se comprobó que posee una mayor cantidad de CaO luego de ser calcinada, con un porcentaje del 84%, se estaría aprovechando casi el 6% del mismo, ya que el huevo posee un 10% de la cáscara de huevo sin restar la masa perdida por calcinación, calculando que si el peso normal de un huevo es de 50 gr, reduce considerablemente la indiscriminada explotación de yacimientos y canteras de cal.

Se debe mencionar que en un inicio se realizaron calcinaciones de cascarones de huevo de gallina marrón, gallina criolla, ganso y avestruz por lo que otro cascarón propicio y que se podría realizar un estudio exhaustivo es respecto a la cáscara de huevo de avestruz ya que posee un 75% aprox. de CaO sin calcinar y la cáscara de huevo de gallina criolla al ser calcinada posee un 82% aprox. del mismo componente; se debe considerar la cantidad de material acorde a la localidad.

Al momento de calcinar la CHM a 1000° C se elimina todos los compuestos orgánicos perjudiciales para la resistencia de un material ya que se incrementa la porosidad del mismo a un período de tiempo largo y no serviría la creación del material, es por eso que es

recomendable calcinarlo a dicha temperatura. Aunque la pérdida de la materia es aproximadamente la mitad luego de ser calcinada, se aprovecha su CaO para la creación de un cemento como un conglomerante de material orgánico calcinado.

Se ha logrado la creación de una Cal Viva que se activa mediante la hidratación o la humedad; este material es óptimo para utilizarlo como pintura para zócalos, su color blanquecino se adhiere a superficies porosas y al soportar temperaturas de 1000° C lo convierten en un material propicio para recubrimientos de elementos que requieran protección contra el fuego como fachadas de adobe, bareque o tapial.

El objetivo principal de este Trabajo de Titulación, era el de determinar experimental las propiedades físicas, químicas y mecánicas de la adición de la CHMC dentro de las matrices cementicias y realizar una valoración de los usos dentro del ámbito de la construcción arquitectónica, así se deduce que:

Dicho conglomerante sirve como un aditivo para el mortero, siendo útil para las juntas de mamposterías de alta resistencia como piedra, tabiques o bloques de concreto, gracias a su alta impermeabilidad y resistencia alcanzada en la dosificación del 20% de CHMC + 80% cemento; teniendo una proporción de cemento: arena por volumen de 1: 2.

Se deduce que la comparativa entre la resistencia de las matrices cementicias y el diferente reemplazo de porcentajes de CHMC en el cemento es la siguiente:

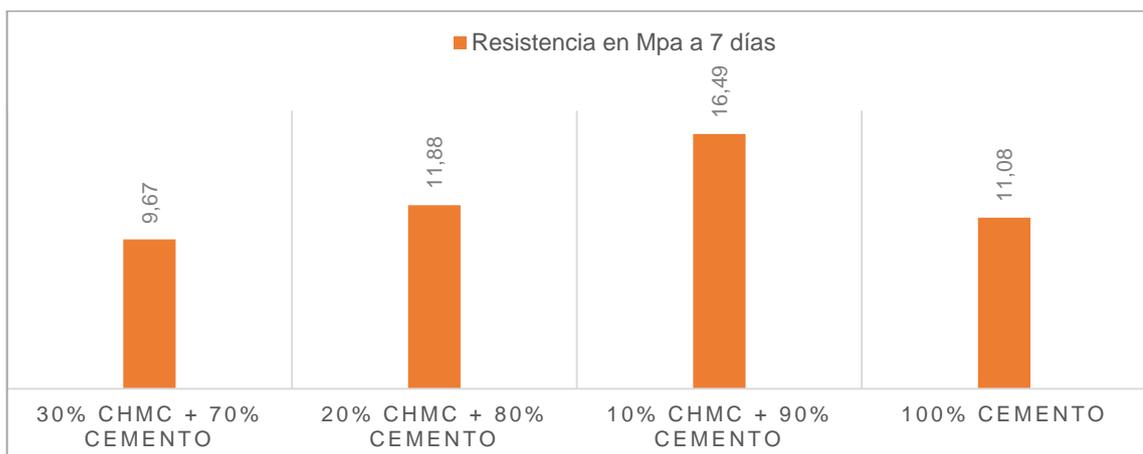


Figura 68. Conclusión comparativa de resistencias de las matrices cementicias a 7 días.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

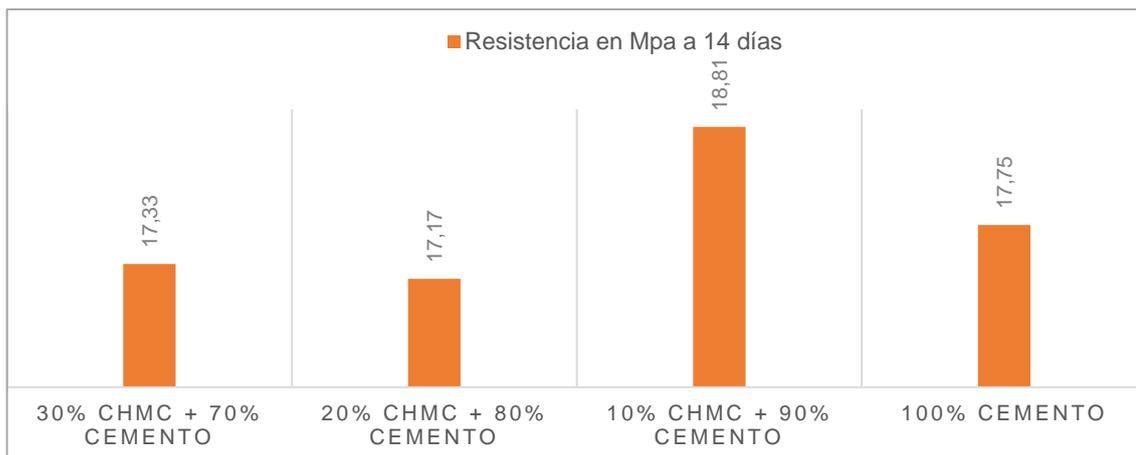


Figura 69. Conclusión comparativa de resistencias de las matrices cementicias a 14 días.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

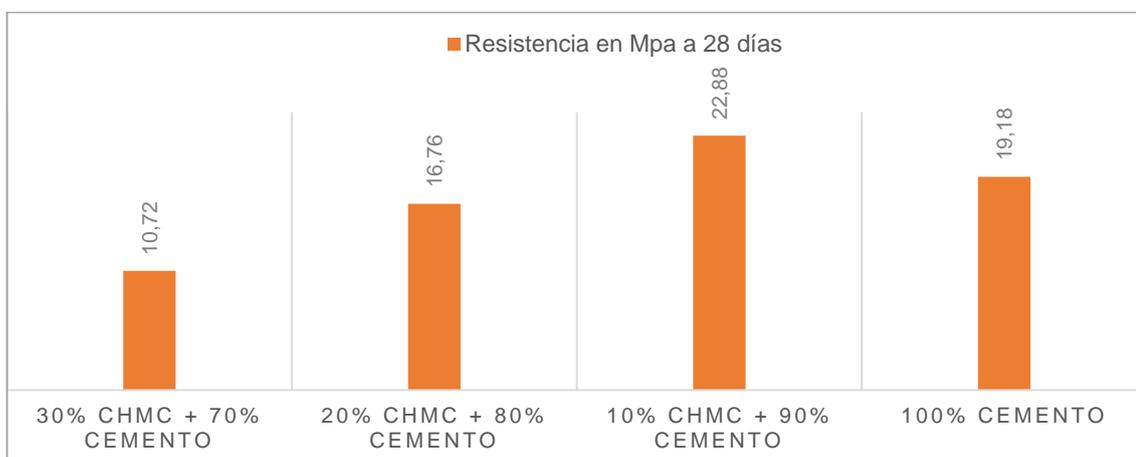


Figura 70. Conclusión comparativa de resistencias de las matrices cementicias a 28 días.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Respecto al objetivo específico de proponer una dosificación de mezcla para la elaboración de matrices cementicias de mortero con adición de CHMC, se ha logrado determinar las siguientes cantidades haciendo énfasis en la relación Agua/Cemento siguiente:

Dosificación según la norma ASTM-C 109.

1	;	2,75	;	0,485
Cemento		Arena		Agua

Y las cantidades específicas en gr se detallan a continuación:

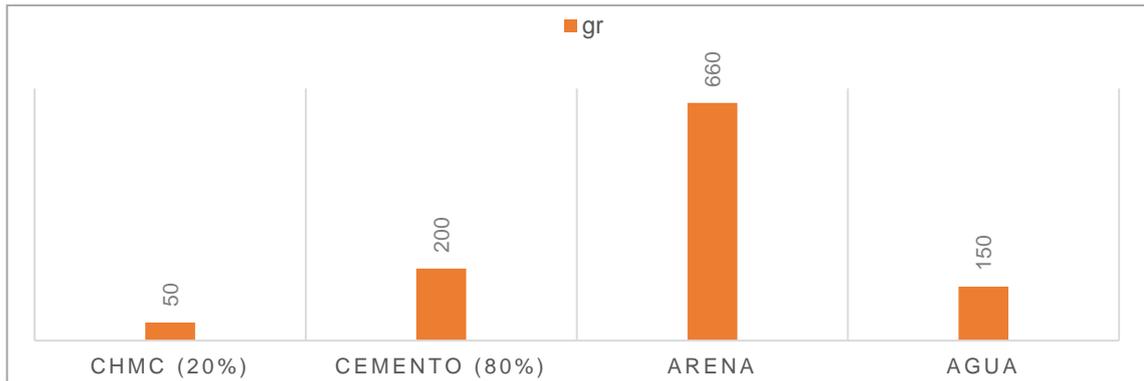


Figura 71. Propuesta de dosificación para matrices cementicias con 20% de CHMC + 80% de cemento.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Referente a la conclusión de la absorción mediante la capilaridad, su importancia radica en la dimensión de los poros que posee el material, ya que la penetración capilar se mantiene con un coeficiente bajo, resulta ser un conglomerante con una buena comunicación de la porosidad o red de fisuras, ayudando a la resistencia del mismo y a que no exista deformaciones mayores; los porcentajes se detallan a continuación:

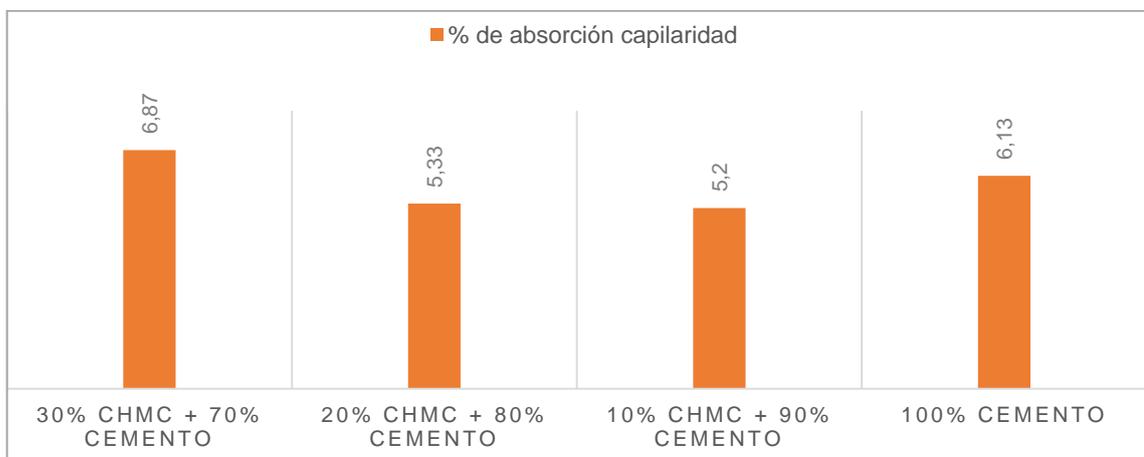


Figura 72. Conclusión de promedios de matrices cementicias expuestas a método de absorción por medio de capilaridad.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Dichos porcentajes se calcularon por medio del porcentaje total de las tres matrices cementicias a diferente dosificación, ya que se debe de obtener una media entre dichas muestras para un exhaustivo análisis porcentual de la cantidad de agua absorbida por las mismas.

El aporte de la cal hacia los morteros radica en la mejora ambiental y la eficiencia en evitar mohos y otros patógenos, ayudando a la obtención de micro poros que tienen un aspecto final de yeso.

Referente a la porosidad del material se tiene la siguiente gráfica:

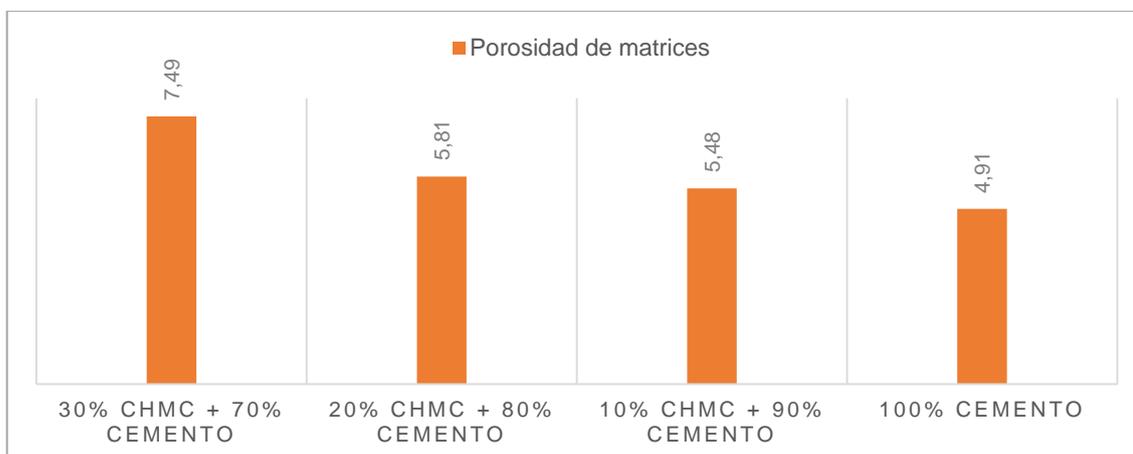


Figura 73. Porosidad de las matrices cementicias.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Los resultados de mayor porosidad son de las matrices con el 30%, lógicamente esto se debe a que el material se presenta en mayor cantidad, por tanto tiende a absorber mayor cantidad de agua, dejando más huecos entre el mismo.

Los materiales muy porosos (alto índice de absorción) tienen a facilitar la entrada de sales desde su superficie hasta su interior, producidas por eflorescencias, mismas que se encuentran en las disoluciones de las sales del ladrillo, cemento y los áridos, llamándolas carbonataciones cálcicas; como el material obtenido es una cal que al hidratarse con el cemento desprenden CO_2 , se forman un carbonato insoluble en la superficie especialmente de revocos y revestimientos de mortero, pero, un punto importante es que las pruebas realizadas de porosidad se encuentran entre el 7 y 4% del 5% que por normativa deben cumplir, se deduce que el reemplazo del 20 y 10% de cemento por CHMC sería óptimo para las utilidades antes mencionadas.

➤ **Aplicaciones de la CHMC en las construcciones arquitectónicas.**

Como se indicó en los desenlaces finales, el material obtenido se lo conceptualiza como un conglomerante; la cal en los morteros ayuda a lograr una gran plasticidad, flexibilidad, untuosidad y una aplicación muy fácil, pero de una resistencia e impermeabilidad menor al de

un mortero de cemento; la proporción de cal-arena más recomendable para revoques es de 1:2 y para mampostería simple es de 1:3 o de 1:4; si dichas proporciones son aumentadas, el mortero perderá ductilidad y trabajabilidad.

Para la clasificación del conglomerante obtenido se tiene las siguientes tabulaciones:

Tabla 29. Empleo y uso del conglomerante CHMC según su resistencia.

Mortero de cemento + CHMC + arena					
Tipo de mortero	Proporción en volumen			Empleo preferente	Resistencia (MPa)
	Cemento	CHMC	Arena		
Pobres	1	-	2,75	Bóvedas, Limpieza, enlucidos.	15 a 20
	0,8	0,2	2,75	Juntas de mampostería de ladrillo o bloque liviano	

Nota: se toma estas relaciones en base a los tipos y los usos que utilizan para morteros de cemento y cal.

Fuente: Reibán, D. 2017.

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

El material desarrollado se lo puede utilizar tanto como conglomerante o como un material unitario, sus propiedades químicas lo definen como una cal viva que puede ser aplicado en los siguientes aspectos:

- **Lechadas, pinturas y decoración:**

En superficies con una mala adherencia se aplicaría varias capas de lechada de cal, esto es aconsejable para superficies arenosas en zócalos, contrarresta la corrosión y suciedad en fachadas de adobe, bareque o tapial; su color blanquecino es apta para ser diluida en agua y mezclada con pigmentos aptos para la cal.

Es aconsejable añadir a dicha pintura o lechada un estabilizante natural que aumente su resistencia al tacto, ya que se al secarse se podría percibir un desprendimiento del color al momento de tocarla.

Si se la prefiere utilizar como pintura, lo aconsejable es colocarla en interiores, ya que la cal es sensible a las variaciones climáticas como el sol, viento, humedad y en

algunos casos el hielo, como se mencionó en las eflorescencias, pero no se descarta la aplicación en exteriores teniendo un alto grado de mantenimiento y conservación.

Respecto al ámbito decorativo se recomienda la utilización en piezas verticales y la fijación de piezas de cerámica o piedra natural, los morteros con base de cal tienden a lograr una resistencia mecánica alta así como una buena adherencia; los acabados de dichas piezas se podrían complementar con una lechada de cal grasa.

- **Estabilizante de cal en contacto con la tierra:**

En la construcción de adobe o tapial se incrementa la resistencia mecánica así como la resistencia de absorción (agua); en suelos con un 40% de arcilla, la cal estabiliza dicho material, proporcionando endurecimiento, evita el secado rápido utilizando el 5% del conglomerante.

- **Resistencia al fuego:**

El material tiene una alta resistencia al fuego y a altas temperaturas por su proceso de calcinación a 1000° C, al salir del horno se encuentra en estado granulométrico, en relación a materiales químicos que se pierden y consumen completamente; así mismo se destaca la utilidad propicia para climas cálidos o secos, ya que posee gran poder de absorción de agua, es decir, mantiene húmedo el concreto; esta cal tiene el efecto de curar al concreto internamente.

- **Revestimientos exteriores e interiores:**

Al adicionarse al cemento, tiene posibilidad de ser utilizado en las juntas de mampostería de paredes de piedra, tabiquería o bloques de concreto; gracias a su plasticidad, evita la segregación de los materiales.

Para revestimientos interiores se considera una base de mortero de cal hidráulica y un acabado fino a base de mortero de cal viva o el conglomerante obtenido (en varias capas) que puede ir con o sin pigmentos naturales, dando como resultado un estuco de cal.

Su finura ayuda a lograr una trabajabilidad muy buena que se puede potenciar con ayuda de una cal grasa en pasta si se deseara acabados finales, esto sucede gracias a la porosidad que se complementa con los vapores de agua de una superficie al momento de tener un aislamiento térmico, siendo capaz de endurecerse incluso bajo el agua, sin tener presencia de aire.

- **Colados superficiales:**

Es recomendable para la elaboración de colados con superficies considerablemente lisas y con colores más claros, al igual que sirve como protección para el acero estructural al neutralizar los ácidos que producen corrosión al mismo.

La CHMC tiene amplios campos de futuros análisis y experimentos, ya que además de contener CaO, también existen compuestos químicos que se podrían utilizar y potencializar para nuevos materiales dentro de la construcción.

RECOMENDACIONES.

- Al finalizar el proceso de calcinación, la CHC se deberá mantener en bolsas plásticas cerradas y sin humedad, ya que desatará la reacción química de la cal viva
- Para la construcción de las matrices cementicias se recomienda saber el lugar exacto de donde provienen los áridos, ya que dichos datos servirán en la metodología de la medición de granulometría de la arena o grava; también es recomendable el manejo acorde y responsable de los aparatos eléctricos y manuales de los laboratorios, ya que si no se realiza los ensayos conforme a la normativa, se podría estar trabajando con resultados erróneos.
- Referente al método de absorción por medio de la capilaridad, es importante que las matrices cementicias se encuentren secas en su totalidad, dejándolas 28 días de secado o mediante la utilización de una estufa; de no hacerlo los ensayos perderán valor y porcentaje, ya que en el centro de la matriz es en donde más se concentra la humedad.

➤ **Futuras contribuciones.**

Como se mencionó en los postulados anteriores, dicha cal tiene muchas versatilidades, ya que se podría aglutinar con cenizas orgánicas e inorgánicas que no posean CaO pero si un porcentaje mayor de otro componente primordial para la creación del cemento.

Se puede plantear la creación de una pintura resistente al fuego y aplicarlo en madera, adobe, bareque o tapial, ya que es un material con un alto índice de soportar incendios por su materialidad porosa y blanda; ayudaría a que las viviendas construidas totalmente en madera en ciertas regiones, tengan la posibilidad de impermeabilizarlas contra el fuego, así tendrían mayor seguridad y protección.

Al colocarla a la CHMC como un revestimiento de un zócalo, se reduciría los costos de materialidad invertida, ya que este material se lo puede realizar mediante la recolección de la materia prima dentro de los hogares.

BILIOGRAFÍA.

LIBROS.

1. Aitcin, P. (1995). *State - of -the -Art Report on Polymer - Modified Concrete: ACI 548.3R – 95*.
2. Aitcin, P. (2007). *High Performance Concrete Demystified*. Québec, Canada: Taylor & Francis.
3. ASTM C 136 - 84. (s.f.). *Standard Method for sieve analysis of fine and coarse aggregates*.
4. ASTM C 33-90. (s.f.). *Standard specification for concrete aggregates*.
5. Brod, F. (1999). *Construção e teste de um secador vibro-fluidizado*. Faculdade de Engenharia Agrícola, Unicamp, Campinas: Mestrado.
6. Calleja, J. (1983). *Adiciones y cementos con adiciones*. España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
7. Cardona Castro, D. F. (2013). *Caracterización de la ceniza de Hojas de bambú y su influencia como material puzolánico en el concreto*. Medellín.
8. Dreyse Ortuzar, M. (2016). *Factibilidad de usos de cenizas de lodos residuales provenientes de la fabricación de papel como potencial reemplazante parcial de cemento en la fabricación de hormigones*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
9. Gaspar Tebar. (2010). *Normalización del cemento. Tiempo de fraguado: algunos comentarios sobre el método de ensayo*. España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
10. González Días, E., & Alloza Moreno, A. (2008). *Materiales de construcción. Sesiones de Prácticas*. San Cristóbal de la Laguna, España: Catedrática del Dpto. de Ingeniería de la Construcción. Universidad de La Laguna.
11. Gutiérrez de López, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Manizales, Colombia: Centro de Publicaciones, Universidad Nacional de Colombia.
12. Hattori, k. (1981). *Experiences with Mighty Superplasticizer in Japan*. ACI SP-62, pp.37-66.
13. Larco, S. (2016). *Cenizas de bagazos de caña de azúcar*. Quito.
14. Ludovico, A., & Hideo, N. (2014). *Compuesto de cáscara de huevo y mortero de cemento portland*. San Pablo, Brasil: Universidad Estatal de Campinas.
15. Ma-tay, D. (2014). *Valorización de Cenizas de bagazo procedentes de honduras: Posibilidades de uso en matrices de cemento portland*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia.

16. Mtallib, M., & Rabiou, A. (2009). *Effects of eggshells ash (ESA) on the setting time of cement*. Kano: Department of Civil Engineering Bayero University.
17. NRMCA, N. (National Ready Mixed Concrete Association). *El concreto en la práctica ¿Qué, por qué y cómo?* 2010: NRMCA.
18. NTE INEN 696:2011 Áridos. (s.f.). *Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*.
19. Ossa M., M., & Jorquera S., H. (2015). *Cementos con cenizas volantes*. España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
20. Pliya, P., & Cree, D. (2015). *Limestone derived eggshell powder as a replacement in Portland cement*. ScienceDirect.
21. Quiteria, C. (2013). *Materias primas alternativas para el desarrollo de nuevos cementos: activación alcalina de vidrios silicoaluminos*. Madrid: Instituto de Ciencias de la construcción Eduardo Torroja.
22. Sandermann, W., Preusser, H., & Schiens, W. (1960). *The effect of wood extractives on the setting of cement-bonded wood materials*. Holzforschung.

REVISTAS.

23. Áridos, N. I. (s.f.). *Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*.
24. IETCC, I. (1984). *Materiales de construcción*. Madrid: Vol. 34. n.º 193.
25. Salazar, A. (2015). *Las puzolanas*.
26. Tucker, G. (1932). *Concrete and Hydraulic Cement, US patent 2, 141, 569*.
27. Vasconcelos, A. (2000). *Estrutura da natureza: um estudo da interface entre a biologia e engenharia*. São Paulo. p.111-114: Studio Nobel.
28. Vega, C. (2006). *Estructura y tecnología de la Construcción*. La Habana Cuba.

PÁGINAS WEB DE RELEVANCIA.

29. Abascal, J. (2016). *Desarrollo sostenible del cemento: Usos sostenibles de los recursos*. Obtenido de Oficemen: <https://www.oficemen.com>
30. Araneda, M. (01 de Agosto de 2015). *Huevos y derivados: Composición y propiedades*. Obtenido de Educación alimentaria: <http://www.edualimentaria.com/huevos-composicion-y-propiedades>
31. Castro, Y. (09 de Septiembre de 2014). *Ceniza de cascarilla de arroz*. Obtenido de Tecnología del hormigón.: <http://tecnologiadelhormigonhc.blogspot.com/>
32. Cementera, E. P. (s.f.). *Corporación Nacional de Cementos*. Obtenido de Unión Cementera Nacional, UCEM C.E.M.: <http://www.cemento.gob.ec>
33. Cemex. (2016). *Cemento*. Obtenido de Cemex: <http://www.cemex.com>

34. Choi, X. (2015). *Propiedades de la Cáscara de huevo*. Obtenido de Botánica Online: <http://www.botanical-online.com/cascaradehuevo propiedades.htm#>
35. Dazne, A. (13 de Abril de 2012). *Producir cemento sin emisiones de CO2*. Obtenido de ARQuitectura Prefab: <http://blog.is-arquitectura.es>
36. FICEM. (s.f.). *Federación Interamericana del Cemento*. Obtenido de Planta de Cemento en la Región: <http://www.ficem.org>
37. Font, M. (2015). *Uso y propiedades de la Arcilla Patagónica*. Obtenido de Homeopatiafont: <http://www.homeopatiafont.com.ar/pedidos-de-medicamentos>
38. IECA. (2016). *Componentes y propiedades del cemento*. Obtenido de Instituto Español del Cemento y sus aplicaciones: <https://www.ieca.es>
39. International year of Crystallography. (2015). *La cáscara del huevo*. Obtenido de Cristales: https://cristales.fundaciondescubre.es/?page_id=987
40. Martínez, R. (12 de Septiembre de 2013). *Cenizas de madera: aplicaciones para fertilizar el suelo y proteger las plantas de enfermedades y plagas*. Obtenido de Flor de planta: <http://www.flordeplanta.com>
41. Mayta, J. (2014). *Influencia del aditivo superplastificante en el tiempo de fraguado, trabajabilidad y resistencia mecánica de concreto*. Obtenido de SlideShare: <http://es.slideshare.net>
42. Montes, F. (29 de Noviembre de 2013). *Concret con adición de cáscara de huevo*. Obtenido de Prezi: <https://prezi.com/j-tbc4ddx1ms/concreto-con-adicion-de-cascara-de-huevo/>
43. Press, E. (25 de Junio de 2015). *La composición química de la capa que envuelve a la cáscara de huevo influye en la contaminación por salmonela*. Obtenido de 20 Minutos: <http://www.20minutos.es>
44. Revista ARQHYS. (Junio de 2017). *Capilaridad y constucción*. Obtenido de ARQHYS.com: <http://www.arqhys.com/arquitectura/capilaridad-construccion.html>
45. Rhenman, T. (2012). *La cal a lo largo de la historia*. Obtenido de Lhoist: <http://www.lhoist.com/es/la-cal-lo-largo-de-la-historia>
46. Santiago, A. (02 de Diciembre de 2015). *Materiales y obras reañizadas*. Obtenido de Hormigón ecológico: <http://hormigonecologico100.blogspot.com>
47. Suner, A. (2016). *Evolución histórica del Cemento y del hormigón*. Obtenido de TimeRime: <http://timerime.com>
48. Twenergy . (18 de Enero de 2013). *NOVACEM: EL cemento ecológico*. Obtenido de Twenergy: <https://twenergy.com>

ANEXOS.

ANEXO UNO.

ANÁLISIS DE REFERENTE.

P. Pliya, D Cree: Polvo de cáscara de huevo derivado de la piedra caliza como sustituto en cemento portland.

Tomado de texto original: Limestone derived eggshell powder as a replacement in Portland cement mortar, (Pliya & Cree, 2015)

Objetivo:

Estudio del rendimiento del polvo de CH blanco y marrón, ambos molidos, y siendo reemplazos de la piedra caliza (PC) en morteros de cemento portland (CP).

- Reducción del uso de recursos naturales y la reutilización de materiales de desecho.
- El cemento portland tiene alto costo y emite dióxido de carbono CO₂ al momento de su fabricación que genera 1 tonelada de gases de efecto invernadero.
- El reemplazo parcial de materiales cementicios por residuos orgánicos como cenizas volantes, escorias de alto horno y humos de sílice, nace la idea de reemplazar un porcentaje de la PC por (CH) en polvo. El agua utilizada para lavar las CH puede ser reutilizada en bucles continuos, reduciendo un mínimo de agua y para el riego agrícola.
- Al remover la membrana interna de la CH se puede recuperar, procesar y purificar ya que contiene un 10% de valor de colágeno.

Tabla 30. Utilidades a la que fue expuesta la PC de CH.

Utilidades	El polvo de CH se utilizó como suplemento de la PC dentro del mortero de CP
	<i>Cemento portland (CP) convencional: <5% en peso de piedra caliza.</i>
	<i>Cemento portland-piedra caliza (CPP): <15% en peso de piedra caliza</i>
Utilizado como reemplazo parcial de PC o relleno en tres áreas:	<i>Relleno de hormigón autocompactante (RHA): >15% en peso de piedra caliza.</i>

Fuente: (Pliya & Cree, 2015)

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Evaluación:

- Se evaluaron cáscaras de huevo blancas y pardas³⁵ dentro del comportamiento mecánico, exponiéndolas a la compresión y flexión.
- Medición de resistencia en muestras de mortero.
- La CH de pollo contiene una forma muy pura de carbonato de calcio o piedra caliza llamada calcita (CaCO₃).
- El tiempo de evaluación de resistencia a la compresión y flexión a 7,14 y 28 días.

Tabla 31. Cantidades de materiales para la realización de la investigación.

Cantidades de materiales.	Se reemplazó en porcentajes de piedra caliza de 0%, 5%, 10%, 15% y 20% en peso (sustituyeron en el cemento portland).	
	La cantidad de desechos de CH es de aprox. 1 billón en Francia y 2,3 billones en Canadá.	
	1 billón de huevos produciría 6600 toneladas de polvo de PC.	
	Utilizando una mezcla de mortero con cemento portland CEM I 52,5 N con densidad de 3,13 kg/dm ³ y agregados finos de silicio estándar, arena CEN en 196-1 con densidad de 2,63 kg/dm ³ ; la mezcla fue vibrada en una mesa para una mejor compactación y remoción de aire atrapado, la proporción de agua/cemento fue de 0,5; fabricaron tres lotes de morteros:	<i>Mortero de referencia sin caliza (M).</i>
		<i>Mortero de referencia con relleno de piedra caliza normal o convencional / industrial (CN)</i>
	<i>Mortero con relleno de CH marrón con piedra caliza</i>	
	El reemplazo de cemento portland fue de 0%, 5%, 10%, 15%, y 20% en peso, en pequeños prismas de mortero de 40x40x160 mm ³ y desmoldadas en 24 horas, colocándolas en baño de agua durante 7, 14 y 28 días de curado.	

Fuente: (Pliya & Cree, 2015)
Elaborado por: Reibán, D. 2017.

³⁵ Pardo: es el color que se obtiene de la mezcla de rojo y verde, como el de la tierra; intermedio entre blanco y negro con tinte rojoamillento.

Referente a las características físicas y químicas que se presentaron en las CH marrón y blanco junto a la PC común, encontramos que:

Tabla 32. Cantidades de materiales para la realización de la investigación.

Características físicas y químicas del huevo.	El peso del huevo promedio es de 60 g, y vacío es el 11% en peso.
	Para la realización de las pruebas los CH se obtuvieron de dos lugares; las CH blancas de una fábrica que rompe huevos y se presentaron precompactados, semi-triturados en una bolsa de plástico de diez litros; los huevos marrones de un criadero local y llegaron en fundas de basura.

Fuente: (Pliya & Cree, 2015)

Elaborado por: Reibán, D. 2016.

Tabla 33. Características químicas y físicas de la piedra caliza comercial, marrón y banco, rellenos de piedra caliza de CH.

Propiedades	PC comercial	CH blanca	CH marrón
Características químicas			
Contenido de CaCO ₃ (%)	96.3	98.3 (±1.9)	97.8 (±1.4)
Cloruro (%)	0.002	0.058	0.033
Sulfato (%)	0.003	0.034	0.022
Azufre (%)	0.090	0.067	0.063
Materia orgánica (%)	0.040	1.3	3.2
Pérdida por la ignición ³⁶ (LOI) (g)	-	0.028	0.067
Tamaño de partícula (%)			
Partículas <2 mm	100	100	100
Partículas <0,125 mm	94	80	80
Partículas <0,063	83	65	65
Características físicas			
Blancura (m ² /kg)	435	367	307
Gravedad específica	2.7	2.5	2.5

Fuente: (Pliya & Cree, 2015)

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Se descubrió que la CH contiene principalmente *calcita* junto con pequeñas cantidades de membrana orgánica. Para lograr mejores resultados en el polvo de CH, se debe recomendar tomar en cuenta el tipo de cepa de gallina, raza, genética, edad, dieta nutricional y el estrés relacionado con la densidad de población.

³⁶ Ignición: Circunstancia de estar una materia en combustión o incandescencia.

Para la fase experimental se utilizó varios instrumentos que se detalla a continuación:

Tabla 34. Resultados finales de la investigación.

Resultados	Composición química.	% de calcita en los CH marrones: 98.3% y en los CH blancos un 97.8%.
		La trituración es suficiente para producir calcita relativamente pura, con mayor cloruro, sulfato, azufre y mat. Orgánica por el tipo de alimentación.
		El triturado sirve para eliminar la membrana de la CH que tiene un porcentaje entre 1.3% y 3.2%
		Aberturas huecas entre los cristales de calcita: permiten la trasferencia de gases
	DRX.	Membrana de la CH amorfa pero mediante este proceso no se encuentra picos cristalizados y con carbonato de calcio en forma de calcita.
		El lavado ayuda a eliminar la membrana de la CH.
	Microestructura.	Imágenes de barrido de color blanco y marrón mediante un microscopio electrónico logra observar partículas irregulares variables por la molienda, pero la membrana no se logra observar en la CH determinando partículas variables.
	Mecánicas.	Compresión y resistencia a la flexión: reemplazando la PC desde 0% en peso a 20% en peso a 7, 14 y 28 días, observándose ser superior al testigo cuando el 5% en peso de calcáreo.
		El 5% en peso de PC natural de CH marrón y blanco alcanza en compresión 45.6 MPa y 43,9 MPa respectivamente.

Fuente: (Pliya & Cree, 2015)

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Se llegó a la conclusión de que la PC obtenida de la CH afecta a los morteros por la menor cantidad de propiedades de cementación de la PC y mayor cantidad en materiales no cementantes de rellenos de PC, actuando solo como relleno mas no cemento. Con adiciones de agua se puede obtener porosidad y disminución de la resistencia. La afectación en el mortero se define por el tamaño de partícula, calidad de PC y cantidad de PC de CH reemplazada en la PC natural.

ANEXO DOS.

ANÁLISIS DE REFERENTE.

Antonio Ludovico Beraldo, César Hideo Nagumo: Compuesto de cáscara de huevo y mortero de cemento postland.

Tomado de texto original: Compuesto de cáscara de huevo y mortero de cemento portland, (Ludovico & Hideo, 2014).

Objetivo:

La cáscara de huevo (CH) es un residuo con un potencial en la construcción por su composición de carbonato de calcio (CaCO_3) y al ser mezclada con una pasta de cemento utilizando:

- Ensayos de la curva de hidratación, morteros de cemento, arena y CH tratada (CHT), evaluadas por ultrasonido al dejarlas 21 días de secado y a compresión simple.
- Pruebas de ensayo no destructivo (END) para determinar las diferencias estructurales de los compuestos.

Los residuos agroindustriales son desechados al ambiente sin recibir un control o un tratamiento adecuado y esto contribuye a la degradación ambiental.

Tabla 35. Desglose de vocabulario y puntos importantes.

vocabulario	Ultrasonido: emite vibraciones longitudinales por un transductor ³⁷ y se convierte en una señal eléctrica.
	Cemento normal: temperatura de hidratación elevada = 80° C.
	Cemento con presencia de glucosa, almidón y otras = 28° C.

Fuente: (Ludovico & Hideo, 2014)
Elaborado por: Reibán, D. 2017.

³⁷ Transductor: dispositivo que tiene la misión de recibir energía de una naturaleza eléctrica, mecánica, acústica, etc., y suministrar otra energía de diferente naturaleza.

En Brasil la producción de CH es de aproximadamente 70 min ton (Ludovico & Hideo, 2014), cuando se la aplica en la construcción se puede tener un posible control y minimizar los problemas ambientales, materiales de bajo costo para ser reemplazo de algunos áridos (arena, gravilla, ripio). Cuando el material está en forma triturada no es uniforme, deja de ser poroso y con distribución irregular de partículas (Brood, 1999). Los equipos y cantidades de materiales como CH, cemento y agua se detallan a continuación:

Tabla 36. Cantidades de materiales para la realización de la investigación.

Cantidades de materiales.	Las CH se obtuvieron secas y sin compactar, pesado en un vaso de precipitación antes y después de recibir la masa de partículas.	
	El tamaño de partículas de CH se adaptó a la norma brasileña NBR 7217, con 60 g de material pasado por un tamiz de apertura de 0.59 mm.	
	Método de estufa: midieron la humedad a 70° C hasta la obtener masa constante	
	Curva de hidratación	<i>Inserción de termocuplas³⁸ tipo J en contenedores plásticos individuales, colocado en un calorímetro.</i> <i>Sistema de adquisición de datos en computador: registra temperatura cada 5 min, siendo las masas de CH de 60 g, 70 g, 80 g, 90 g y 100 g; las masas de cemento y agua fueron de 200 g y 100 g</i>

Fuente: (Ludovico & Hideo, 2014)

Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Para la fabricación de las probetas se utilizó cemento portland compuesto de CP II-E-32 (NBR 11578) y cemento de fraguado rápido CP-V-ARI (NBR 5733), arena de granulometría media con norma NBR 7215, probetas cilíndricas 50 mm diámetro y 100 mm longitud; moldes plásticos de PVC untados con aceite mineral. La compactación fue en tres camadas³⁹, el desmolde se realizó luego de 24 h y el curado fue de 7 días en una cámara húmeda y 14 días de curado en aire libre.

Luego de 24 h de fabricación de probetas se desmoldó y aplicó el END con velocidad de pulso de ultrasonido con el Ultrasonic Tester BP 7 y presentaron una fuerza de resonancia de 45 kHz. El ensayo a la compresión simple se realizó a los 21 días de fabricación de probetas, regularizadas con pasta de azufre y caolín.

³⁸ Termocupla: se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo (soldados generalmente). Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño (efecto Seebeck) del orden de los milivolts el cual aumenta con la temperatura.

³⁹ Camada: Conjunto o serie de cosas numerables, extendidas horizontalmente de modo que puedan colocarse otras sobre ellas.

Tabla 37. Resultados finales de la investigación.

Resultados	Fraguado	Temperatura máxima alcanzada: 43° C, calor inferior a la pasta del cemento que es 70° C (Sandermann, Preusser, & Schiens, 1960)
		El efecto negativo se provocó por la membrana protectora de la CH.
	Tipo de tratamiento	<i>T1</i> <i>8.07 MPa</i>
		<i>T2</i> <i>7.04 MPa</i>
		<i>T3</i> <i>7.38 MPa</i>
	<i>T4</i> <i>12.15 MPa – siendo el superior</i>	
	VPU	Creciente en las primeras edades del compuesto y se estabilizó a los 15° día.

Fuente: (Mtallib & Rabiú, 2009)
 Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Es importante la mezcla de la CH con el cemento y la arena, ya que la arena tiene mayor grosor con concentración del 60% en el tamiz de 0.59 mm, con una masa aparente de la CH de alrededor de 1 g/cm³ equivalente al 2/3 de la masa específica de arena. Los resultados se produjeron de esa manera por utilizar CH por gallinas con edad avanzada de más de 700 días de vida.

Conclusiones:

- La CH en forma natural no ayuda al fraguado del cemento por lo que para la evaluación de la resistencia a la compresión se tuvo que modificar la adición de CH.
- Los resultados más adecuados para el fraguado fueron con la proporción de 2.5 partes de arena y 1.0 parte de CH en masa.
- La VPU fue acelerada en los primeros días y se estabilizó a los 15 días, mostrando buena correlación con resistencia de compuestos en compresión.

ANEXO TRES.

CORRESPONDIENTE CON LAS NORMAS
ASTM C.109- ICONTEC 220
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRAULICO
I.N.V. E - 323

1. OBJETO

Este ensayo cubre la determinación del esfuerzo de compresión de morteros de cemento hidráulico, usando cubos de 50.8 mm (2") de lado.

La compresión se medirá sobre dos (2) cubos de 50.8 mm (2") compactados en dos (2) capas. Los cubos serán curados un día en los moldes y se desmoldarán y sumergirán en agua-cal hasta su ensayo.

2. EQUIPO

2.1. Balanzas.- con capacidad de 2.000 g y sensibilidad de 2 g.

2.2. Tamices.- Se requiere una serie con los siguientes:

1.19 mm (No.16)	300 µm (No.50)
600 µm (No.30)	150 µm (No.100).

2.3. Probetas.- Las probetas de vidrio, deben tener con preferencia una capacidad que permita medir el agua total de mezcla, en una sola operación; serán graduadas por lo menos cada 5 ml y tendrán una aproximación de 2 ml, al indicar el volumen a 20°C (68°F).

2.4. Cámara húmeda.- Se requiere una cámara que tenga condiciones adecuadas, para almacenar con facilidad las muestras, y mantener una temperatura de $23 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$, con una humedad relativa no menor del 90%.

2.5. Moldes.-

Para los cubos de 50.8 mm (2") se requieren moldes que no tengan más de tres (3) compartimentos, ni consten de más de dos (2) elementos separables. Estos elementos deben estar dotados de dispositivos que aseguren una perfecta y rígida unión; serán fabricados de metal duro, no atacable por las mezclas de cemento y que no vayan a producir ensanchamientos o pandeos en los especímenes.

Las caras interiores, serán planas y lisas con variación máxima de 0.025 mm; la distancia entre las caras opuestas, (50.8 mm) tendrá variación máxima de 0.508 mm y la altura de 50.8 mm tendrá una variación permisible de 0.38 mm. El ángulo formado por las caras interiores adyacentes será de $90 \pm 0.5^\circ$.

2.6. Mezcladora.- Cumplirá con los requisitos de la Norma INV E - 321.

2.7. Mesa de Flujo.- Cumplirá con los requisitos de la Norma INV E - 325.

2.8. Compactador.- Cumplirá con lo especificado en la Norma INV E - 325.

2.9. Palustre.- Será de una longitud entre 100 y 150 mm (4" y 6") con hoja de acero.

2.10. Máquina de Ensayo.-

Podrá ser mecánica o hidráulica, con una abertura suficiente entre los apoyos, para que permita colocar la muestra y los aparatos de comprobación. La carga aplicada a la muestra, deberá medirse con una tolerancia de $\pm 1.0\%$. El soporte superior, tendrá una esfera metálica firmemente asegurada al centro del apoyo superior de la máquina (sistema de rótula) (figura No.2). El centro de la esfera estará sobre la perpendicular levantada el centro de la superficie del bloque en contacto con la muestra (cubo).

El bloque se colocará asentando sobre la esfera, pero podrá inclinarse libremente en cualquier dirección. La diagonal o diámetro de la superficie de apoyo será ligeramente mayor que la diagonal de la cara de la muestra (cubo), para facilitar su centrado. Debajo del cubo se colocará un bloque metálico para minimizar el desgaste del plato inferior de la máquina. Este bloque tendrá marcas grabadas, que permitan centrar exactamente el cubo y su dureza Rockwell no será inferior a 60 HRC. Las superficies que van a hacer contacto con los cubos, deben ser planas y con variación permisible de 0.025 mm (0.001").

3. MATERIALES

- **Arena.-** La arena usada para hacer las muestras (cubos), en este ensayo, será natural de sílice; normalizada para ensayo y gradada de acuerdo con los siguientes tamices:

Tabla 38. Números de tamices acordes a la arena.

Tamices		% que pasa
	Alternativa	
1.18 mm	(No.16)	100
6.00 μm	(No.30)	96 - 100
3.00 μm	(No.50)	23 - 33
1.50 μm	(No.100)	0 - 4

Fuente: ASTM C.109- ICONTEC 220
Elaborado por: Reibán, D. 2017.

Para comprobar la gradación normalizada, se toma el contenido de un saco lleno de arena, de aproximadamente 45 kg, se extiende en una superficie plana y por cuarteo se toman unos 700 g; de esta muestra, se toman unos 100 g y se hace el tamizado, tomando las mallas en forma independiente; en 60 segundos de continuo tamizado no pasarán por el tamiz más de 0.5 g. El material retenido en cada malla estará de acuerdo con la gradación presentada antes.

4. CONDICIONES DE ENSAYO

Condiciones Ambientales.- La temperatura del aire en las vecindades de la mezcladora, moldes, materiales, prensa, etc., será de 20 a 27.5°C (68 a 81.5°F). El agua de mezclado tendrá una temperatura de 23 \pm 1.7°C (73.4 \pm 3°F). La humedad relativa no será menor del 50%. Se deberá comprobar el flujo del mortero conforme lo establecido en la Norma INV E - 325. Se deben hacer varios morteros de prueba con variantes en el porcentaje de adición del agua hasta obtener el flujo especificado. Cada prueba se hará con mortero nuevo. (Norma INV E - 325).

5. PROCEDIMIENTO

- 5.1. **Preparación de los moldes.-** A los moldes se les aplicará en sus caras interiores una capa delgada de aceite mineral ligero. Las superficies de contacto de los elementos separables se revestirán de una capa de aceite mineral pesado, luego se unen estos elementos y se elimina el exceso de aceite en cada uno de los compartimentos. Luego

se coloca el molde sobre una placa plana, no absorbente, cubierta con una delgada capa de aceite. En la parte exterior de las juntas de las partes que componen el molde, o de éstos con la placa, se aplicará una mezcla de 3 partes en peso de parafina y 5 partes de resina o cera calentada a 110 -120°C, para impermeabilizar.

5.2. Composición del mortero.-

Las proporciones en peso de materiales para el mortero normal serán de una (1) parte de cemento y 2.75 partes de arena gradada, usando una relación agua - cemento de 0.485 para los cementos Portland y 0.460 para las que contienen aire; sin embargo, será tal que produzca un flujo de 110 ± 5 , expresada en porcentaje del cemento.

Las cantidades que deben ser mezcladas para formar la bachada parra seis (6) cubos de ensayo, serán de 500 g de cemento y 1375 g de arena y 242 ml de agua, aproximadamente. Para nueve (9) cubos se requieren 740 g de cemento, 2035 g de arena y 359 ml de agua.

5.3. Moldeo de Especímenes.-

Después de preparado el mortero, hay que dejarlo quieto en la mezcladora por 90 segundos, sin cubrirla. Durante los últimos 15 segundos de este intervalo, rápidamente se debe raspar el mortero pegado en las paredes y luego remezclar por 15 segundos a velocidad lenta. Dentro de un tiempo transcurrido no mayor de 2 minutos y 30 segundos después de completar la mezcla original de la bachada, se inicia el llenado de los compartimentos, colocando una capa de más o menos 25 mm (1") de espesor (aproximadamente la mitad del molde), en cada uno de los compartimentos, y se apisonan con 32 golpes que se aplicarán sobre la superficie, en 4 etapas de 8 golpes adyacentes cada una, como se ilustra en el siguiente esquema.

1	2	3	4
8	7	6	5

4	5
3	6
2	7
1	8

Los golpes de cada etapa se darán siguiendo una dirección perpendicular a los de la anterior; la presión del compactador será tal, que asegure el llenado de los compartimentos. Se deben completar las cuatro (4) etapas de compactación, en cada compartimento, antes de seguir con el siguiente. Una vez terminada la etapa de la primera capa en todos los compartimentos, se llenan con una segunda capa y se procede como en la primera.

Durante la compactación de la segunda capa, al completar cada etapa y antes de iniciar la siguiente, se introduce en el compartimento el mortero que se ha depositado en los bordes del molde. A lo largo de estas operaciones, el operario usará guantes de caucho. Al finalizar la compactación, las caras superiores de los cubos, deben quedar un poco más altas que el borde superior de los moldes. La superficie de los cubos debe ser alisada con la parte plana del palustre, retirando el mortero sobrante, con un movimiento de vaivén.

5.4. Almacenamiento de los especímenes.- Terminada la operación de llenado, el conjunto de molde y placa, se colocará en la cámara húmeda durante 20 o 24 horas, con la cara superior expuesta al aire húmedo, pero protegidos contra la caída de gotas. Si los cubos se retiran del molde antes de las 24 horas, se dejarán en la cámara húmeda hasta completar este tiempo. Los cubos que no se van a ensayar a las 24 horas, se sumergen en agua-cal saturada dentro del tanque de almacenamiento, construido con material no corrosivo; el agua del tanque se renovará frecuentemente para que permanezca limpia.

5.5. Ensayo.- Los cubos que van a ser ensayados a las 24 horas, se sacan de la cámara húmeda cubriéndolos con un paño húmedo, mientras se van pasando a la máquina. Para los otros cubos, deben sacarse del tanque de almacenamiento uno a uno y probarse inmediatamente. Todos los cubos se ensayarán dentro de las siguientes tolerancias de tiempo: a las 24 horas $\pm \frac{1}{2}$ hora; a los 3 días ± 1 hora; a los 7 días ± 3 horas; y a los 28 días ± 12 horas.

Los cubos deberán secarse y dejarse limpios de arena suelta, o incrustaciones, en las caras que van a estar en contacto con los bloques de la máquina de ensayo. Se debe comprobar por medio de una regla, que las caras están perfectamente planas. Colóquese cuidadosamente el espécimen en la máquina de ensayo, debajo del centro de la parte superior de la máquina, comprobándose antes de ensayar cada cubo, que la rótula gira libremente en cualquier dirección. No se usarán amortiguadores entre el cubo y los bloques de carga.

Cuando se espera que el cubo resista una carga máxima superior a 13.3 kN (3000 lbf), se aplica a éste una carga inicial de la mitad del valor esperado, a velocidad conveniente; si se espera que la carga que va a resistir sea menor de 13.3 kN (3000 lbf), no se aplicará carga inicial al cubo. La velocidad de aplicación de la carga se calcula en tal forma que la carga restante para romper los cubos con resistencia esperada mayor de 13.3 kN (3000 lbf) o la carga total en los otros, se aplique sin interrupción en un tiempo comprendido entre 20 y 80

seg, desde el inicio de la carga. No se hará ningún ajuste a la máquina mientras se esté efectuando el ensayo.

6. CALCULOS

Se anotará la carga máxima indicada por la máquina de ensayo en el momento de la rotura y se calcula la resistencia a la compresión, siendo el área nominal de la sección del cubo de 2581 mm², la cual no debe variar de la real en ± 38 mm²; si hay variación mayor, el cálculo se hará con base en el área real.

Los cubos defectuosos o los que den resistencias que difieran en más del 10% del promedio de todas las muestras hechas de la misma mezcla y ensayadas al mismo tiempo, no se tendrán en cuenta al determinar la resistencia. Cuando se trate de ensayos especiales, se fundirá un número mayor para obtener un promedio final de más de tres (3) resultados.