



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

---

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

INFLUENCIA DE LOS TIPOS DE CAL Y PROPORCIÓN EN MORTEROS PARA LA CONSERVACIÓN SOBRE LA COMPRESIÓN, CONTRACCIÓN, DENSIDAD, ABSORCIÓN Y FRAGUADO, TRUJILLO 2018.

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniera Civil**

**Autor:**

Br. Varas Bermudez, Geiby Natieli

**Asesor:**

Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro

Trujillo – Perú

2018

## **APROBACIÓN DE LA TESIS**

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por la Bachiller Varas Bermudez, Geiby Natieli, denominada:

**INFLUENCIA DE LOS TIPOS DE CAL Y PROPORCIÓN EN MORTEROS PARA LA CONSERVACIÓN SOBRE LA COMPRESIÓN, CONTRACCIÓN, DENSIDAD, ABSORCIÓN Y FRAGUADO, TRUJILLO 2018.**

---

Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro  
**ASESOR CIP 123509**

---

MBA. Ing. Josualdo Carlos Villar Quiroz  
**JURADO CIP 106997**  
PRESIDENTE

---

MSC. Ing. Wiston Henry Azañedo Medina  
**JURADO CIP 107619**

---

MBA. Ing. Ricardo Daniel Avalos Alayo  
**JURADO CIP 97900**

## DEDICATORIA

*A Dios y a la Virgen de la Puerta, por estar siempre conmigo  
y ser mi guía en mi sendero,  
dándome fuerzas para seguir adelante y no desmayar en el intento.*

*A mis padres **Antenor Varas** y **Graciela Bermudez**, y mi hermano **Manuel Varas**;  
quienes siempre me han apoyado incondicionalmente en todo momento.  
Por sus enseñanzas, principios y motivación constante que me ha permitido  
ser una persona de bien.*

## AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a Dios y a la Virgen de la Puerta, por protegerme durante todo mi camino y darme las fuerzas para superar los obstáculos, haciéndome posible culminar mi vida universitaria con éxito.

A mis padres, Antenor y Graciela, por el apoyo incondicional en cada uno de mis proyectos y enseñarme a no rendirme jamás, a ser perseverante para alcanzar todas mis metas.

A mi hermano Manuel, por acompañarme en cada momento, compartiendo alegrías y tristezas, demostrándome que siempre puedo contar con él.

Al ingeniero Iván Vásquez Alfaro, quien ha sido pieza fundamental para la culminación de esta investigación. Gracias por la paciencia, por los conocimientos brindados, por la orientación, por su manera de trabajar y por la motivación durante el desarrollo de la tesis.

A mis amigos y compañeros con los que empecé esta vida universitaria. Quienes en estos 5 años me brindaron su apoyo y una mano amiga con la cual contar en todo momento.

***Geiby Natieli Varas Bermudez***

## TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
TABLA DE CONTENIDO .....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....	12
1.1. Realidad problemática.....	12
1.2. Formulación del problema.....	16
1.3. Justificación .....	17
1.4. Limitaciones.....	18
1.5. Objetivos.....	18
1.5.1. Objetivo general .....	18
1.5.2. Objetivos específicos .....	18
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO .....	20
2.1. Antecedentes.....	20
2.2. Bases teóricas .....	25
2.2.1. Morteros .....	25
2.2.1.1. Tipos .....	25
2.2.1.2. Aplicaciones.....	26
2.2.2. Agregados .....	27
2.2.2.1. Clasificación de los agregados.....	27
2.2.2.2. Propiedades físicas de los agregados.....	27
2.2.3. Cal .....	28
2.2.3.1. Tipos .....	30
2.2.3.2. Proceso de fabricación de la cal.....	33
2.2.3.3. Propiedades.....	34
2.2.3.4. Aplicaciones.....	35
2.2.3.5. Reacción agua y cal .....	37
2.2.3.6. Mecanismo adherencia entre cal y la arena.....	38
2.2.4. Agua .....	38
2.2.5. Conservación y restauración.....	39
2.2.5.1. Conservación .....	39
2.2.5.2. Restauración.....	40
2.2.5.3. Nexo de la conservación y la restauración.....	42
2.2.6. Patologías en casas coloniales .....	42
2.3. Hipótesis.....	44
2.3.1. Hipótesis general.....	44
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA .....	47
3.1. Operacionalización de variables .....	47
3.1.1. Variable independiente .....	47
3.1.2. Variable dependiente .....	47
3.2. Diseño de investigación.....	48
3.3. Unidad de estudio: Mortero .....	49
3.4. Población: Todas las probetas que se pueda ejecutar con la adición de cal .....	49
3.5. Muestra.....	50
3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos .....	50
3.6.1. Técnica de recolección de datos y análisis de datos.....	50
3.6.2. Instrumentos y procedimientos de recolección de datos. ....	52
3.6.2.1. Proceso experimental .....	52
3.6.2.1.1. Caracterización de la materia prima.....	53
3.6.2.1.2. Dosificación y curado.....	57
3.6.2.1.3. Preliminares .....	58
3.6.2.1.4. Ensayos físicos.....	59
3.6.2.1.5. Ensayos mecánicos.....	61

3.7. Métodos y procedimientos de análisis de datos.....	62
CAPÍTULO 4. RESULTADOS.....	65
4.1. Caracterización de arena gruesa.....	65
4.2. Caracterización de la cal.....	65
4.2.1. Análisis químico mineralógico por DRX.....	66
4.3. Caracterización del agua.....	67
4.4. Ensayos de propiedades físicas.....	67
4.4.1. Densidad y Absorción.....	67
4.4.2. Contracción.....	68
4.4.3. Tiempo de fraguado.....	69
4.5. Ensayo de propiedades mecánicas.....	69
4.5.1. Resistencia a la compresión.....	69
4.6. Evaluación económica.....	70
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN.....	71
5.1. Caracterización de la arena.....	71
5.2. Caracterización de la cal.....	73
5.2.1. Análisis químico mineralógico por difracción de rayos X (DRX).....	75
5.3. Dosificación del mortero.....	78
5.4. Ensayo de propiedades físicas.....	79
5.4.1. Densidad.....	79
5.4.2. Absorción.....	80
5.4.3. Contracción o retracción.....	82
5.4.4. Tiempo de fraguado.....	84
5.5. Ensayos de propiedades mecánicas.....	85
5.5.1. Resistencia a la compresión.....	85
CONCLUSIONES.....	90
RECOMENDACIONES.....	92
REFERENCIAS.....	93
APÉNDICE.....	96
Apéndice 1. Caracterización de agregados.....	96
Apéndice 2. Caracterización de la cal.....	99
Apéndice 3. Resultados de los ensayos al mortero.....	109
Apéndice 4. Procedimiento estadístico de los datos.....	135
ANEXOS.....	158
ANEXO 1. Panel fotográfico.....	158
ANEXO 2. Ficha técnica de la cal Martell.....	164
ANEXO 3. Ficha técnica de la cal Hades.....	165
ANEXO 4. Certificado de ensayos realizados en la Universidad Nacional de Trujillo.....	166
ANEXO 5. Certificado de ensayos realizados en la Universidad Privada del Norte.....	167
ANEXO 6. Normativa para el procedimiento experimental.....	168
ANEXO 7. Informe de análisis por difracción de rayos x.....	170
ANEXO 8. Ficha técnica de la cal hidráulica Gordillos.....	173
ANEXO 9. Ficha técnica de la cal viva Gordillos.....	175
ANEXO 10. Certificado de calibración de equipos.....	176
ANEXO 11. Fichas de observación.....	178

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Contenido de las cales.....	34
Tabla 2: Hipótesis general.....	44
Tabla 3: Hipótesis específica para la compresión.....	45
Tabla 4: Hipótesis específica para la densidad.....	45
Tabla 5: Hipótesis específica para la absorción.....	45
Tabla 6: Hipótesis específica para la contracción.....	46
Tabla 7: Hipótesis específica para el fraguado.....	46
Tabla 8: Operacionalización de variable dependiente.....	48
Tabla 9: Matriz de diseño.....	49
Tabla 10: Población de probetas.....	49
Tabla 11: Recolección de datos del análisis granulométrico.....	54
Tabla 12: Contenido de humedad arena gruesa.....	55
Tabla 13: Peso unitario.....	56
Tabla 14: Peso específico y absorción de la arena.....	57
Tabla 15: pH y conductividad.....	57
Tabla 16: Dosificación del mortero.....	58
Tabla 17: Largo, ancho, alto, peso y compresión de probetas preliminares.....	58
Tabla 18: Absorción y densidad.....	59
Tabla 19: Contracción volumétrica.....	60
Tabla 20: Tiempo de fraguado.....	61
Tabla 21: Resistencia a la compresión.....	62
Tabla 22: Caracterización de la arena gruesa.....	65
Tabla 23: Caracterización de los tipos de cal.....	65
Tabla 24: Textura de los tipos de cal.....	66
Tabla 25: Composición de la cal Hades e Informal IV.....	66
Tabla 26: Hidraulicidad de la cal Hades y Informal IV.....	66
Tabla 27: Requisitos químicos del agua.....	67
Tabla 28: Densidad y absorción para las cales.....	67
Tabla 29: Contracción para las cales.....	68
Tabla 30: Tiempo de fraguado y temperatura de los tipos de cal.....	69
Tabla 31: Resistencia a la compresión de las cales.....	69
Tabla 32: Costo Unitario de la elaboración de mortero.....	70
Tabla 33: Costo total de la elaboración del mortero.....	70
Tabla 34: Características de la arena gruesa.....	71
Tabla 35: Tiempo de secado.....	82
Tabla 36: Análisis granulométrico de la arena gruesa.....	96
Tabla 37: Media, variación, desviación para granulometría de la arena gruesa.....	97
Tabla 38: Contenido de humedad de la arena gruesa.....	97
Tabla 39: Media, variación, desviación para la humedad de la arena gruesa.....	97
Tabla 40: Peso específico y absorción de la arena gruesa.....	98
Tabla 41: Media, variación, desviación para el peso específico y la absorción.....	98
Tabla 42: Peso unitario suelto seco y compactado seco de la arena gruesa.....	98
Tabla 43: Media, variación, desviación para el peso unitario de la arena gruesa.....	98
Tabla 44: Análisis granulométrico de la cal Martell.....	99
Tabla 45: Análisis granulométrico de la cal Hades.....	100
Tabla 46: Análisis granulométrico de la cal Informal I.....	101
Tabla 47: Análisis granulométrico de la cal Informal II.....	102
Tabla 48: Análisis granulométrico de la cal Informal III.....	103
Tabla 49: Análisis granulométrico de la cal Informal IV.....	104
Tabla 50: Media, variación, desviación para el análisis granulométrico de la cal Martell.....	105
Tabla 51: Media, variación, desviación para el análisis granulométrico de la cal Hades.....	105
Tabla 52: Media, variación, desviación para el análisis granulométrico de la cal Informal I.....	106
Tabla 53: Media, variación, desviación para el análisis granulométrico de la Informal II.....	106
Tabla 54: Media, variación, desviación para el análisis granulométrico de la cal Informal III.....	107
Tabla 55: Media, variación, desviación para el análisis granulométrico de la cal Informal IV.....	107
Tabla 56: Contenido de humedad de los 6 cales.....	108

Tabla 57: Media, variación, desviación para la humedad de los 6 cales.....	108
Tabla 58: Densidad del mortero de cal Martell y Hades .....	109
Tabla 59: Densidad del mortero de cal Informal I e Informal II .....	110
Tabla 60: Densidad del mortero de cal Informal III e Informal IV.....	111
Tabla 61: Absorción del mortero de la cal Martell y Hades .....	112
Tabla 62: Absorción del mortero de la cal Informal I e Informal II .....	113
Tabla 63: Absorción del mortero de la cal Informal III e Informal IV .....	114
Tabla 64: Medidas de los moldes a y b.....	115
Tabla 65: Medidas de los moldes c y d.....	116
Tabla 66: Medidas de los moldes e y f.....	117
Tabla 67: Medidas diarias de largo, ancho, altura y peso de la cal Martell.....	118
Tabla 68: Medidas diarias de largo, ancho, altura y peso de la cal Hades .....	119
Tabla 69: Medidas diarias de largo, ancho, altura y peso de la cal Informal I.....	120
Tabla 70: Medidas diarias de largo, ancho, altura y peso de la cal Informal II.....	121
Tabla 71: Medidas diarias de largo, ancho, altura y peso de la cal Informal III.....	122
Tabla 72: Medidas diarias de largo, ancho, altura y peso de la cal Informal IV .....	123
Tabla 73: Contracción de la cal Martell e Hades .....	124
Tabla 74: Contracción de la cal Informal I e Informal II.....	125
Tabla 75: Contracción de la cal Informal III e Informal IV .....	126
Tabla 76: Media, varianza y desviación de la contracción de las cales.....	127
Tabla 77: Tiempo de fraguado cal Martell y Hades .....	128
Tabla 78: Tiempo de fraguado cal Informal I e Informal II .....	129
Tabla 79: Tiempo de fraguado cal Informal III e Informal IV.....	130
Tabla 80: Resistencia a la compresión de probetas de cal .....	131
Tabla 81: Media, varianza y desviación de la compresión de las cales .....	132
Tabla 82: Cantidad de material para un cubo de mortero .....	133
Tabla 83: Puntos porcentuales de la distribución $F_{0.05, v1, v2}$ .....	137
Tabla 84: Normalidad para la absorción en cales.....	138
Tabla 85: Normalidad para la absorción en proporciones .....	138
Tabla 86: F experimental para la absorción.....	139
Tabla 87: Estimación de $Y_j$ y $Y_i$ para la absorción.....	140
Tabla 88: Resumen del análisis ANAVA para los resultados de absorción. ....	142
Tabla 89: Normalidad para la densidad en cales.....	143
Tabla 90: Normalidad para la densidad en proporciones .....	143
Tabla 91: F experimental para la densidad.....	144
Tabla 92: Estimación de $Y_j$ y $Y_i$ para los datos de densidad .....	145
Tabla 93: Resumen del análisis ANAVA para los resultados de densidad. ....	147
Tabla 94: Normalidad para la compresión en cales.....	148
Tabla 95: Normalidad para la compresión en proporciones .....	148
Tabla 96: F experimental para la compresión.....	149
Tabla 97: Estimación de $Y_j$ y $Y_i$ para los datos de compresión .....	150
Tabla 98: Resumen del análisis ANAVA para los resultados de densidad. ....	152
Tabla 99: Normalidad para la contracción en cales.....	153
Tabla 100: Normalidad para la contracción en proporciones .....	153
Tabla 101: F experimental para la contracción.....	154
Tabla 102: Estimación de $Y_j$ y $Y_i$ para los datos de contracción .....	155
Tabla 103: Resumen del análisis ANAVA para los resultados de contracción.....	157



## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Utilización de morteros: enlucidos, material de agarre y revocos</i> .....	25
<i>Figura 2: Estructura química de la cal</i> .....	29
<i>Figura 3: Estructura química del carbonato de calcio</i> .....	30
<i>Figura 4: Estructura química de la cal hidratada</i> .....	31
<i>Figura 5: Ciclo de la cal aérea</i> .....	32
<i>Figura 6: Eflorescencias en la casa de la emancipación</i> .....	44
<i>Figura 7: Procedimiento experimental</i> .....	52
<i>Figura 8: Curva granulométrica de la arena</i> .....	72
<i>Figura 9: Curva granulométrica de los tipos de cal</i> .....	74
<i>Figura 10: Difractograma de la muestra cal hades</i> .....	77
<i>Figura 11: Difractograma de la muestra cal informal IV</i> .....	78
<i>Figura 12: Densidad de los tipos de cal</i> .....	80
<i>Figura 13: Absorción de los tipos de cal</i> .....	81
<i>Figura 14: Contracción de los tipos de cal</i> .....	83
<i>Figura 15: Tiempo de fraguado y temperatura de las cales</i> .....	84
<i>Figura 16: Resistencia a la compresión de los tipos de cal</i> .....	87
<i>Figura 17: Análisis económico para cal formal</i> .....	88
<i>Figura 18: Análisis económico para la cal Informal</i> .....	88
<i>Figura 19: Muro para el cálculo del volumen de mortero por m<sup>2</sup></i> .....	133
<i>Figura 20: Arena gruesa</i> .....	158
<i>Figura 21: Tipos de cales</i> .....	158
<i>Figura 22: a). Tamices, b). Lavado de muestra</i> .....	158
<i>Figura 23: Peso de la humedad de la cal</i> .....	159
<i>Figura 24: a) secado de muestra, b) pesado de muestra en fiola</i> .....	159
<i>Figura 25: Determinación del peso unitario suelto y compacto de la arena</i> .....	160
<i>Figura 26: Conformación y desmolde de probetas</i> .....	160
<i>Figura 27: Almacenamiento de probetas</i> .....	160
<i>Figura 28: Medida de contracción del mortero</i> .....	161
<i>Figura 29: Aguja de Vicat para el fraguado</i> .....	161
<i>Figura 30: Probetas sumergidas en agua para el ensayo de densidad y absorción</i> .....	161
<i>Figura 31: a) Arquímedes, b) horno de secado</i> .....	162
<i>Figura 32: Ensayo de resistencia a la compresión</i> .....	162
<i>Figura 33: Medición de la conductividad</i> .....	163
<i>Figura 34: Medición del pH</i> .....	163

## RESUMEN

Se han realizado desde los tiempos de la colonia, intervenciones estructurales y no estructurales ya sea por reconstrucción de partes colapsadas, reparaciones o colocación de refuerzos sísmicos, el paso del tiempo y nuevas construcciones. Por ello, la presente investigación plantea la utilización de cal en morteros de asiento con adición de arena como alternativa para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas para restauraciones y mantenimiento de estructuras coloniales.

Para el desarrollo se utilizó arena grano grueso con módulo de finura de 2.5 ; cal Martell, Hades, Informal I, Informal II, Informal III e Informal IV, con agua constante y con dosificaciones de reemplazo de cal por arena de 100%:0, 90%:10%, 80%:20%, 70%:30% y 60%:40%; tanto la relación agua/cal como los porcentajes de reemplazo fueron asignados por un estudio preliminar a la investigación; las probetas aproximadamente de 28 días de curado fueron sometidas a diferentes ensayos.

Se desarrollaron los ensayos de caracterización del agregado y de la cal como granulometría por lavado (NTP 400.018), contenido de humedad (NTP 339.185), peso específico y absorción (NTP 400.022), peso unitario suelto seco y peso unitario seco compactado (NTP 400.017). También los ensayos físicos en estado endurecido del mortero que fueron densidad, absorción (ASTM C 373), tiempo de fraguado (ASTM C 191) y contracción (UNE – 80-112), ensayos mecánicos como la resistencia a la compresión (NTP 400.051). Se elaboraron 450 probetas cúbicas de 5cm x 5cm x5cm.

Se determinó que estos morteros no servirían estructuralmente , pero así mismo la dosificación más óptima del estudio fue la de 100%:0% con la cal hades, pues se pudo observar una mezcla plástica, trabajable y morteros con baja porosidad con una resistencia máxima de 22 kg/cm<sup>2</sup>, densidad de 1448 kg/m<sup>3</sup>, absorción de 22%, un tiempo de fraguado de 540 minutos con una temperatura de 22.3 °C y se contrae 2.4 %; mientras que la dosificación que presentó valores mínimos fue la de dosificación 60%:40% en cal informal IV , con una resistencia de 2 kg/cm<sup>2</sup>, densidad de 1143 kg/m<sup>3</sup>, absorción de 40 %, tiempo de fraguado de 3960 minutos con una temperatura de 19.5 °C y una expansión de 7.1 %. Finalmente se puede decir que la dosificación 100%:0% con el uso de la cal hades ayudaría a mejorar las condiciones de los morteros para emplearlos en el mantenimiento y conservación de estructuras coloniales, de esa manera conservar la esencia de los materiales de construcción empleados por nuestros antepasados.

## ABSTRACT

Since the time of the colony, structural and non-structural interventions have been carried out either by reconstruction of collapsed parts, repairs or seismic reinforcement placement, the passage of time and new constructions. For this reason, the present investigation proposes the use of lime in seat mortars with the addition of sand as an alternative to improve its physical and mechanical properties for restorations and maintenance of colonial structures.

For the development, coarse-grained sand with a fineness modulus of 2.5 was used; Cal Martell, Hades, Informal I, Informal II, Informal III and Informal IV, with constant water and with lime replacement dosages per 100% sand: 0, 90%: 10%, 80%: 20%, 70%: 30% and 60%: 40%; both the water / lime ratio and the replacement percentages were assigned by a preliminary study to the investigation; the test pieces approximately 28 days of curing were subjected to different tests.

The aggregate and lime characterization tests were developed as washing granulomere (NTP 400.018), moisture content (NTP 339.185), specific gravity and absorption (NTP 400.022), dry loose unit weight and compacted dry unit weight (NTP 400.017). Also the physical tests in the hardened state of the mortar that were density, absorption (ASTM C 373), setting time (ASTM C 191) and shrinkage (UNE - 80-112), mechanical tests such as compressive strength (NTP 400.051) . 450 cubic samples of 5cm x 5cm x5cm were prepared.

It was determined that these mortars would not serve structurally, but also the most optimal dosage of the study was 100%: 0% with cal hades, because it was possible to observe a plastic, workable mixture and mortars with low porosity with a maximum resistance of 22 kg / cm<sup>2</sup>, density of 1448 kg / m<sup>3</sup>, absorption of 22%, a setting time of 540 minutes with a temperature of 22.3 °C and shrinks 2.4%;while the dosage that presented minimum values was the 60% dosage: 40% in informal lime IV, with a resistance of 2 kg / cm<sup>2</sup>, density of 1143 kg / m<sup>3</sup>, absorption of 40%, setting time of 3960 minutes with a temperature of 19.5 °C and an expansion of 7.1%. Finally, it can be said that the 100%: 0% dosage with the use of lime hades would help to improve the conditions of the mortars to be used in the maintenance and conservation of colonial structures, in this way to preserve the essence of the construction materials used by our ancestors.

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

La conservación y restauración de riquezas culturales es una actividad profesional dedicada a promover la permanencia de aquellas manifestaciones culturales y artísticas, de tal manera que al protegerlas y rescatarlas responsablemente se logren transmitir a generaciones futuras, al asegurar su uso actual y al respetar su significado histórico, artístico y social.

Desde los tiempos de la colonia, se ha realizado la conservación y restauraciones ya sea por reconstrucción de partes colapsadas, reparaciones o colocación de refuerzos sísmicos. En efecto, en la gran mayoría de estas intervenciones, no se han registrado informaciones respectivas, por lo que no se evaluaron los tipos de materiales utilizados (González, 2000).

En la actualidad, las investigaciones llevadas a cabo en este campo recomiendan que los morteros de restauración deben asemejarse a los morteros originales en aspectos estéticos a los que van a reemplazar y adecuados a su función en el edificio, deben ser compatibles con el resto de elementos de fábrica piedra, morteros, ladrillos y poseer unas características físico-químicas y de resistencia a los agentes externos semejantes al resto de la obra, además de contar con unas propiedades de puesta en obra óptimas trabajabilidad, compacidad y docilidad. Es por ello que se hace necesaria la realización de una evaluación previa de la calidad de estos materiales. La adecuada selección de las materias primas áridos, aglomerante, agua y posibles aditivos que conforman el mortero es primordial para su futuro comportamiento. Es importante una correcta selección de la naturaleza de los mismos, así como de aspectos físicos de los componentes granulometría y morfología. Existen numerosos tipos de morteros, pero en el caso de obras de piedra, los morteros de cal son, sin lugar a dudas, los más compatibles, por lo que son los más recomendables siempre que los requerimientos de su puesta en obra lo permitan (González, 2000).

La conservación y particularmente la restauración de edificios históricos son disciplinas que requieren ser dirigidas por especialistas con experiencia y capacidad técnica en el uso de los materiales tradicionales y sistemas estructurales que demande el edificio. La ingeniería civil ha tenido una evolución extraordinaria en las últimas décadas en el campo de la restauración, debido a los distintos tipos de edificios, las diferentes técnicas que se emplearon y los diversos grados de dificultad que presenta cada obra para su restauración son causa que obligan a la formación de especialistas con conocimientos en inmuebles con valor histórico.

Un equipo de la Universidad de Sevilla, en España, ha ideado un nuevo método de restauración del patrimonio arquitectónico, basado en la actualización de los materiales empleados originalmente en su construcción, que mejora la protección sus fachadas ante el 'ataque' de acciones externas procedentes de la atmósfera como los gases contaminantes o la lluvia. Este sistema, según apuntan los investigadores, también permite reducir el coste asociado a este tipo de reconstrucciones. Este es el caso, por ejemplo, de los morteros de

cal, cal hidráulica o jabelga (mezcla de cal, marmolina y agua), materiales que hoy día son abandonados por la industria y que garantizan, según los expertos, una mejor reconstrucción de los edificios históricos. En ocasiones, los productos utilizados actualmente en la restauración procedente de la industria de los polímeros, no tienen la compatibilidad y durabilidad necesaria con los materiales originales, de forma que su efecto protector es menor e incluso nocivo ante agentes destructivos.

En concreto, los especialistas ya han aplicado este nuevo método en las fachadas sur y este del ayuntamiento de la ciudad o la Puerta de Marchena del Real Alcázar de Sevilla construidos con piedra caliza. En su estudio publicado en la revista *Construction and Building Materials*, los expertos han demostrado la eficacia de restaurar y proteger edificios históricos, como el ayuntamiento de Sevilla, a partir de la recuperación de aquellos materiales que se utilizaron para su construcción. Las finas capas de micromortero de cal forman un escudo protector, una piel de sacrificio ante los gases contaminantes procedentes de los vehículos y también de las gotas de lluvia, a veces ácida, que tanto dañan –erosionan- a las piedras calizas. De este modo, los expertos apuntan que el efecto protector de estos materiales será eficaz, como mínimo, durante medio siglo. Asimismo, emplear este tipo de compuestos también reduce el coste normalmente asociado a los procesos de restauración del patrimonio arquitectónico (Robador, 2015).

A través de la historia nuestras estructuras civiles, han recibido diversas intervenciones, ya sea para reparar y reconstruir zonas colapsadas o reforzarlos sísmicamente. Estas estructuras en su gran mayoría son de calicanto es decir de piedra con argamasa, que en su diseño y construcción fueron concebidas para soportar cargas de gravedad y pequeñas sobrecargas. En Latinoamérica, pese quizás a que este tipo de estructuras representaba el legado del viejo continente, podemos contar con varios puentes conservados como por ejemplo en Brasil el puente del palacio antiguo; en Colombia el puente La Libertad. En el Perú tenemos escasos trabajos de conservación en puentes y edificaciones antiguas registrados o publicados, pero sin embargo podemos mencionar el puente Calicanto en Huánuco que pasa sobre el río Huallaga, el puente Bolognesi y Grau en Arequipa que cruza el río Chili. Por otra parte podemos mencionar otros trabajos en los puentes históricos que fueron dirigidos para poder acoplarse a las necesidades actuales perdiéndose en muchos casos el valor histórico y arquitectónico con el cual fueron construidos en sus inicios, de esta manera podemos mencionar el puente Trujillo y el puente Balta que pasa sobre el río Rímac en el centro histórico de la ciudad de Lima (Bardales, 2013).

También tenemos otras estructuras antiguas que fueron trabajadas a base de calicanto como son la catedral de Lima, la fortaleza del real Felipe en el Callao, el santuario de la virgen de la Candelaria en Torata – Moquegua y la Basílica menor y convento de San Pedro en Lima. Así existen muchas estructuras coloniales que por falta de valoración cultural y desconocimiento por el comportamiento real de la gran mayoría de ellas ante situaciones

críticas son dejados al abandono. Son muchas las transformaciones que se realizaron y se realizan en estructuras antiguas tal vez sin ningún cuidado, resolviéndose el problema de la forma más simple y económica posible, aunque el resultado final este transgrediendo con la integridad de la obra original. Sin tener en cuenta quizás el estilo arquitectónico e ingenieril que estas representan para la humanidad (Bardales, 2013).

En el Perú con casi 500 años de historia, gran parte del casco antiguo de Lima, declarado Patrimonio de la Humanidad, languidece con muchos de sus tesoros arquitectónicos convertidos en tugurios y abandonados al lento pasar del tiempo, que los cubre de polvo e incluso los reduce a escombros y cenizas. Martell, consideró que el estado de conservación del centro de Lima es “paupérrimo” y puso como ejemplo más simbólico a la casona conocida como El Buque, situada en los Barrios Altos, que se ha incendiado hasta dos veces mientras convive con construcciones que transgreden su entorno histórico (RPP Noticias, 2017).

En la actualidad; El centro de investigación, documentación y asesoría poblacional estima que el 83% de los edificios monumentales registrados (de los más de 600 existentes) corre peligro de colapsar. Estos edificios en muchas ocasiones son utilizados con fines comerciales u otros usos que no se encuentran regulados, lo que causa el deterioro o incluso la destrucción del patrimonio. En las últimas décadas han existido planes para la recuperación del Centro Histórico y planes generales para Lima, pero estos no suelen ejecutarse plenamente, principalmente por falta de continuidad en la visión de los mandatarios (Valverde, 2017).

Cuando se habla de la ciudad de Trujillo, la referencia principal son sus calles de piedras, de cemento, pero sobre todo sus casas coloniales, aquellas con tejados antiguos, con solares grandes, y zajuanes, muchas de ellas, en las que nacieron y vivieron grandes personajes trujillanos. Pero al no existir un plan de conservación muchas de estas casas coloniales se han deteriorado con el paso del tiempo, que ni siquiera la municipalidad ha logrado recuperar para mantener ese casco histórico. Historia que dejaron encerrada dentro de tantas paredes que están desquebrajadas, fachadas destruidas, en ruinas y a las que nadie les echa una mano.

Trujillo, lamentablemente se ha convertido en el pueblo de latas, cuando una casa se cae se coloca una lata, cuando una construcción no se ha culminado se coloca una lata. Y mientras el tiempo transcurre el descuido impera en la ciudad capital, hay muchos propietarios de estas casas que se han marchado, o el lugar está en litigio sin que nadie pueda recuperar el sitio, y no existe la manera de negociar para recuperar el espacio, y ponerlo al servicio del pueblo, como museo, como institución de tantos organismos que funcionan hacinados (Paredes, 2017).

Al menos 60 casonas coloniales y republicanas ubicadas en el centro histórico de Trujillo corren el riesgo de colapsar por las lluvias y el deplorable estado en que se encuentran. Así

informaron fuentes del ministerio de cultura, quienes precisaron que la cifra corresponde al 50% de los monumentos históricos ubicados en el centro de Trujillo (Comercio, 2015).

El patrimonio cultural peruano está bajo el amparo del estado y de la comunidad nacional, cuyos miembros están en la obligación de cooperar en su conservación. Dicho patrimonio se divide mayormente en arqueológico, histórico-artístico, bibliográfico y documental, siendo los organismos estatales competentes para su preservación y cautela, el instituto nacional de cultura, la biblioteca nacional del Perú y el archivo general de la nación. Es responsabilidad de estas instituciones el identificar, normar, conservar, cautelar, investigar y difundir el patrimonio cultural del Perú en los ámbitos de su competencia. Así como también la elaboración y ejecución de planes para la conservación y restauración del patrimonio cultural, el estudio de métodos y técnicas actualizadas para la restauración y conservación del mismo, la difusión e intercambio con organismos internacionales y propuesta de celebración de convenios con entidades públicas o privadas para la conservación del patrimonio (Organización de Estados Iberoamericanos, 2014).

El marco legal de protección del patrimonio cultural está dado por la ley n° 28296, ley general del patrimonio cultural de la nación, donde los bienes integrantes del patrimonio cultural de la nación, independientemente de ser privados o públicos, están protegidos por el estado es por ello que para la reconstrucción, modificación o restauración total o parcial de un bien mueble o inmueble perteneciente al patrimonio cultural de la nación debe tenerse autorización previa del Instituto Nacional de Cultura.

Los Conglomerantes son materiales que al hidratarse se vuelven pastosos, se fraguan y adquieren rigidez, permitiendo así la elaboración de productos conglomerados que facilitan la puesta en obra y la prefabricación de los sistemas constructivos con el respectivo no sólo abaratamiento de costos sino también una interesante versatilidad formal. Pueden ser Conglomerantes aéreos que son los que endurecen en contacto con el aire y los Conglomerantes hidráulicos que son los que pueden endurecer en contacto con el aire y sumergidos en agua. Los conglomerantes más utilizados son el yeso, la cal, y el cemento que son utilizados como medio de unión entre dos materiales, formando una masa llamada mortero (Ancade, 2017).

La producción de caliza representó el 43.7% de la explotación de minerales no metálicos (también denominados industriales) a nivel nacional, con un volumen de extracción de 24 millones 662 mil TM. La explotación de este mineral, cuyo uno de sus principales usos es la producción de cemento, se concentra mayormente en Junín, Lima y Arequipa (El comercio, 2015).

El uso del mortero en la construcción ha sido muy diverso; En los actuales procesos constructivos de obras de ingeniería es bastante usual la utilización de morteros para revoques, como capa protectora de la albañilería y de la estructura, o bien como acabado final decorativo. Esto ocurre por su estética, facilidad de aplicación y algunas propiedades

que el mismo material confiere, como estanqueidad, confort acústico y térmico. Los tipos de morteros utilizados en la construcción se definen en relación al conglomerante que se utiliza y a sus proporciones adecuadas así tenemos morteros de cal, yeso, cal -arena, cemento – cal, cemento – arena, entre otros (Ancade, 2017).

La fabricación de morteros ha experimentado cambios importantes, pasando de una fabricación artesanal a una fabricación industrial, utilizando productos de calidad y procedimientos industriales que le permiten garantizar la producción de morteros de calidad. Muchas veces no se le da la importancia necesaria en cuanto a la preparación de una correcta dosificación para realizar un mortero, haciendo a este deficiente a la resistencia entre otros más (Ancade, 2017).

Para esto, en esta investigación se ha planteado la realización de ensayos para el control de calidad de morteros de cal y arena, en donde para la realización de los ensayos de los morteros se ha adquirido muestras de cales de diferentes marcas (cales de obra) que son: Martell, hades, cal informal I, cal informal II, cal informal III y cal informal IV ;se tomaron estas muestras debido a que son las cales que están distribuidas en la ciudad de Trujillo ; y arena gruesa de la cantera calderón del Milagro que es la que al pasar por un control de calidad fue la más óptima. Se empleará agua constante para todos los morteros realizados debido a que al realizar estudios preliminares para saber la cantidad de agua a emplear esta cantidad le daba mayor trabajabilidad al mortero.

Resulta oportuno mencionar que las cales cumplen funciones muy importantes como protección, recubrimiento y estética sobre el material que se aplica. En el mercado existe una gran variedad de cales aparentemente confiables, ya que el producto viene certificado con una ficha técnica. Sin embargo, puede que este no cumpla con los estándares mínimos establecidos, y al adquirirlos se tenga productos de mala calidad, trayendo consigo diferentes problemas en la obra como; desprendimientos, mal recubrimiento, bajo rendimiento, contratiempos, entre otros. Teniendo en cuenta que la calidad del producto es lo que define los buenos resultados en los proyectos de construcción civil.

Por ello es de vital importancia un buen control de calidad de estos morteros, para que de esta manera puedan ser utilizados para las restauraciones y conservaciones de los patrimonios culturales, pues en los antepasados era muy usado los morteros de cal y arena en sus construcciones, de esa manera al ser utilizados en la actualidad no se pierde la esencia de la cultura de nuestro país.

## 1.2. Formulación del problema

¿De qué manera influyen los tipos de cal y la proporción en morteros para la conservación sobre la resistencia a la compresión, contracción, densidad, absorción y fraguado, Trujillo 2018?



### 1.3. Justificación

En la actualidad las estructuras coloniales corren riesgo de deterioro por los eventos sísmicos, la evolución de la vida social, el desinterés en la conservación, restauración y la economía. De continuar este proceso, el deterioro de estas estructuras coloniales representara un empobrecimiento del patrimonio cultural de nuestro país, es ahí donde se hace uso de los morteros ya que estos forman parte de los materiales de construcción que se han venido utilizando desde la más remota antigüedad (Aguilar, 2005).

Es por ello que en este proyecto de investigación se realizará el debido control de calidad tanto a la cal como a la arena gruesa para la utilización como mortero de asiento, que puedan cumplir con las normas necesarias para encontrarse dentro de un estándar. Se analizaran las modificaciones de composición durante el fraguado para saber el tiempo en que demora en endurecer los morteros y la evolución de propiedades físicas con los ensayos de granulometría para saber la distribución de los tamaños que tienen la arena y la cal ;contenido de humedad para saber cuánto es el contenido de agua que posee la muestra ; para la arena gruesa , peso unitario que nos permite describir el peso por unidad de volumen y nos brinda información de volúmenes de materiales compactados ; peso específico usado para calcular el volumen ocupado por el agregado y absorción para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida , también se tendrán en cuenta, propiedades mecánicas en morteros de nueva factura preparados con cal, arena gruesa y agua constante. Analizando de esta manera la influencia de diversos factores, como son el tiempo de curado, la dosificación conglomerante-árida, las características del árido , la porosidad ,la absorción y la contracción volumétrica del mortero ; se analizara las propiedades de morteros como son densidad , la resistencia a la compresión para saber Esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento , y la retracción logrando con ello comparar la mejor relación aglomerante árido ;por último se realizara los ensayos químicos para saber la composición de la cal , el pH para medir si es básico o ácido y la conductividad para poder calcular la salinidad (Ancade, 2017).

Se utilizó la Cal porque constituye el material aglutinante tradicional más utilizado en la construcción de edificios desde la llegada de los españoles, destacando que también fue utilizado durante la época prehispánica para la construcción de pirámides y edificaciones civiles. La Cal es el material adecuado para las diferentes acciones de conservación que se realizan en la actualidad en los inmuebles de carácter histórico y arqueológico, donde es utilizado en la elaboración de morteros de asiento, grietas y fisuras, confinamientos y mejoramientos de suelo, aplanados y pintura, entre otros. La cal tiene capacidad bioclimática y es capaz de conservarse en perfectas condiciones durante siglos, funcionando al mismo tiempo como capa protectora para los materiales tradicionales, como piedra, barro o ladrillo (Ancade, 2017).

En la ciudad de Trujillo, para la adquisición de cal es muy poco el comercio de cales formales, solo 2 ferreterías tienen este producto con su debida ficha técnica; pero en las demás ferreterías se encuentra cales que no tienen ficha técnica y que las venden informalmente es por eso se decidió estudiar los dos tipos de cal tanto formales como informales. Estas cales serán reemplazadas por arena para analizar si la arena gruesa le puede dar mejores propiedades al mortero cal: carena; con una cantidad de agua constante que nos dé mayor trabajabilidad en el momento del amasado de la cal y pueda tener mejores propiedades.

Los morteros serán realizados en una proporción cal : arena en 5 dosificaciones diferentes 100%:0% , 90%:10% , 80%:20% , 70%:30% y 60%:40% ; las dosificaciones fueron asignados debido a que se realizó un estudio preliminar con probetas piloto; la arena será adquirida de la cantera Calderón , la cual en un estudio realizado fue la mejor arena gruesa en Trujillo ; pues de esta manera se podrá analizar como varían sus propiedades físicas y mecánicas; así también se determinara cual es la mejor cal en la provincia de Trujillo para los morteros de cal con arena gruesa.

Con los resultados obtenidos se podrá dar a conocer cuál es la mejor cal para la composición de morteros de cal y arena, para poder ser utilizados en las restauraciones y el mantenimiento de construcciones coloniales. Así mismo se podrá generar nuevas hipótesis y proyecciones para ser empleados en otros campos de la construcción y generar el interés sobre la utilización de los morteros empleados en las construcciones antiguas.

#### **1.4. Limitaciones**

Limitado material bibliográfico nacional acerca de investigaciones de mortero de cal y arena gruesa aplicados en restauraciones del patrimonio cultural.

#### **1.5. Objetivos**

##### **1.5.1. Objetivo general**

- Determinar la influencia de los tipos de cal y la proporción en morteros para la conservación sobre la compresión, contracción, densidad, absorción y tiempo de fraguado.

##### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Analizar la caracterización de la arena gruesa y los diferentes tipos de cal (Martell, Hades, informal I, informal II, informal III, informal IV) respecto a los ensayos de granulometría por lavado (NTP 400.018), humedad (NTP 339.185), peso específico

y absorción de agregado fino (NTP 400.022), peso unitario (NTP 400.017), pH y conductividad (NTP 339.088).

- Establecer la dosificación óptima de la relación cal: arena para mejorar las propiedades del mortero.
- Evaluar la resistencia a compresión (ASTM C 109) de los morteros de cal – arena en las diferentes dosificaciones de reemplazo establecidos 100%:0, 90%:10%, 80%:20% ,70%:30%, 60%:40%.
- Determinar la contracción (UNE – 80-112), densidad, absorción (ASTM C 373) y tiempo de fraguado (ASTM C 191) de los morteros cal- arena.
- Analizar económicamente el mortero compuesto por cal: arena con un mortero convencional de cemento: arena.
- Determinar estadísticamente si las variables independientes influyen en las variables dependientes.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

Gonzales, M., 2000 en la Universidad Politécnica de Madrid publicó la tesis “Recuperación de morteros romanos de cal y chamota en aplicaciones actuales”. El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal analizar e interpretar los resultados de los ensayos realizados con mezclas de cal aérea apagada, chamota, arena y agua, que serán obtenidos a partir de un análisis teórico fundamentado en el comportamiento individual de la cal y en el conjunto cal, chamota y arena, y también comprobando experimentalmente su comportamiento físico y mecánico, así como su composición mediante difracción por rayos x y análisis microestructural. Llegando a la conclusión en primer lugar que se puede modificar y mejorar las características mecánicas y físicas de los morteros de cal mediante la adición de chamota o polvo de ladrillo, así también la arena, en general, y para el uso de morteros de agarre para fábricas de ladrillo, no mejora las condiciones del mortero, también se pudo apreciar que, a edades tempranas, habitualmente, se aprecia un mejor comportamiento físico y mecánico de las probetas conservadas al aire. Sin embargo, a mayor edad se van igualando los resultados con respecto a las probetas conservadas sumergidas en agua, llegando estas a superar incluso a las conservadas al aire en valores de resistencia y por último como dosificación para morteros de agarre de fábricas de ladrillo, tanto en restauración como en obra nueva, se puede concluir que es la que contiene una relación en peso con respecto a la cal comprendida entre 1, 5, 2 para la chamota de granulometría fina y temperatura de cocción en el entorno de los 1000 °C, y entre 1 y 1,5 para agua. Esta investigación nos permite conocer los ensayos químicos como el de rayos x y los ensayos físicos a realizarse a los morteros de cal y también la idea del reemplazo de cal por arena para analizar su influencia en el mortero.

Sepulcre, A., 2005 en Madrid realizó la tesis “Influencia de las adiciones puzolánicas en los morteros de restauración de fábricas de interés histórico-artístico”. Dado que los morteros hidráulicos, y los materiales que los componen, se estudian a menudo para otras prestaciones con requisitos opuestos a la conservación y restauración del patrimonio, donde existen grandes lagunas en este campo, el objetivo de la tesis es favorecer el diseño de morteros de restauración mediante el empleo de cal con adiciones hidráulicas, puzolánicas y tixotrópicas, y estudio de su relación con las cal hidráulicas naturales. Primero se estudió la activación puzolánica de productos, en cuanto a: temperatura y tiempo de cocción, y análisis por métodos químicos, por métodos térmicos y por métodos mecánicos, con y sin aceleración del curado. Luego se fabricaron varias series de morteros de cal aérea (control), de cal – MK (metacoalín), cal – CPO, de NHL y de cal –MK-sepiolita, en los que se estudiaron sus propiedades físico –mecánicas (densidad, porosidad, absorción, resistencia, elasticidad), mediante balanza hidrostática, transmisión de ultrasonidos y prensado con medida de los desplazamientos mediante LVDT, y se caracterizaron

las frases de fraguado presentes. Teniendo como unas de las más importantes conclusiones que la adición de MK a los morteros de cal supone un aumento de la resistencia a más del triple, en una tercera parte del tiempo, frente a los morteros de cal aérea, incluso en curados al aire, los morteros de cal son capaces de reaccionar puzolánicamente, al menos, con la misma cantidad de MK en peso, los resultados más parecidos a los morteros de cal aérea se obtuvieron con los morteros de cal –MK, cuando este no está totalmente transformado en MK amorfo de esta manera podría explicar el buen comportamiento de los morteros históricos con ladrillos triturados. El aporte de esta investigación es la metodología que emplea en la realización de los ensayos mecánicos y físicos; así como también la utilización de los morteros de cal en las restauraciones.

Medrano, E., 2006 en la Universidad de San Carlos de Guatemala, realizó la tesis “Evaluación de la incidencia de la cal en las propiedades físico-mecánicas de tres tipos de mortero de albañilería”. Su objetivo principal en este trabajo de investigación es evaluar la incidencia de la cal en las propiedades físico-mecánicas de tres tipos de morteros de albañilería en proporciones definidas aplicando normativa internacional como nacional para poder realizar un análisis experimental. Los agregados utilizados fueron arena triturada, arena amarilla y arena pómez en donde el de trituración es el único que se encuentra dentro de los límites granulométricos especificados por la ASTM C144, es el más denso y su porcentaje de absorción es bajo; así mismo se realizaron morteros de sabienta-cal, sabienta, cernido – cal, cernido, repello – cal y repello. Para los morteros de levantado, el desarrollo de resistencia de 28 a 56 días para la sabienta fue del 13.7% y de la sabienta-cal fue del 12.5%, la sabienta desarrolló mayor resistencia a la compresión que la sabienta-cal. En los morteros de acabado el desarrollo de resistencia de 28 a 56 días para el cernido fue del 51.9% y de la cernido-cal fue del 11.6%, el cernido desarrolló mayor resistencia que el cernido-cal. En los morteros de recubrimiento el desarrollo de resistencia de 28 a 56 días para el repello fue del 22.3% y del repello-cal fue del 29.2%, el repello desarrolló mayor resistencia que el repello-cal. Llegando a la conclusión de que la resistencia a la compresión a edades tempranas de los morteros disminuye con la adición de cal, así también que los morteros de cemento-cal desarrollan mayor resistencia a la tensión a 28 y 56 días, que el módulo de ruptura es mayor a comparación con los morteros de cemento y cal así mismo son menos permeables que los morteros de cal, siendo los morteros de cemento los más permeables. Esta investigación nos aporta los valores de resistencia a la compresión en los que puede estar los morteros de cal con adiciones, así como también los usos y la teoría de las propiedades de los morteros de cal.

Hijar, F., 2004, en Lima realizó la tesis “Estudio de mortero de mediana a baja resistencia de cemento, con adición de cal aérea”. La presente investigación tiene como fin recopilar la mayor información del comportamiento del Mortero adicionado con Cal, para que en un futuro no muy

lejano comience a producir cementos con cal adicionado en grandes cantidades y así disminuir el costo de los aglomerantes artificiales y aumentar la producción de obras civiles. Por lo que se buscó establecer características de Mortero con adición de Cal Aérea en comparación con el Mortero Patrón (cemento: Arena), esto ayudo a decidir el tipo de proporción a utilizar en los distintos papeles que toma el Mortero en las Obras Civiles. En el estudio se experimentará seis clases de morteros con proporciones variables de cemento y cal Aérea, pero todos en la relación de uno en material aglomerante por tres de arena en volumen. Las conclusiones principales son siguientes: los morteros de Cal Aérea no producen sales nocivas, su lento fraguado y elasticidad, evitan que se presente fisuras o cuarteos, utilizando este tipo de morteros ya no necesitan aditivos plastificantes; los morteros con adición de cal incrementan su trabajabilidad y disminuyen su peso unitario, lográndose morteros más livianos; Los morteros con adición de cal retardan su tiempo de fragua, según el porcentaje de cal adicionado. En el estudio de la tesis las variaciones observadas fueron desde 22% hasta 100% con respecto al mortero patrón, observándose también que la temperatura y humedad del ambiente, influye en este comportamiento; A la edad de 28 días y habiéndose adicionado 25 % de cal en la mezcla se obtuvieron los mejores comportamientos mecánicos de este material tales como: resistencia a compresión, tracción y flexión; las combinaciones más óptimas para revestimientos de superficies sumergidas o en contacto temporal con el agua, se obtuvieron con 25% y 60% de adición de cal en la mezcla; Los morteros con adición de cal presentan mayor resistencia a los sulfatos y soluciones dañinas que pudiese estar en el medio ambiente o terreno y por ultimo del Análisis Económico de Costos se observa que en los morteros con adición de cal se puede lograr minorar los costos desde 40% hasta 85% con respecto al mortero tradicional. Esta investigación nos permite determinar el costo de los morteros de cal en comparación con los de cemento, da una referencia del comportamiento de los morteros de cal y también de su tiempo de fraguado.

Fernández, Y., 2009 en la Universidad Católica de Lima publicó la tesis "Sistemas de refuerzo estructural en monumentos históricos de la región Cusco" se desarrolló con el objetivo de determinar los sistemas de refuerzos estructurales en monumentos históricos de la Región del Cusco, a través del registro y evaluación de los tipos de refuerzo estructural utilizados en la restauración de una iglesia de adobe, la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales usados en restauración, y evaluación de la efectividad de los refuerzos estructurales. El refuerzo estructural más utilizado para los muros adobe de los monumentos históricos en la región del Cusco son las llaves de madera rolliza y vigas collar. En la cimentación y sobrecimentación de un monumento histórico de adobe se empleaba un mortero de barro, el cual con las técnicas de restauración actuales han sido remplazados por morteros de cemento o cal. De los ensayos realizados a las muestras de abobe se concluye que dependiendo del lugar donde se ubica el monumento histórico la resistencia a la compresión de los adobes varia debido a que para su fabricación se usa el material cercano a la zona. Es importante también que los

monumentos históricos de adobe deben contar con un sistema de drenaje superficial, y sub drenaje para evitar los usuales problemas de humedad que se presentan en este tipo de construcciones y que las técnicas de restauración utilizadas para monumentos históricos de adobe en la región del Cusco hasta el momento del estudio, tienen un comportamiento adecuado frente a los diferentes eventos sísmicos que se han presentado. Esta investigación facilitó la parte teórica de la restauración y conservación del patrimonio histórico, así como también la metodología empleada para las restauraciones y evaluación de daños en los patrimonios culturales.

Jara.R ,2014 en Cajamarca realizó la tesis "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso", tiene como objetivo evaluar el efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso para el mejoramiento de sus propiedades físicas y mecánicas mediante procedimientos normados. En esta investigación para la evaluación se trabajó con diferentes porcentajes de cal, 0%, 2%, 4% y 6%, en peso de la muestra de suelo arcilloso a evaluar, tomando estos porcentajes de cal según norma ASTM 6276 y ejecutando los ensayos de acuerdo a procedimientos normados. Los resultados obtenidos de esta evaluación de estabilización son variaciones muy grandes, en el índice de plasticidad bajo a un valor de 9.23 con la adición de cal al 6% siendo el Índice de plasticidad inicial de 36.87 con la adición de cal al 0%, y una variación considerable en el CBR (capacidad de soporte), logrando alcanzar un valor de 11.48% al adicionarle cal al 4% siendo el CBR con cal al 0% de 2.55. Evaluando los resultados obtenidos, con los diferentes porcentajes de cal, para el tipo de suelo A-7-5(29), se tiene mejores resultados con la adición de 4% de cal con la cual se obtiene el máximo CBR al 95% que es de 11.48%. La investigación aporta el conocimiento de los usos que se le da a la cal en la estabilización en el Perú.

Aquehua, J.; Sucasaca, J., 2015 en Cuzco publicó la tesis "Estudio de los morteros de la portada principal de la catedral del Cusco", esta investigación tiene como objetivo principal caracterizar los morteros originales usados en la construcción de la Portada Principal de la Catedral del Cusco para proponer un mortero de restauración y usarlo en intervenciones posteriores. La metodología del proyecto de investigación consiste en obtener muestras de mortero en diferentes ubicaciones de la Portada Principal de la Catedral del Cusco, con la debida autorización del Arzobispado del Cusco y la Dirección Desconcentrada de Cultura del Cusco. Someter estas muestras a ensayos de caracterización de sus propiedades físicas, químicas, mecánicas y estéticas como son: Difracción de Rayos X, Análisis Químico, medidas granulométricas para las dosificaciones, distribución de tamaños de los áridos, entre otros estudios. En base a los datos cuantitativos se puede decir que los morteros originales usados no tuvieron una distinción por elementos constructivos y estructurales en su elaboración original que fuese a propósito, diferente, ya que presentan proporciones muy poco variables entre sí. Existió presencia de minerales de arcilla

tales como la bentonita (montmorillonita) e illita que son silicatos de aluminio hidratados, que pudieron agregarse a la mezcla mediante las impurezas de las calizas, o formar parte del agregado usado (arenas sucias). El valor de PH de todas las muestras es superior a 7, detectándose un máximo de 11.01 en la muestra M3, indicio de la utilización de cemento, por su carácter alcalino. Petrográficamente la textura de los morteros originales es similar a una arenisca o limolita calcárea. Se concluye que el mortero tipo M6 (1:2 cal hidráulica y agregado de Huambutio respectivamente), es el más adecuado de los morteros propuestos y recomendado para su uso como mortero de restauración. La presente investigación ayuda a tener más clara la idea de los ensayos físicos, mecánicos y químicos realizados a los morteros de cal, así como también lo importante de utilizar estos morteros en las restauraciones y mantener la identidad cultural.



## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Morteros

El mortero es un material plástico compuesto por un aglomerante (cemento, cal, yeso), agregados finos y agua; que sirven como material de agarre para unir ladrillos que forman parte de obras de construcción y también para revestirlos con enlucidos o revocos. (Arquigrafico, 2016)



*Figura 1: Utilización de morteros: enlucidos, material de agarre y revocos*

#### 2.2.1.1. Tipos

Por su endurecimiento se pueden distinguir dos tipos de morteros: Los aéreos que son los que endurecen al aire pues pierden agua por secado y fraguan paulatinamente por un proceso de carbonatación y los hidráulicos o acuáticos que endurecen bajo el agua, debido a que su composición les permite desarrollar resistencias iniciales muy altas.

Teniendo en cuenta los materiales que los constituyen, pueden ser:

- **Morteros calcáreos:** Los que interviene la cal como aglomerante, se distinguen, según el origen de ésta en aéreos e hidráulicos. Las cales aéreas más conocidas son la cal blanca y la cal gris (dolomítica); en los morteros aéreos la arena tiene como objetivo principal evitar el agrietamiento por las contracciones del mortero al ir perdiendo el agua de amasado. Se recomienda que la arena sea de partículas angulares y que esté libre de materia orgánica. La proporción de cal-arena más usada para revoque es de 1 -2 y para mampostería simple de 1-3 o de 1-4. Si la proporción aumenta el mortero pierde ductilidad y trabajabilidad.
- **Morteros de yeso:** Se preparan con yeso hidratado con agua. El contenido de agua es variable según el grado de cocción, calidad y finura de molido del yeso. La cantidad de yeso que se agrega en obras corrientes es 50%, para estucos el 60% y para moldes

el 70%. El mortero se prepara a medida que se necesita, pues comienza a fraguar a los cinco minutos y termina más o menos en un cuarto de hora.

- **Morteros de cal y cemento:** Son aconsejables cuando se busca gran trabajabilidad, buena retención de agua y alta resistencia. Las relaciones de mezcla más usadas varían entre 1:2:6 y 1:2:10 de cemento, cal, arena y el agua que se necesita varía de acuerdo a la composición del mortero y a la consistencia deseada.
- **Morteros de cemento:** Se componen de arena y cemento Portland. Este mortero tiene altas resistencias y sus condiciones de trabajabilidad son variables de acuerdo a la proporción de cemento y arena utilizados. Es hidráulico y debe prepararse tomando en cuenta que haya el menor tiempo posible entre el amasado y la colocación; lo más común es mezclarlo en obra, empezando a revolver primero el cemento, la arena y por último adicionando el agua. En el mortero de cemento al igual que en el hormigón, las características de la arena, tales como la granulometría, módulo de finura, forma, textura de las partículas y el contenido de materia orgánica, juegan un papel decisivo en su calidad.

#### 2.2.1.2. Aplicaciones

Los morteros pueden tener una función estructural, y pueden usarse entonces en la construcción de elementos estructurales, o en la mampostería estructural en donde puede ser de pega o de relleno en las celdas de los muros.

Existen otros morteros que no tienen función estructural y se destinan a recubrimiento como pañetes, repellos o revoques.

- Mortero de pega: debe tener cualidades especiales, diferentes a los morteros usados para otros fines porque está sometido a las condiciones especiales del sistema constructivo, y una resistencia adecuada ya que debe absorber esfuerzos de tensión y compresión.
- Morteros de relleno: Se utilizan para llenar las celdas de los elementos en la mampostería estructural, y al igual que el mortero de pega debe tener una adecuada resistencia.
- Morteros de recubrimiento: Ya que su función no es estructural sino de embellecimiento, o la de proporcionar una superficie uniforme para aplicar la pintura, no requieren una resistencia determinada; la plasticidad juega en ellos un papel muy importante (Lopez, 2017).

## 2.2.2. Agregados

Se define como agregados al conjunto de partículas inorgánicas, de origen natural y artificial.

### 2.2.2.1. Clasificación de los agregados

- **Según su procedencia:** Pueden ser agregados naturales que son formados por procesos geológicos naturales, estos agregados son los de uso más frecuente a nivel mundial y particularmente en nuestro país por su amplia disponibilidad tanto en calidad como en cantidad; así también agregados artificiales que provienen de un proceso de transformación de materiales naturales, algunos agregados de este tipo los constituyen la escoria de altos hornos, la arcilla horneada, el concreto reciclado, la microsílíce etc.
- **Según su tamaño:** Se ha establecido convencionalmente la clasificación entre agregado grueso (piedra) y agregado fino (arena) en función de las partículas mayores y las menores de 4,75 mm (Malla Standard ASTM # 4). Esta clasificación responde además a consideraciones de tipo práctico ya que las técnicas de procesamiento de los agregados (zarandeo, chancado) propenden a separarlos en esta forma con objeto de poder establecer un control más preciso (Carbajal, 2004).

### 2.2.2.2. Propiedades físicas de los agregados

Las propiedades físicas de mayor importancia para el diseño de mezcla son; peso específico, peso unitario, absorción, humedad, y la granulometría.

- **Peso específico:** Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen de las mismas sin considerar los vacíos entre ellas. Esta propiedad es utilizada como un indicador de calidad, mientras los valores sean elevados corresponden a materiales de buen comportamiento y si son bajos generalmente corresponde a agregados absorbentes y débiles.
- **Peso unitario:** Es el resultado de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos. Al incluir los espacios entre partículas influye la forma de acomodo de estos. El procedimiento para la determinación del peso unitario suelto y compactado se encuentra en la norma NTP 400.017.
- **Absorción:** Es la capacidad de los agregados de llenar con agua los vacíos al interior de las partículas. El fenómeno se origina por capilaridad, pues no llegan a llenarse todos los poros indicados pues siempre queda aire atrapado. Es de gran importancia pues se refleja en el concreto reduciendo el agua de mezcla, con influencia en las

propiedades resistentes y en la trabajabilidad, por lo que es necesario tenerla siempre en cuenta para hacer las correcciones necesarias.

- **Humedad:** La estructura interna de una partícula de agregado, está compuesta de materia sólida y de vacíos que pueden contener o no agua. El contenido de humedad, es la relación entre el peso del agua contenido en el agregado y el peso del agregado sólido seco, expresado en porcentaje. El contenido de humedad del agregado es variable según el clima, y varía también de una pila a otra, por lo que es necesario determinar dicho valor con frecuencia. El agregado grueso retiene mucho menos agua que la arena, tiene un contenido de humedad menos variable y, por lo tanto, presenta menos dificultades. Hay que diferenciar entre absorción y contenido de humedad, ya que la absorción es un valor constante del agregado y el contenido de humedad es variable en función de la exposición del agregado a la intemperie (sol, lluvia, viento, etc.).
- **Granulometría:** Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado. La NTP 400.012 establece el procedimiento para su distribución mediante el tamizado, de esta manera se obtiene la masa de las fracciones del agregado retenidas en cada uno de los tamices. Al mismo tiempo se calcula la masa retenida y/o que pasa, también los porcentajes parciales y acumulados. Durante el proceso de análisis granulométrico es importante conocer los parámetros siguientes:

**Módulo de finura:** Es un concepto sumamente importante establecido por Duff Abrams en el año 1925 y se define como la suma de los porcentajes retenidos acumulativos de la serie Standard hasta el Tamiz N° 100 y esta cantidad se divide entre 100 (Rojas, 2014).

#### **Requisitos Granulométricos para el Agregado Fino**

El agregado fino deberá estar graduado dentro de los límites especificados en la norma NTP 400.037. La granulometría seleccionada deberá ser preferentemente continua, con valores retenidos en las mallas N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100 de. El agregado no deberá retener más del 45% en dos tamices consecutivos cualesquiera.

#### **2.2.3. Cal**

- La cal es un término que designa todas las formas físicas en las que puede aparecer el óxido de calcio (CaO). Es obtenido por la calcinación de las rocas calizas o dolomías; un material muy versátil, empleado desde hace miles de años, en la

construcción. Con cal se fabrican morteros para levantar muros, ya sean de piedra, adobe o ladrillo. La cal se ha utilizado para revestimientos en paredes y suelos, para la realización de puentes y canalizaciones y como soporte para pinturas murales, destacando la técnica de pintura al fresco.

➤ **Estructura de la cal**

La cal es un producto químico básico que resulta de la calcinación de piedra caliza como  $\text{CaCO}_3$ , carbonato de calcio, proceso del que se obtiene la Cal viva como  $\text{CaO}$ , óxido de calcio, la cual después se puede apagar con agua  $\text{H}_2\text{O}$  para convertirse en cal hidratada  $\text{Ca(OH)}_2$  con el nombre de Hidróxido de Calcio. Llamado óxido de calcio, óxido de calcio (II) y cal viva.

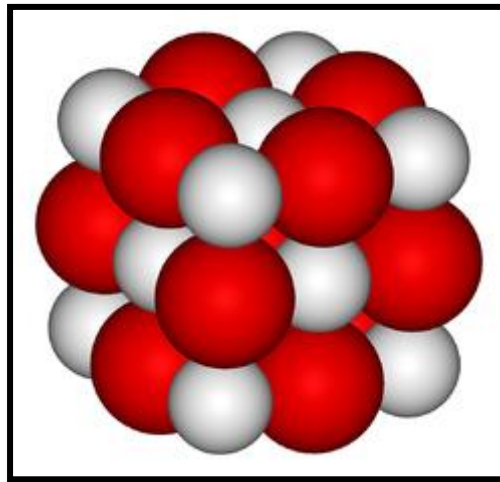
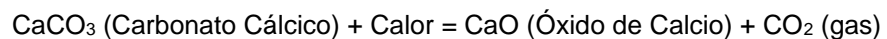


Figura 2: Estructura química de la cal (Vera, 2013).



El carbonato de calcio es un compuesto químico, de fórmula  $\text{CaCO}_3$ . Se trata de un compuesto ternario, que entra en la categoría de las oxisales. Es una sustancia muy abundante en la naturaleza, formando rocas, como componente principal, en todas partes del mundo y es el principal componente de conchas y esqueletos de muchos organismos (p.ej. moluscos, corales) o de las cáscaras de huevo. Es la causa principal del agua dura. Es el componente principal de minerales como la calcita o el aragonito y de rocas como la caliza o el mármol, procedente del metamorfismo de calizas. De apariencia como polvo blanco inodoro, densidad de  $2711 \text{ kg/m}^3$ ;  $2,711 \text{ g/cm}^3$ , masa molar de  $100.0869 \text{ g/mol}$ , punto de fusión de  $1172 \text{ K}$  ( $899 \text{ }^\circ\text{C}$ ), punto de ebullición de  $1612 \text{ K}$  ( $1339 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y Solubilidad en agua de  $0.0013 \text{ g/100 mL}$  ( $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

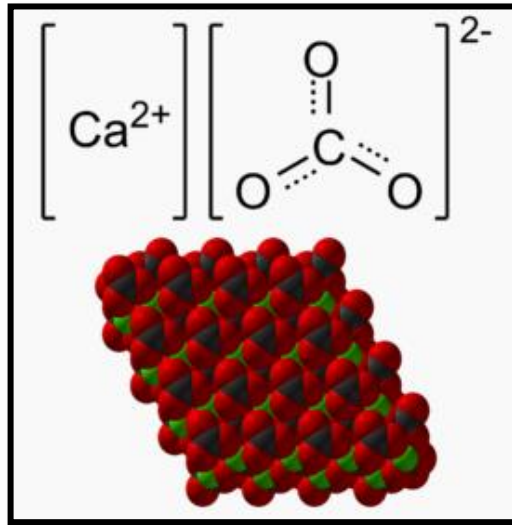
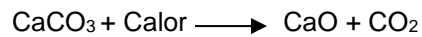


Figura 3: Estructura química del carbonato de calcio

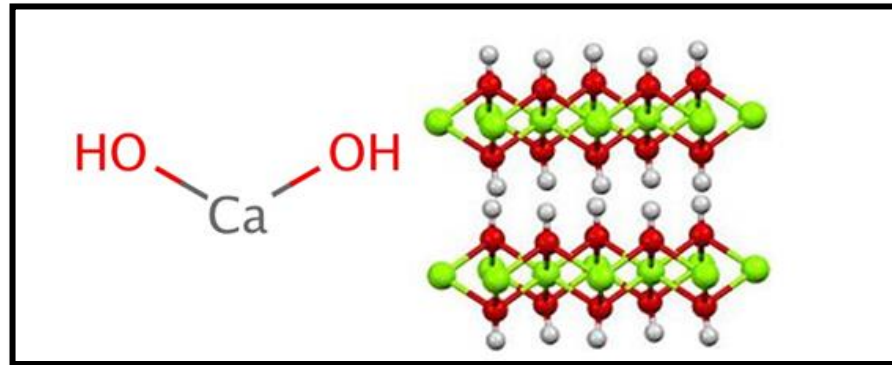
### 2.2.3.1. Tipos

- **Cal Viva:** Es el resultado de la calcinación del carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) a más de  $1000^\circ\text{C}$ , ya que éste se descompone dando dióxido de carbono y óxido de calcio o cal viva.



- **Cal hidratada:** Es el nombre comercial del hidróxido de calcio, que se forma al agregarse agua al óxido de calcio o cal viva para que una vez apagada (hidratada) pueda utilizarse. La cal apagada es el nombre vulgar del hidróxido de calcio. En este proceso se desprende gran cantidad de calor que evapora parte del agua utilizada.

El hidróxido de calcio, también conocido como cal hidratada o cal apagada, es un compuesto inorgánico de fórmula  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . El hidróxido de calcio adopta una estructura polimérica, como todos los hidróxidos metálicos, siendo idéntica a la del hidróxido de magnesio ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ) también conocido como brucita.



*Figura 4: Estructura química de la cal hidratada*

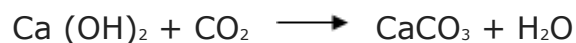
Se puede apreciar que en dicha estructura existe la formación de puentes de hidrógeno. El hidróxido de calcio se sintetiza industrialmente haciendo reaccionar óxido de calcio, también conocido como cal o cal viva, con agua de acuerdo con la siguiente reacción:



La solución acuosa comúnmente es llamada agua de cal. El agua de cal se prepara agitando hidróxido de calcio en agua pura y filtrando el exceso de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  no disuelto. Cuando se añade hidróxido cálcico en exceso al agua de cal, se obtiene una suspensión de partículas de hidróxido de calcio, dándole un aspecto lechoso, en cuyo caso tiene el nombre común de leche de cal. La leche de cal o una solución saturada de cal (agua de cal) tiene un pH de 12.3, siendo de naturaleza básica.

El hidróxido de calcio es un polvo blanco o incoloro, carente de olor, tiene un peso molecular de 74,093 g/mol y una densidad de 2,211 g/cm<sup>3</sup> en estado sólido. Posee un punto de fusión de 580 grados centígrados. Es poco soluble en agua, pudiéndose disolver 1,89 gramos por litro a 0 °C, 1,73 gramos por litro a 20 °C y 0,66 gramos por litro a 100 °C.

El agua de cal reacciona fácilmente con el dióxido de carbono para formar carbonato de calcio, un proceso útil llamado carbonatación:



- **Cales aéreas:** Denominadas así porque endurecen al aire mediante su reacción con el anhídrido carbónico del mismo u otra fuente de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono). Éstas se clasifican a su vez en:

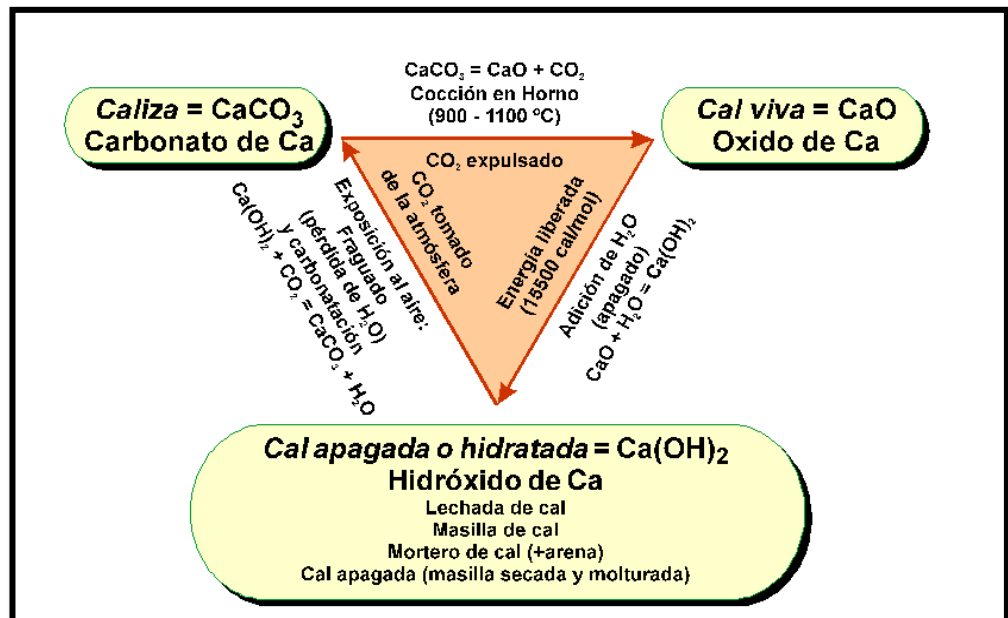


Figura 5: Ciclo de la cal aérea (Universidad de Granada, 2017)

**Cal dolomítica:** Denominadas también cal gris o cal magra. Ésta cal se denomina así por su origen, es decir, por ser el resultado de la calcinación de rocas calizas que contienen dolomita, de donde surge el óxido de calcio y de magnesio, que también es un óxido básico, pero no es recomendable para construcción porque se apaga muy lentamente con agua; en cambio, se usa con éxito en la industria azucarera.

**Cal cálcica o grasa:** Es una cal muy pura o con muy escaso contenido de arcillas y es muy eficiente en la preparación de las mezclas aéreas. La acción cementante de estas se logra por carbonatación de la cal mediante el CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) atmosférico. Las cales grasas fabricadas con piedras calizas de gran pureza contienen 95% o más de óxido de calcio. Cuando se apagan dan una pasta blanca, untuosa y fuertemente adhesiva, contrariamente a las cales magras, que tienen porcentajes de óxido de calcio comprendidos entre el 80 y el 90%

- **Cales hidráulicas:** Son llamadas así porque fraguan y endurecen con el agua. Contienen entre un 10 y 20% de arcillas y en ellas el efecto cementante se logra tanto por medio de la carbonatación de la cal, como por el proceso de hidratación de los silicatos y aluminatos formados por reacción a bajas temperaturas entre la caliza y la arcilla presente.



### 2.2.3.2. Proceso de fabricación de la cal

Cinco etapas secuenciales intervienen en la fabricación de la cal: Extracción de la Materia Prima, Trituración, Calcinación, Hidratación y Envase. Los hornos de calcinación tipo regenerativos de la energía, optimizan esa importante fase y además, garantizan una producción continua en calidad y volumen para satisfacer las necesidades de cualquier volumen, calidad y costo en cada tipo de aplicación donde el Óxido de Calcio (cal viva) y la Cal Hidratada son los dos productos básicos (Vera, 2013).

- **Extracción:** Se retira material vegetal, procediendo a perforar según el plan de minado diseñado, cargando después los explosivos para el tumbe, se carga el material ya fragmentado y se transporta al sistema triturador.
- **Trituración:** Los fragmentos de roca se reducen de tamaño tamizándolos, ya homogéneos, se transportan mediante bandas hacia los hornos; para rotatorios se requieren tamaños pequeños.
- **Calcinación:** La cal se produce por cocción de las rocas calizas o dolomitas a mediante flujos de aire caliente que circula en los huecos o poros de los fragmentos rocosos; las rocas pierden bióxido de carbono produciéndose el óxido de calcio. Debido al tamaño y forma homogénea de los fragmentos, la cocción ocurre a una temperatura mayor a los 900 °C, el tiempo depende del tamaño de la piedra caliza y de la temperatura de calcinación.
- **Enfriamiento:** Posteriormente se somete a un proceso de enfriamiento para que la cal pueda ser manejable.
- **Inspección:** El proceso siguiente es la inspección cuidadosa de muestras para evitar núcleos o piezas de roca sin calcinar.
- **Cribado:** Se somete a cribado separando a la cal viva en trozo y segmentos de la porción que pasará por un proceso de trituración y pulverización.
- **Trituración y pulverización:** Este paso se realiza con el objeto de reducir más el tamaño y así obtener cal viva molida y pulverizada, la cual se separa de la que será enviada al proceso de hidratación.
- **Hidratación:** Consiste en agregar agua a la cal viva para obtener la cal hidratada. A la cal viva dolomítica, alta en calcio se le agrega agua, es sometida a un separador de residuos para obtener cal hidratada normal dolomítica y alta en calcio.

- **Envase y embarque:** La cal es llevada a una tolva de envase e introducida en sacos y transportada a través de bandas hasta el medio de transporte que la llevará al cliente.

### 2.2.3.3. Propiedades

- **Propiedades físicas de la cal**

**Apariencia:** Blanco

**Estado de agregación:** Sólido

**Densidad:** 3300 kg/m<sup>3</sup>; 3,3 g/cm<sup>3</sup>,

**Punto de fusión:** 2845 K (2572 °C)

**Punto de ebullición:** 3123 K (2850 °C)

- **Propiedades químicas de la cal**

**Solubilidad en agua:** 1.19 g/L (25 °C).

- **Hidraulicidad:** es la relación entre los silicatos y aluminatos respecto al óxido de calcio.

Índice de hidraulicidad =  $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ [arcilla]} / \text{CaO} + \text{MgO} \text{ [caliza]})$

De menos a mayor índice de hidraulicidad: Cal aérea, cal débilmente hidráulica, cal medianamente hidráulica, cal hidráulica normal y cal eminentemente hidráulica (Duda, 2003).

*Tabla 1: Contenido de las calces*

Designación	% Impurezas	Tipo de impurezas	Índice hidráulico	Fraguado en el agua
Cal común , cal grasa	<5.3	Si, Al	0.0 – 0.10	No
Cal árida , cal magra	8-12	Si, Fe, Mn, Mg	0.10 - 0.16	16 – 30 días
Cal dolomítica	13-17	Mg	0.0 - 0.10	No
Cal medianamente hidráulica	18-20	Arcillas, Mg, Mn, Fe	0.16 – 0.31	10 – 15 días
Cal hidráulica	20-25	Arcillas, Mg, Mn, Fe, SiO <sub>2</sub> preponderante	0.31 - 0.42	5 – 9 días
Cal eminentemente hidráulica	25-27	Arcillas, Mg, Mn, Fe, SiO <sub>2</sub> preponderante	0.42 - 0.50	2 – 4 días

- **Densidad:** la densidad real de la cal aérea es del orden de  $0.00225 \text{ kg/m}^3$ . Para las cales hidráulicas oscila entre  $0,0025$  y  $0,003 \text{ kg/m}^3$ . La densidad de conjunto de las cales puede estimarse en torno al  $0,0004 \text{ kg/m}^3$  para las cales aéreas y de  $0,0005$  a  $0,0009 \text{ kg/m}^3$  para las hidráulicas.
- **Fraguado:** El fraguado de la cal es un proceso químico; consiste en la evaporación del exceso de agua empleado en amasar la pasta, seguido de una sustitución del agua por el  $\text{CO}_2$  de la atmosfera, pasando de nuevo del hidróxido al carbonato de cálcico. El tiempo de fraguado de las cales aéreas no se especifica en las normas, pero puede afirmarse que se trata de un conglomerante de fraguado lento. En las cales hidráulicas no solo se produce la carbonación del hidróxido cálcico sino también de los silicatos y aluminatos presentes. El fraguado de cualquier tipo de cal hidráulica no debe comenzar antes de 2 horas ni terminar después de 48 horas (Otero, 2017).

La naturaleza de la cal hace que su fraguado sea lento, por lo que el color (pigmentos minerales, carbón) puede aplicarse sobre la superficie enlucida fresca húmeda). En la pintura al fresco, el color se absorbe y fija durante el proceso de fraguado y carbonatación del enlucido de cal, lo que resulta en una luminosidad y frescura difícilmente obtenibles por otras técnicas. De hecho, el fresco incluye algunas de las obras de arte más hermosas e impresionantes de todas las épocas históricas (Universidad de Granada, 2017).

- **Estabilidad de volumen:** la cal sufre un aumento de volumen de una vez puesto en obra (varios meses después). Se notan en grietas horizontales del enlucido coincidiendo con las juntas de los ladrillos, presencia de magnesio sin hidratar y la existencia de cal (sin hidratar) al realizar la fabricación.
- **Resistencia Mecánica:** las cales tienen una resistencia no mayor de  $50 \text{ kg/cm}^2$  por lo que se emplean en piezas no resistentes (Otero, 2017).

#### 2.2.3.4. Aplicaciones

La cal tiene múltiples aplicaciones en diversos campos de la actividad productiva como:

- **En la agricultura:** La cal ayuda en el combate de algunos hongos, bacterias e insectos que dañan las cosechas. También sirve para neutralizar la acidez de los suelos, suministra calcio que es nutriente esencial en las plantas e incrementa la disponibilidad de fósforo (Hijar, 2004).

➤ **En la ecología:**

**Tratamiento de agua industrial y municipal:** Por ser alcalina es un poderoso desinfectante de bacteria y virus nocivos a la salud.

**Tratamiento de lodos:** La estabilización con cal es un medio efectivo y económico para el tratamiento de lodos.

**Tratamiento de basura:** Las bases y entre capas de los rellenos sanitarios, se tratan con cal para evitar que los lixiviados contaminen el suelo y los mantos acuíferos.

**Desulfuración de gases:** Se emplea para abatir la contaminación del aire, mediante la eliminación de los óxidos azufre de los gases de chimeneas.

➤ **Industrias estratégicas:**

**Siderurgia:** Se emplea en la escorificación, desulfuración, desfosforización y la protección de los refractarios.

**Minería:** Se utiliza como químico básico para recuperar metales como Cu, Pb, Zn, Ni, Ag, Au, se utiliza para controlar el pH, neutralizar y mantener atmósferas limpias como en la minería del carbón.

**Vidrios:** La utilización de la cal en lugar de la caliza produce vidrios más brillantes y con mejor calor.

**Azúcar:** La Cal precipita impurezas minerales y orgánicas.

**Papel:** La función de la cal es fungir como agente clasificador, como elemento de cocción para disolver elementos no celulósicos.

➤ **En la industria de la construcción:**

**En morteros de albañilería:** Posibilita mayores resistencias, mejor adherencia y ayuda a las construcciones a ser térmicas e impermeables.

**Para impermeabilizar:** Sus propiedades de absorción, retención de agua y por estar formadas por pequeñísimas partículas penetra mejor en todos los vacíos de tal manera que evita el paso del agua.

**En pinturas:** Se puede elaborar una pintura a base de cal, sal de cocina y alumbre, Los resultados son notorios en cuanto a costos de esta elaboración se logra una

pintura que se incorpora como ninguna otra a la superficie, es higiénica, de apariencia atractiva y durable.

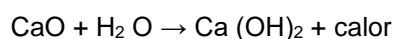
**Estabilización de suelos:** La cal es el estabilizador de suelos más utilizado por su versatilidad en su manejo, aplicación y bajo costo. Un suelo tratado con cal modifica las propiedades físicas del suelo de manera permanente, disminuye el índice plástico, la contracción lineal y la resistencia a la compresión. La norma MTC del manual de carreteras especificaciones técnicas generales para construcción eg-2013 sección 301.b se refiere a los suelos estabilizados con cal.

**En mezclas asfálticas:** Con frecuencia se utiliza cal hidratada en las mezclas calientes de asfalto, la cual funciona como un agente antidesgarramiento, relleno y modificador. Además, reduce la sensibilidad hacia la humedad, también incrementa el endurecimiento inicial, contribuyendo de esta manera a minimizar las marcas de las rodadas y reducir el envejecimiento prematuro del asfalto (evita la oxidación).

#### 2.2.3.5. Reacción agua y cal

El óxido de calcio (CaO) obtenido en la calcinación de la caliza reacciona inmediatamente con el agua, transformándose en hidróxido de calcio (Ca (OH)<sub>2</sub>). Este fenómeno se conoce como hidratación o apagado de la cal viva (CaO).

En el apagado se libera una gran cantidad de calor según la siguiente reacción:



El apagado de la cal viva puede hacerse de tres formas:

**Apagado con poca agua:** Se llama hidratación seca y se hace con la cantidad estequiometría de agua. El producto obtenido es un polvo seco.

**Apagado con una cantidad media de agua:** Se hace con una inmersión o inundación de la cal con el agua. El producto resultante es una pasta de cal.

**Apagado con abundante agua:** Se obtiene la suspensión o lechada de cal.

El hidróxido de calcio ocupa un volumen, aproximadamente, un 20 % mayor que el correspondiente al óxido de calcio original, por lo que se produce un efecto expansivo, de tal modo que un terrón de cal viva se transforma en cal hidratada pulverulenta o en una pasta más o menos consistente de acuerdo con la cantidad de agua utilizada para el apagado. Los procesos modernos de fabricación industrial de la cal apagada consiguen el apagado total de la cal viva.

### 2.2.3.6. Mecanismo adherencia entre cal y la arena

La adherencia se produce a través de un proceso físico- químico generando la introducción del mortero en los poros de las unidades o del sustrato. La pasta se introduce en los poros capilares, donde se produce la hidratación y cristalización de los componentes del aglomerante, generando un mecanismo de anclaje, lo origina la adherencia.

La cal le da mayor trabajabilidad y el menor tamaño de partículas que otorga la adición de cal al mortero permite que este se introduzca con mayor facilidad dentro de los poros del sustrato o de la unidad, lo que aumenta la adherencia del mortero. Por otra parte, la mayor retentividad que aporta la cal, evita que al producirse la succión por la unidad o el sustrato, se introduzca solo el agua y no la pasta, lo que perjudicaría drásticamente la adherencia teniendo en cuenta que la resistencia del mortero depende en gran medida de la distribución granulométrica de la arena, debiendo utilizar arenas que presenten la mayor compacidad posible, es decir, que los huecos que dejen los granos mayores, se rellenen con los granos inferiores y así sucesivamente (Calerías y Industrias S.A, 2015).

### 2.2.4. Agua

La norma NTP 339,088 considera para el amasado y/o curado de concretos y morteros, el agua cuyas propiedades y contenido en sustancias disueltas estén comprendidas dentro de los límites siguientes:

- El contenido máximo de materia expresada en oxígeno consumido, será de 3 mg/L (3 ppm).
- El contenido de residuo sólido no será mayor de 5g/L 5000 ppm.
- El PH estará comprendido entre 5,5 y 8.
- El contenido de sulfatos, expresado en ion  $SO_4$  será menor de 600 ppm.
- El contenido de cloruros, expresados en ion  $Cl$  menor de 1g/L (1000 ppm).
- El contenido opcional de carbonatos y bicarbonatos alcalinos (alcalinidad total) expresada en  $NaHCO_2$  será menor de 1 g/L (1000 ppm).

Como requisito opcional considera que, si la variación de color es una característica que se desea controlar, el contenido de fierro, expresado en ion férrico, será de una parte por millón (1 ppm).

Está prohibido el empleo de aguas ácidas, calcáreas, minerales, carbonatadas, aguas provenientes de minas o relaves, aguas que contengan residuos minerales o industriales, aguas con un contenido de sulfatos mayor de 1%, aguas que contengan algas, materia orgánica, humus o descargas desagües, aguas que contengan azúcares o sus derivados.

Al seleccionar el agua deberá recordarse que aquellas con alta concentración de sales deberán ser evitadas. Ello debido a que no sólo puede afectar el tiempo de agregado, la resistencia del mortero y su estabilidad de volumen, sino que, adicionalmente, pueden originar eflorescencias o corrosión del mortero (Hijar, 2004).

## **2.2.5. Conservación y restauración**

### **2.2.5.1. Conservación**

Según Terán, la conservación consiste en la aplicación de los procedimientos técnicos cuya finalidad es la de detener los mecanismos de alteración o impedir que surjan nuevos deterioros en un edificio histórico. Su objetivo es garantizar la permanencia de dicho patrimonio arquitectónico.

#### **➤ Principios y Objetivos de la conservación**

La Carta de Cracovia del 2000, indica que el Patrimonio arquitectónico, urbano y paisajístico, así como los elementos que lo componen, son el resultado de una identificación con varios momentos asociados a la historia y a sus contextos socioculturales.

Los valores a conservar son el carácter histórico de la población o del área urbana y todos aquellos elementos materiales y espirituales que determinan su imagen, especialmente la forma urbana definida por la trama y el parcelario; la relación entre los diversos espacios urbanos, edificios, espacios verdes y libres. La forma y el aspecto de los edificios (interior y exterior), definidos a través de su estructura, volumen, estilo, escala, materiales, color y decoración. Las relaciones entre población o área urbana y su entorno, bien sea natural o creado por el hombre. Las diversas funciones adquiridas por la población o el área urbana en el curso de la historia. Cualquier amenaza a estos valores comprometería la autenticidad de la población o área urbana histórica.

➤ **Instrumentos para la conservación**

**Plan de Conservación**

En La carta de Washington sugiere puntos a tomar en cuenta para la elaboración de un plan de conservación:

La planificación de la conservación de las poblaciones y áreas urbanas históricas debe ser precedida por estudios multidisciplinarios. Debe comprender un análisis de datos, particularmente arqueológicos, histórico, arquitectónico, técnico, sociológico y económico. Debe definir la principal orientación y modalidad de las acciones que han de llevarse a cabo en el plano jurídico, administrativo y financiero.

El plan de conservación tratará de lograr una relación armónica entre, el área urbana histórica y el conjunto de la población. Se determinara los edificios o grupos de edificios que deben protegerse totalmente, conservar en ciertas condiciones, o los que, en circunstancias excepcionales, pueden destruirse. Antes de realizar cualquier intervención se levantará un acta, rigurosamente documentada, de las condiciones del área.

El plan debe contar con la adhesión de los habitantes. Debe incluir las acciones administrativas, legales y financieras, que los gobiernos ejecutarán con el apoyo de un marco de dispositivos legales, basados en la concentración de las entidades sectoriales y financieras del país. Para ello, como en el caso de los habitantes, es necesario motivar y comprometer a estos agentes, en la conservación de las ciudades históricas.

**2.2.5.2. Restauración**

Según la Carta de Venecia, la restauración es una operación que debe tener un carácter excepcional. Tiene como fin conservar y revelar los valores estéticos e históricos del monumento y se fundamenta en el respeto a la esencia antigua y a los documentos auténticos. Su límite está allí donde comienza la hipótesis: en el plano de las reconstituciones basadas en conjeturas, todo trabajo de complemento reconocido como indispensable por razones estéticas o técnicas aflora de la composición arquitectónica y llevará la marca de nuestro tiempo. La restauración estará siempre precedida y acompañada de un estudio arqueológico e histórico del monumento.



### ➤ **Los Principios Teóricos de la Restauración**

José Antonio Terán B. en su publicación consideraciones que se deben tenerse en cuenta para la restauración arquitectónica, considera cuatro principios:

**Respeto a la historia del inmueble :** Se refiere a que se deben respetar las distintas etapas históricas constructivas del edificio, sus espacios originales así como las ampliaciones, remodelaciones de importancia, las mismas que no impliquen una afectación que vaya en detrimento del bien inmueble.

**No Falsificación: Se** aplica cuando en una intervención se requiera integrar (completar algún elemento arquitectónico o reproducir ciertas formas perdidas). El teórico de la restauración Paul Philippot menciona al respecto que cada monumento tiene un documento histórico único y no puede ser repetido sin falsificarlo. Si por alguna razón la conservación del edificio requiere la sustitución o integración de una parte, forma o elemento arquitectónico determinado, así como el uso de materiales tradicionales similares a los que constituyen al inmueble, esta intervención debe ser reconocible, pero a la vez lograr una integración visual con el edificio, es decir, no debe resaltar o llamar la atención.

**Conservación in situ:** Se refiere al hecho de no desvincular al edificio ni a sus elementos de su lugar de origen. Los elementos de escultura, pintura o decoración que forman parte integrante de un monumento, no podrán ser separados del mismo". Cuando por alguna causa, como por ejemplo, en el caso de un movimiento telúrico, algún elemento se ha desprendido de su lugar original, éste debe ser reintegrado en su sitio.

**Reversibilidad:** Se refiere a la selección de aquellas técnicas, instrumentos y materiales que permitan la fácil anulación de sus efectos, para recuperar el estado del monumento previo a la intervención, si con una nueva aportación de datos, enfoques o criterios, ésta se juzga inútil, inadecuada o nociva al monumento."

### ➤ **Operaciones Básicas de la Restauración**

**Liberación:** Es la intervención que tiene por objeto eliminar (materiales y elementos) adiciones, agregados y material que no corresponde al bien inmueble original. Así como la "supresión de elementos agregados sin valor cultural o natural que [dañen, alteren, al bien cultural] afecten la conservación o impidan el conocimiento del objeto".

**Reconstrucción:** Es la intervención que tiene por objeto volver a construir partes desaparecidas o perdidas. La reconstrucción supone el empleo de materiales nuevos

y no la reutilización de elementos pertenecientes a la construcción original ya perdida”. Esta intervención se refiere a las labores que se realizan en el monumento a nivel estructural; debe fundamentarse en el respeto al inmueble y será efectuada de tal manera que sea reconocible.

### 2.2.5.3. Nexo de la conservación y la restauración

Según la Carta de Cracovia, la conservación del patrimonio edificado es llevada a cabo según el proyecto de restauración, que incluye la estrategia para su conservación a largo plazo. Este “proyecto de restauración” debería basarse en una gama de opciones técnicas apropiadas y preparadas en un proceso cognitivo que integre la recogida de información y el conocimiento profundo del edificio y/o del emplazamiento. Este proceso incluye el estudio estructural, análisis gráficos y de magnitudes y la identificación del significado histórico, artístico y sociocultural. En el proyecto de restauración deben participar todas las disciplinas pertinentes y la coordinación deberá ser llevada a cabo por una persona calificada y bien formada en la conservación y restauración.

La intención de la conservación de edificios históricos y monumentos, estén estos en contextos rurales o urbanos, es mantener su autenticidad e integridad, incluyendo los espacios internos, mobiliario y decoración de acuerdo con su conformación original. Semejante conservación requiere un apropiado proyecto de restauración que defina los métodos y los objetivos. En muchos casos, esto además requiere un uso apropiado, compatible con el espacio y significado existente. Las obras en edificios históricos deben prestar una atención total a todos los períodos históricos presentes.

### 2.2.6. Patologías en casas coloniales

El desgaste y deterioro natural que sufren los materiales en el tiempo, las actuaciones inadecuadas de los moradores de las viviendas y la falta de mantenimiento conllevan a la aparición de lesiones en las construcciones. A partir de su conocimiento y evaluando la evolución de las mismas se pueden proponer soluciones adecuadas que detengan el deterioro progresivo y recuperen la imagen de las edificaciones (Arias, 2004).

Las principales patologías que se han podido identificar en la vivienda del período colonial según su frecuencia de aparición son las siguientes:

- **Humedad:** Presencia de agua en los componentes del edificio. Pueden ser por penetración, capilaridad, condensación o roturas de instalaciones.
- **Desconchado:** Pérdida del recubrimiento del muro, observándose los elementos componentes del mismo.

- **Corrimiento de tejas:** Por pérdida del mortero de unión, provoca lesiones secundarias en otros elementos del techo.
- **Eflorescencias:** Favorecida por la humedad. Se presentan manchas blancas como resultado de la cristalización de sales presentes en el agua.
- **Suciedad:** Acumulación de impurezas existentes en la atmósfera favorecida por la humedad y la porosidad de los materiales.
- **Grietas y Fisuras:** Aberturas y pequeñas hendiduras en elementos componentes por movimientos sísmicos u otras causas.
- **Pudriciones:** Degradación de las propiedades de un elemento, con origen biológico, generalmente con presencia del agua, propio de elementos de madera.
- **Agentes biológicos:** El material más afectado es la madera, observándose la presencia de insectos, bacterias y hongos.
- **Erosión:** Desgaste por efecto de agentes atmosféricos en elementos pétreos.
- **Mutilaciones:** Sustitución o pérdida de elementos componentes por la acción del hombre.
- **Abofado:** Aparece en zonas húmedas del paramento y en ocasiones acompañado de desconchado.
- **Desgaste:** Puede presentarse en cualquier elemento componente, producto del uso y el paso del tiempo.
- **Deformaciones:** Se presentan en elementos sometidos a impactos o por pérdida de agarre con otras partes de la estructura. Muy frecuentes en las rejas.
- **Oxidación:** Corrosión de los elementos metálicos.
- **Vegetación parásita:** Plantas que crecen en zonas de la edificación favorecidas por la acumulación de materia orgánica y la humedad.

- **Hundimientos:** Presencia de oquedades en los pisos por el asentamiento del material del relleno, provocando roturas de las piezas que conforman los mismos.



Figura 6: Eflorescencias en la casa de la emancipación (Arias, 2004)

## 2.3. Hipótesis

### 2.3.1. Hipótesis general

- La influencia de los tipos de cal y proporción en morteros mejoraría la compresión, contracción, densidad, absorción y fraguado para la conservación, Trujillo 2018.

Tabla 2: Hipótesis general

Hipótesis	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
	Variable	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
La influencia de los tipos de cal y proporción en morteros mejoraría la compresión, contracción, densidad, absorción y fraguado para la conservación, Trujillo 2018.	-Densidad -Absorción -Compresión -Fraguado -Contracción	El mortero	Mejoraría	Trujillo	2018

### 2.3.2. Hipótesis específica

- Los tipos de cal y proporción en morteros influyen en la compresión para la conservación, Trujillo 2018.

*Tabla 3: Hipótesis específica para la compresión*

Hipótesis	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
	Variable	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
Los tipos de cal y proporción en morteros influyen en la compresión para la conservación, Trujillo 2018.	-Compresión	El mortero	Influyen	Trujillo	2018

- Los tipos de cal y proporción en morteros influyen en la densidad para la conservación Trujillo 2018.

*Tabla 4: Hipótesis específica para la densidad*

Hipótesis	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
	Variable	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
Los tipos de cal y proporción en morteros influyen en la densidad para la conservación, Trujillo 2018.	-Densidad	El mortero	Influyen	Trujillo	2018

- Los tipos de cal y proporción en morteros influyen en la absorción para la conservación, Trujillo 2018.

*Tabla 5: Hipótesis específica para la absorción*

Hipótesis	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
	Variable	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
Los tipos de cal y proporción en morteros influyen en la absorción para la conservación, Trujillo 2018.	-Absorción	El mortero	Influyen	Trujillo	2018

- Los tipos de cal y proporción en morteros influyen en la contracción para la conservación, Trujillo 2018.

*Tabla 6: Hipótesis específica para la contracción*

Hipótesis	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
	Variable	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
Los tipos de cal y proporción en morteros influyen en la contracción, para la conservación, Trujillo 2018.	-Contracción	El mortero	Influyen	Trujillo	2018

- Los tipos de cal y proporción en morteros influyen en el tiempo de fraguado, para la conservación, Trujillo 2018.

*Tabla 7: Hipótesis específica para el fraguado*

Hipótesis	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
	Variable	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
Los tipos de cal y proporción en morteros influyen en el tiempo de fraguado para la conservación, Trujillo 2018.	-Tiempo de Fraguado	El mortero	Influyen	Trujillo	2018

## CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

### 3.1. Operacionalización de variables

#### 3.1.1. Variable independiente

➤ **Factor a = Tipos de cal**

a1: Cal Martell – Formal / a2: Cal Hades – Formal / a3: Cal I – Informal / a4: Cal II – Informal / a5: Cal III – Informal / a6: Cal IV - Informal

➤ **Factor b = Dosificación cal: arena**

b1: 100% - 0% / b2: 90% - 10% / b3: 80% - 20% / b4: 70% - 30% / b5: 60% - 40%

#### 3.1.2. Variable dependiente

➤ **Factor c: Propiedades del mortero cal: arena**

**c1: Físicas:** Densidad ( $\text{kg/m}^2$ ) / Absorción (%) / Contracción (%) / Tiempo de fraguado (min)

**c2: Mecánicas:** Resistencia a la compresión ( $\text{kg/cm}^2$ )

*Tabla 8: Operacionalización de variable dependiente*

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores/ Ítems
Resistencia a la compresión	Esfuerzo máximo que presenta un material a compresión sin romperse	El ensayo de compresión es un ensayo técnico para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión.	Área Forma Fuerza	mm Cubica KN
Absorción	Es el incremento del agua en la masa del mortero debido a la penetración de agua entre los poros durante un periodo de tiempo.	La absorción determina la permeabilidad del mortero que forma las juntas de una edificación.	Porosidad Granulometría Superficie específica	%
Densidad	Es la medida del grado de compactación de un material, expresado en cantidad de masa por unidad de volumen.	La densidad del dependerá fundamentalmente de la que tengan sus componentes, la granulometría y volumen que éstos ocupen en su dosificación.	Volumen Peso específico humedad	m <sup>3</sup> kg %
Contracción	Es el acortamiento que experimenta la pasta del mortero durante el proceso de endurecimiento y secado.	La contracción se identifica por la característica fisuración aparecida en la superficie del mortero.	Largo Ancho Alto peso	mm gr
Tiempo de fraguado	Lapso necesario para que la pasta del mortero pase del estado fluido al sólido.	El tiempo de fraguado de un mortero define la manejabilidad o trabajabilidad del mismo.	Tiempo temperatura	horas °C

### 3.2. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es experimental bifactorial, en el diseño se manipulan deliberadamente una o más variables, vinculadas a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable independiente de interés.



Tabla 9: Matriz de diseño

		a: Tipos de cal					
		a1	a2	a3	a4	a5	a6
b: Dosificación cal: arena	b1	a1b1	a2b1	a3b1	a4b1	a5b1	a6b1
	b2	a1b2	a2b2	a3b2	a4b2	a5b2	a6b2
	b3	a1b3	a2b3	a3b3	a4b3	a5b3	a6b3
	b4	a1b4	a2b4	a3b4	a4b4	a5b4	a6b4
	b5	a1b5	a2b5	a3b5	a4b5	a5b5	a6b5

### 3.3. Unidad de estudio: Mortero

### 3.4. Población: Todas las probetas que se pueda ejecutar con la adición de cal

Tabla 10: Población de probetas

Cal	Proporción (%)	Ensayos				
		Densidad	Absorción	Compresión	Contracción	Fraguado
Martell	100-0	3	3	3	3	3
	90-10	3	3	3	3	3
	80-20	3	3	3	3	3
	70-30	3	3	3	3	3
	60-40	3	3	3	3	3
Hades	100-0	3	3	3	3	3
	90-10	3	3	3	3	3
	80-20	3	3	3	3	3
	70-30	3	3	3	3	3
	60-40	3	3	3	3	3
Informal I	100-0	3	3	3	3	3
	90-10	3	3	3	3	3
	80-20	3	3	3	3	3
	70-30	3	3	3	3	3
	60-40	3	3	3	3	3
Informal II	100-0	3	3	3	3	3
	90-10	3	3	3	3	3
	80-20	3	3	3	3	3
	70-30	3	3	3	3	3
	60-40	3	3	3	3	3
Informal III	100-0	3	3	3	3	3
	90-10	3	3	3	3	3
	80-20	3	3	3	3	3
	70-30	3	3	3	3	3
	60-40	3	3	3	3	3
Informal IV	100-0	3	3	3	3	3
	90-10	3	3	3	3	3
	80-20	3	3	3	3	3
	70-30	3	3	3	3	3
	60-40	3	3	3	3	3
Subtotal		90	90	90	90	90
Total				450		

### 3.5. Muestra

El muestreo es no probabilístico por conveniencia, pues el número de muestras fue asignado por un estudio preliminar. Constituido por morteros de cal, arena gruesa y agua. La cal Martell de MAESTRO PERU S.A, la cal Hades de Homecenters Peruanos S.A en Trujillo, la cal Informal I de Mercado Ferretero S.A.C en Trujillo, la cal Informal II de Inversiones SHILICO S.R.L en Trujillo, la cal Informal III de Ferretería “masumi” en Huanchaco y la cal Informal IV de Ferretería Kong en La Esperanza; La arena gruesa de la cantera “CALDERON” en el Milagro y el agua de la Universidad Privada del Norte.

Se obtienen 3 réplicas por estudio preliminar, como en la investigación se tienen dos niveles de estudio:

- 6 tipos de cal: Martell, Hades, informal I, informal II, informal III, informal IV.
- 5 dosificaciones de cal: arena: 100%:0,90%:10%,80%:20%,70%:30%,60%:40%

$$n^{\circ} \text{ muestras} = V.I \times V.D \times N^{\circ} \text{ réplicas}$$

$$n^{\circ} \text{ muestras} = [1(6) \times 1(5)] \times 1(5) \times 3$$

$$n^{\circ} \text{ muestras} = 450 \text{ muestras}$$

$$n^{\circ} \text{ ensayos} = V.I \times V.D \times N^{\circ} \text{ de ensayos} \times N^{\circ} \text{ réplicas}$$

$$n^{\circ} \text{ ensayos} = 1(6) \times 1(5) \times 1(5) \times 5 \times 3$$

$$n^{\circ} \text{ ensayos} = 2250 \text{ ensayos}$$

V.I = Variable independiente

V.D = Variable dependiente

### 3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

#### 3.6.1. Técnica de recolección de datos y análisis de datos

TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Observación	Hojas de Observación
Análisis de Datos	Gráficos Estadísticos

- Utilizamos la técnica de observación porque de esa manera haremos la recolección de datos e información utilizando todos nuestros sentidos para observar los cambios en las probetas.
- Se optó por utilizar los gráficos estadísticos como método de análisis de la información recolectada pues de esa manera podemos comparar mediante los gráficos el comportamiento de nuestras variables y nos permite hacer un análisis más detallado.

## GUÍA DE OBSERVACIÓN DE MORTEROS DE CAL: ARENA, TRUJILLO 2018

Autor:

- Varas Bermudez, Geiby Natieli

### 1. DATOS INFORMATIVOS:

- 1.1. Nombre del investigador:  
Natieli Varas
- 1.2. Ubicación: Trujillo
- 1.3. Fecha de la Observación:  
Nº1
- 1.4. Hora de la observación: 9:20  
am

### 2. DATOS ESPECÍFICOS:

#### 2.1. Dosificación del mortero:

- a) 100-0
- b) 90-10
- c) 80-20
- d) 70-30
- e) 60-40

#### 2.2. Tipo de cal:

- a) Martell
- b) Hades
- c) Informal I
- d) Informal II
- e) Informal III
- f) Informal IV

#### 2.3. Tipo de deterioro:

- a) Grietas
- b) Fisuras
- c) Desmoronamiento
- e) otros deterioros

#### 2.4. Relación agua/cal

- a) 0.25
- b) 0.20
- c) 0.30

#### 2.5. Relación cal: arena

- a) 1:0
- b) 1:1

#### 2.6. Peso:

- a) Ligero
- b) Pesado

#### 2.7. Medidas:

- a) Se contrae
- b) Se expande

#### 2.8. ¿Cuánto afecta los deterioros al mortero?:

- a) Mucho
- b) Poco
- c) Nada

#### 2.9. Causas de los deterioros:

- a) Poca dosificación de cal
- b) Mucha dosificación de arena
- c) mala compactación
- d) Otros

### 3.6.2. Instrumentos y procedimientos de recolección de datos.

#### 3.6.2.1. Proceso experimental

La siguiente figura representa el circuito experimental realizado para la investigación:

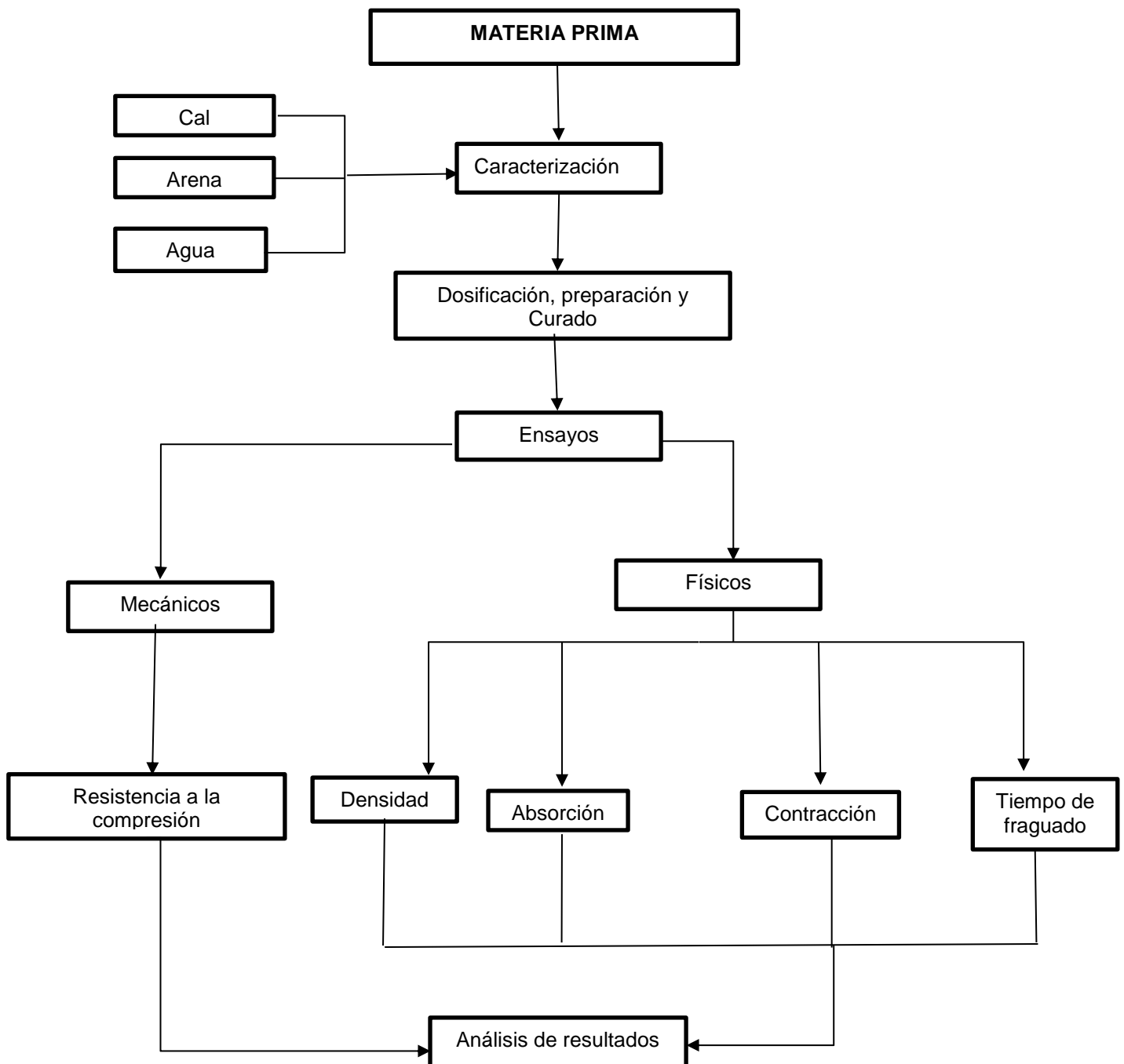


Figura 7: Procedimiento experimental

### 3.6.2.1.1. Caracterización de la materia prima

Para la ejecución de esta investigación se utilizó arena gruesa extraída de la cantera del Milagro llamada “cantera calderón” que en una investigación después de haberle realizado diversos ensayos fue elegida como el agregado fino más óptimo en la ciudad de Trujillo; en cuanto a la cal, se emplearan 6 diferentes tipos de cal de diferentes marcas y proveedores Martell, Hades, Informal I, Informal II, Informal III, Informal IV y el agua potable de la ciudad de Trujillo.

#### ➤ Agregado

##### **Ensayo Granulométrico por lavado ASTM C 117 (NTP 400.018):**

Este ensayo permite la determinación por lavado de la cantidad de material más fino que la malla de 0,075 (N° 200) en agregados. El material más fino que la malla de 0,075 mm (N° 200) puede ser separado de partículas mayores de manera mucho más eficiente y completamente por tamizado en húmedo que por tamizado en seco.

El procedimiento que se sigue es que, la muestra de agregado seco es lavada en un recipiente por medio de la agitación manual, utilizando agua corriente. El agua del lavado se pasa a través de la malla de 0,075 mm (N° 200), hasta que el agua en la malla sea clara. La pérdida en masa que resulta del tratamiento de lavado se calcula como un porcentaje de masa del espécimen original y se reporta como el porcentaje de material más fino que la malla 0,075 mm (N° 200) por lavado.

##### **Módulo de finura**

$$MF = \frac{(\sum \% \text{ retenido acumulados en las mallas } N^{\circ} 4, 8, 16, 30, 50, 100)}{100}$$

El módulo de finura del agregado fino se mantendrá dentro del límite de  $\pm 0.2$  del valor asumido para la selección de las proporciones del concreto; siendo recomendable que el valor asumido esté entre 2,3 y 3,1.

Una vez realizado el tamizado de la muestra, los resultados obtenidos se representan en un gráfico donde en el eje vertical se colocan los porcentajes que pasan acumulados por cada tamiz y en el eje horizontal la abertura de los mismos. Con la representación gráfica de una arena se puede identificar rápidamente si ésta tiene exceso de fracciones gruesas o finas o la presencia de discontinuidades en la distribución por tamaños. La recolección de datos de análisis granulométrico se realizó mediante la siguiente tabla:

Tabla 11: Recolección de datos del análisis granulométrico

Tamiz N°	Abertura(mm)	Peso retenido ( gr ) ( A )	% Retenido ( D )	% Retenido acumulado ( E )	% Que pasa ( F )	NTP 400.012	
3/4"	19						
1/2"	12.5						
3/8"	9.5					100	
N° 4	4.75					95-100	
N°8	2.36					85-100	
N°16	1.18					50-85	
N°30	0.6					25-60	
N°50	0.3					10-30	
N°100	0.15					0-10	
N°200	0.075						
Fondo	-						
	Total	B = ( Σ A )					

% Peso retenido ( D ) = peso retenido ( A ) – sumatoria de peso retenido ( B ) × 100

% Retenido acumulado ( E ) = % retenido 1 ( D1 ) + % retenido 2 ( D2 ) + ...

% Que pasa ( F ) = 100 - % retenido acumulado ( E )

#### Humedad bajo la norma ASTM C 566 ( NTP 339.185 ).

Se tomará una muestra representativa de cada material a ensayar, 500 gramos para el agregado fino ( arena gruesa ) y 3000 gramos para el agregado grueso ( piedra ), éstas cantidades están establecidas en la norma NTP 339.185 de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado.

Pesar la tara ( A ) en la balanza electrónica con capacidad de 6000 gramos ± 0.1 gramos. Se vierte el agregado en la tara y se pesa nuevamente ( B ) en la balanza eléctrica con una precisión de 0.1 gramos como establece la norma. Se coloca la muestra en la estufa eléctrica a 110°C ± 5°C por 24 horas, pasado ese periodo de tiempo se saca la muestra del horno ( C ) para obtener el porcentaje de humedad por cada muestra de material se utiliza la siguiente formula:

$$\text{Contenido de humedad (w\%)} = \left[ \frac{B - C}{C - A} \right] \times 100$$

A: Peso del recipiente metálico ( gr )

B: Peso de la muestra húmeda en el recipiente metálico ( gr )

C: Peso de la muestra seca en el recipiente metálico ( gr )

La recolección de datos para el contenido de humedad se realizó mediante las siguientes tablas:

*Tabla 12: Contenido de humedad arena gruesa*

Código	Peso de la tara, gr (A)	Peso de la tara + Muestra húmeda, gr (B)	Peso de la tara + Muestra Seca, gr (C)	Humedad (%) W
Promedio				

### **Peso unitario bajo la normal ASTM C 29 (NTP 400.017)**

#### **Peso Unitario Suelto Seco (PUSS)**

Se debe toma una muestra representativa de 8.0 kg aproximadamente. Se mide el molde que será metálico, cilíndrico y rígido, se determina el volumen (V) y se pesa (T), la capacidad del molde está en función al tamaño máximo nominal del a Luego el recipiente se llena con una cuchara desde una altura no mayor de 50 mm (2"). Se debe enrasar para eliminar el material sobrante y obtener el peso del recipiente de medida más el contenido y registrar los pesos con aproximación de 0,05 kg. (G). Para mejores resultados se debe limpiar el exceso del agregado con la brocha. Donde h es la altura interna del molde en milímetros y d es el diámetro interno del molde en milímetros.

$$\text{Peso unitario suelto seco (PUSS)} = \frac{(G - T)}{V}$$

$$\text{Volumen del molde (V)} = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times h$$

#### **Peso unitario compacto seco (PUCS)**

Se debe determinar las medidas para hallar el volumen del molde (V) y el peso (T). Luego se vierte el material en 3 capas de igual volumen aproximadamente, por cada capa se golpea 25 veces en forma de espiral con la varilla de 5/8" de diámetro, con una longitud de 24" y con el martillo de goma se golpea 15 veces afuera del molde. Se enrasa el material y se limpia el exceso de agregado con la brocha para finalmente pesar (G). El valor del peso unitario para agregados normales oscila entre 1500 kg/m<sup>3</sup> y 1700 - 1500 kg/m<sup>3</sup>.

$$\text{Peso unitario compacto seco (PUCS)} = \frac{(G - T)}{V}$$

La recolección de datos para PUCS Y PUSS, se realizó mediante la siguiente tabla:

Tabla 13: Peso unitario

Muestra	Peso del molde, Kg (T)	Peso del molde + arena suelta, Kg (Gs)	Peso del molde + arena compacta, Kg (Gc)	Volumen molde, m <sup>3</sup> (V)	Peso unitario suelto seco (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso unitario compacto seco (Kg/m <sup>3</sup> )
m1						
m2						
m3						
Promedio						

**Peso específico y absorción del agregado fino bajo la norma ASTM C 128 (NTP 400.022).**

Se sumergió 2 kg de arena en agua durante 24 horas. Luego se prosiguió a realizar el secado del material en una estufa a 110± 5°C, hasta tener un secado uniforme, una vez obtenido la muestra superficialmente seca, se colocó el agregado fino en un molde cónico; de diámetro inferior y diámetro superior de 8,4 y 6.5 cm respectivamente, en 3 capas aplicando 25 apisonadas por cada capa. Después, levantar el molde verticalmente y observar el comportamiento del material, si se desmorona la cuarta parte o sigue en pie. Posteriormente se pesó todo el agregado superficialmente seco obtenido en una balanza con sensibilidad de 0.1 g y capacidad de 2000g (S). A continuación, se tomó el peso de la fiola de 500 ml más agua hasta la marca de calibración (B). Además, se vertió el material en estado superficialmente seco en la fiola y se llenó de agua hasta la marca de calibración, verificándose que no presente aire atrapado entre las partículas de la arena, para después tomar su peso (C). Por último, se llevó la muestra húmeda a una estufa a 100 ± 5°C durante 24 horas para determinar su peso seco (A).

El peso específico su valor para agregados normales oscila entre 2.5 g/cm<sup>3</sup> y 2.75 g/cm<sup>3</sup>, ligeros < 2.5 g/cm<sup>3</sup> y pesados > 2.75 g/cm<sup>3</sup>.

El peso específico y absorción se determina mediante las siguientes formulas.

$$\text{Peso específico de la arena } (Pe) = \frac{A}{(B + S - C)} \quad (g/cm^3)$$

$$\text{Absorción de la arena } (A) = \left[ \frac{S - A}{A} \right] \times 100 \quad (\%)$$

A: Peso de la muestra en la estufa (g)

B: Peso de la fiola con el agua hasta la marca de calibración (g)

C: Peso de la fiola con la muestra y agua hasta la marca de calibración (g)



S: Peso de la muestra superficialmente seca (g)

La recolección de datos para el contenido de humedad se realizó mediante las siguientes tablas:

*Tabla 14: Peso específico y absorción de la arena*

Muestra	Código	Peso seco	Peso de	Peso de	Peso de la	Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	Absorción (%)
		(g)	fiola lleno de agua (g)	fiola + agua + muestra (g)	muestra saturada (g)		
		A	B	C	S		
Promedio							

### Conductividad y grado de pH bajo la norma MTC E119

Seleccionar una cantidad de material de agregado fino y grueso en una proporción de 2:1 (agregado: agua destilada). Luego colocar el material en vasos de precipitación y vaciar el agua destilada en la proporción ya mencionada. Posteriormente remover por un periodo de 5 minutos y dejar reposar durante 30 minutos. Así mismo tomar la lectura de los primeros datos con el conductímetro para determinar las sales solubles y conductividad. Teniendo en cuenta que el procedimiento se debe repetir durante 3 días como mínimo, dejando reposar el material en el mismo líquido. Para determinar el grado de pH se usó el phímetro y para la conductividad el conductímetro.

*Tabla 15: pH y conductividad*

Material	Muestra	pH	Conductividad(dS/cm)	Promedio

#### 3.6.2.1.2. Dosificación y curado

La dosificación de un mortero se expresa indicando el número de partes en volumen de sus componentes primero el aglomerante o los aglomerantes y por último las partes de arena, para morteros de cal: arena se utiliza relaciones de 1:2 y 1:3 pero en esta investigación de acuerdo a un estudio preliminar y al tipo de cal empleadas se optó por las relaciones 1:1 y 1:0 ; la dosificación del mortero cal: arena serán 5 diferentes dosificaciones 100%:0 , 90%:10% , 80%:20% , 70%:30% , 60%:40% , la relación agua: cal variará según la proporción de reemplazo de cal por arena gruesa pero la cantidad de agua no variará. El curado se realizará al aire libre, no todos

los morteros de cal :arena tienen el mismo tiempo de curado debido a que se realizaron con 6 tipos diferentes de cal y en 5 diferentes dosificaciones.

*Tabla 16: Dosificación del mortero*

Dosificaciones (%)	Cantidad de material para 1 cubo			Relación	
	Cal (gr)	Arena (gr)	Agua( gr)	cal :arena	agua / cal
100 - 0	300	0	75	1:0	0.25
90 - 10	270	30	75	0.9:0.1	0.28
80 - 20	240	60	75	0.8:0.2	0.31
70 - 30	210	90	75	0.7:0.3	0.35
60 - 40	180	120	75	0.6:0.4	0.42

### 3.6.2.1.3. Preliminares

En las pruebas preliminares se realizó 45 probetas de la mejor cal y en la mejor dosificación para poder ser monitoreadas por 15 días. Las probetas monitoreadas serán de 3 por día, en su cambio de dimensiones, peso y resistencia a la compresión.

*Tabla 17: Largo, ancho, alto, peso y compresión de probetas preliminares*

		Fechas
Probeta 1		
Medidas iniciales ( mm)	Largo	_____
	Ancho	_____
	Altura	_____
Medidas finales ( mm)	Largo	_____
	Largo promedio	_____
	Ancho	_____
	Ancho promedio	_____
	Altura	_____
	Altura promedio	_____
Área(mm <sup>2</sup> )		_____
Peso(gr)		_____
Fuerza(kn)		_____
Compresión ( kg/cm <sup>2</sup> )		_____

#### 3.6.2.1.4. Ensayos físicos

##### ➤ Absorción y densidad

Se realizará el ensayo bajo la norma ASTM C373:

Para la determinación de este ensayo, se usará una balanza con capacidad de 1 kg de sensibilidad al 0.01 g., se empleará el uso de un horno de tamaño suficiente, capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ . El procedimiento consistirá en sumergir en agua el espécimen de mortero de  $5\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$  de lado durante  $24 \pm 4$  horas para esencialmente llenar los poros. Luego se proseguirá a remover la muestra del agua y se secará superficialmente al espécimen de mortero, para determinar su masa saturada. Después se tomará el peso sumergido bajo el procedimiento de Arquímedes. Una vez determinado la masa saturada, se colocará en el horno a una temperatura de  $150 \pm 5^\circ\text{C}$  durante 24 horas, luego se retirará el espécimen del horno y se dejará enfriar hasta una temperatura confortable para su manejo, después se determinará el peso en estado seco.

La absorción se calculará de la siguiente:

$$\text{Absorción} = \frac{M - D}{D} \times 100 \quad (\%)$$

$$\text{Densidad} = \frac{D}{(M - S) / \delta_{\text{H}_2\text{O}}} \quad (\text{kg/m}^3)$$

M: Masa de la muestra saturada de agua (kg)

D: Masa de la muestra seca al horno (kg)

S: Masa de la muestra sumergida (kg)

$\delta_{\text{H}_2\text{O}}$ : Densidad del agua ( $\text{kg/m}^3$ )

Tabla 18: Absorción y densidad

Material	Muestra	M (kg)	D(kg)	S(kg)	Absorción (%)	Densidad ( $\text{kg/m}^3$ )

➤ **Contracción (UNE 80-112)**

La contracción está en función del material que se emplea para hacer el mortero siendo el acortamiento que experimenta el mortero durante el proceso de endurecimiento y secado, se debe principalmente a la pérdida por evaporación del exceso de agua de mezclado. Después de elaborar las probetas cúbicas y desmoldarlas a los 3 días, se empieza a tomar las medidas con un vernier digital del largo, ancho, alto y peso del cubo con una balanza. Las medidas se toman hasta que sean constantes y se compruebe así que ya han perdido el agua necesaria para considerar que están secas.

$$\text{Contracción volumétrica } (Cv) = \frac{V_f - V_o}{V_o} \times 100 \quad (\%)$$

V<sub>f</sub>=Volumen final

V<sub>o</sub>= Volumen inicial

$$\text{Volumen inicial y final } (V) = l \times h \times a \quad (\text{mm}^3)$$

l = largo (mm)

h= altura (mm)

a=ancho (mm)

Tabla 19: Contracción volumétrica

Dosificaciones	N° de cubo	Medidas(mm)						Volumen(mm <sup>3</sup> )		Contracción (%)	Contracción promedio (%)
		Iniciales			Finales			Inicial	Final		
		l	a	h	l	a	h				

➤ **Tiempo de fraguado ASTM C 191 (NTP 334.003)**

Para obtener el tiempo de fraguado se hace uso del equipo de la aguja de Vicat. Se calibra el aparato de Vicat con la aguja, haciendo descender la aguja hasta descansar sobre la placa base que va a utilizarse y ajustando la puesta a cero en la escala (40 mm), se levanta la aguja hasta la posición de espera. Luego se llena el molde de Vicat con pasta de consistencia normal en este caso con la mezcla de cal y agua. Así mismo Se coloca el molde debajo de la aguja y se baja la aguja suavemente hasta que haga contacto con la pasta. Posteriormente la primera medición se toma en el tiempo cero, soltando las partes móviles rápidamente, se permite que la aguja penetre verticalmente en

la pasta y de esa manera se lee la escala de penetración. Se anota la lectura de escala, que indica la distancia entre el extremo de la aguja y la placa base junto con el tiempo a partir del instante cero al mismo tiempo se va midiendo la temperatura con un termómetro digital desde el instante cero. Se repite el ensayo de penetración en el mismo molde en posiciones diferentes, no menos de 10 mm del borde del molde hasta que logre fraguar. Durante el fraguado hay que distinguir dos fases conocidas como principio de fraguado y fin de fraguado y que son importantes para conocer el tiempo durante el cual la pasta permanece plástica y, por tanto, es trabajable. El principio de fraguado se caracteriza por iniciarse la rigidez de la pasta y, el final del mismo viene marcado por la pérdida de plasticidad de la pasta.

*Tabla 20: Tiempo de fraguado*

Tiempos ( horas )	Tiempo ( min )	Temperatura ( °C )	Penetración ( mm )

### 3.6.2.1.5. Ensayos mecánicos

#### ➤ Resistencia a la compresión ASTM C 109 (NTP 334.051)

Después de que las probetas estaban totalmente secas se pudo realizar el ensayo de compresión. Primero se realizó la medición del área de contacto con un vernier digital, se limpió las superficies planas superior e inferior de la máquina y también ambas bases de cada probeta. Luego se colocó la probeta centrada en la prensa y se aplicó la carga en forma continua a una velocidad 0.05 KN/s. La resistencia a la compresión se determinará mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Resistencia a la compresión } (F'c) = \frac{F}{A}$$

$$\text{Area del especimen}( A) = L^2$$

*F'c: Resistencia a la compresión. (kg/cm<sup>2</sup>)*

*F: Carga axial aplicada. (kg)*

*A: Área del especimen. (cm<sup>2</sup>)*

Tabla 21: Resistencia a la compresión

Dosificación	Probeta	Muestra	Dimensiones		Fuerza ( KN)	f'c ( kg/cm <sup>2</sup> )
			largo (mm)	Área(mm <sup>2</sup> )		

### 3.7. Métodos y procedimientos de análisis de datos.

Los resultados obtenidos durante los ensayos a los morteros se analizarán para rechazar o corroborar la hipótesis planteada mediante un análisis de varianza con el Anova.

#### A. Datos Previos.

##### A.1. Grados de libertad

- Grados de libertad de las variable tipos de cal (A)  
G.L. = a - 1
- Grados de libertad de la variable proporciones (B):  
G.L. = b - 1
- Grados de libertad de las variables (A) x (B)  
G.L. = (a - 1) x (b - 1)
- Grados de libertad del error.  
G.L. = (a x b) x (r - 1)

Donde:

a = número de niveles de la variable (A).

b = número de niveles de la variable (B).

r = número de réplicas.

##### A.2. Nivel de significancia

La significancia se trabaja con un 95 % como nivel de confianza ( $\alpha = 0.05$ ), debido a que es un nivel de confianza habitual en investigaciones experimentales, y es un compromiso entre formular premisas con la probabilidad de acertar.

##### A.3. Criterio de rechazo

La hipótesis alterna ( $H_1$ ) se acepta si  $F_0 > F_{\alpha,(n-1),(nx(r-1))}$

- $F_0$  se obtiene experimentalmente.
- $F_{\alpha,(n-1),(nx(r-1))}$  se obtiene mediante tablas estadísticas.

Donde:

n = número de niveles.

r = número de réplicas.

## B. Análisis de Varianza y F de Fisher.

### B.1. Suma de cuadrados

- Suma de cuadrados para el factor A.

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_i^2}{bxr} - \frac{Y_T^2}{axbxr}$$

- Suma de cuadrados para el factor B.

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_j^2}{axr} - \frac{Y_T^2}{axbxr}$$

- Suma de cuadrados subtotales

$$SS_{SUBTOTAL} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n \frac{Y_{ijk}^2}{r} - \frac{Y_T^2}{axbxr}$$

- Suma de cuadrados de la interacción de los factores (A x B)

$$SS_{AxB} = SS_{SUBTOTAL} - SS_A - SS_B$$

- Suma de cuadrados totales

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \frac{Y_T^2}{axbxr}$$

- Suma de cuadrados del error

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AxB}$$

### B.2. Media de cuadrados

- Media de cuadrados para el factor A.

$$MS_A = \frac{SS_A}{a - 1}$$

- Media de cuadrados para el factor B.

$$MS_B = \frac{SS_B}{b - 1}$$

- Media de cuadrados de la interacción de los factores (A x B)

$$MS_{AxB} = \frac{SS_{AxB}}{(a - 1)x(b - 1)}$$

- Media de cuadrados del error

$$MS_E = \frac{SS_E}{(axb)x(r - 1)}$$

### B.3. F<sub>0</sub> experimental

- F<sub>0</sub> (A).

$$F_0(A) = \frac{MS_A}{MS_E}$$

- F<sub>0</sub> (B).

$$F_0(B) = \frac{MS_B}{MS_E}$$

- F<sub>0</sub> (A x B)

$$F_0(AxB) = \frac{MS_{AxB}}{MS_E}$$



## CAPÍTULO 4. RESULTADOS

### 4.1. Caracterización de arena gruesa.

Tabla 22: Caracterización de la arena gruesa

Ensayo	Resultado	Rango	Autor	
Módulo de finura NTP 400.012 / ASTM C136	2.5	2.3 - 3.1	Influencia del aditivo superplastificante en el tiempo de fraguado, trabajabilidad y resistencia mecánica del concreto, en la ciudad de Huancayo (Rojas,2014)	
Contenido de humedad (%) NTP 339.185/ ASTM C566	0.7	-		
Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> ) NTP 400.017 / ASTM C29	1505	1500– 1800		
Peso unitario compactado (kg/m <sup>3</sup> ) NTP 400.017 / ASTM C29	1646	1600 – 1900		
Peso específico (g/cm <sup>3</sup> ) NTP 400.022 / ASTM C128	2.6	2.6 – 3.0		
Absorción (%) NTP 400.022 / ASTM C128	2.2	0.2 – 5.0		
Requisitos químicos				
pH NTP 339.088	9	5 – 8		
Conductividad (uS/cm) NTP 339.088	311	< 1500		
Composición de la arena gruesa				
Grava (de 3" a 3/8"):		0		
Arena	Grano grueso (N°4 a N°8):	55		
	Grano medio (N°16 a N°30):	37		
	Grano fino (N°50 a N°200):	9		
	Limo-arcilloso (< N°200)	0		

### 4.2. Caracterización de la cal.

Tabla 23: Caracterización de los tipos de cal

Ensayo	Resultados					
	Martell	Hades	Informal I	Informal II	Informal III	Informal IV
Módulo de finura	1.1	1.1	3.2	3.7	1.6	1.7
Contenido de humedad (%)	0.6	0.7	4.9	8.5	0.5	3.6
Requisitos químicos						
pH	13	13	13	13	13	13
Conductividad (dS/m)	5	10	8	8	7	8

Tabla 24: Textura de los tipos de cal

	Martell	Hades	Informal I	Informal II	Informal III	Informal IV	
% Grava (de 3" a 3/8")	0	0	0	0	0	0	
arena	% Grano grueso (N°4 a N°8)	1	1	22	41	11	15
	% Grano medio (N°16 a N°30)	12	13	47	34	12	10
	% Grano fino (N°50 a N°200)	87	87	31	24	76	74
% Limo-arcilloso (< N°200)	0	0	0	1	1	1	

#### 4.2.1. Análisis químico mineralógico por DRX

Tabla 25: Composición de la cal Hades e Informal IV

Nombre del mineral	Fórmula general	Cal (%)		Composición teórica (%)	Cumple
		Hades	Informal IV		
Calcita	CaCO <sub>3</sub>	29	27	51 - 66	No
Dolomita	(Ca,Na)(Al,Si) <sub>4</sub> O <sub>8</sub>	9	-	-	No
Ankerita	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	-	< L. D.	-	No
Plagioclasa (Oligoclasa)	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	22	-	-	No
Feldespato - K (Ortoclasa)	SiO <sub>2</sub>	12	-	-	No
Cuarzo	(Mg,Fe) <sub>5</sub> Al(Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>	8	3	15 - 26	No
Clorita (Clinocloro)	BaSO <sub>4</sub>	4	-	-	No
Anfíbol (Actinolita)	Ca <sub>2</sub> (Mg,Fe) <sub>5</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>	3	-	-	No
Talco	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	2	-	-	No
Caolinita	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	2	-	-	No
Mica (Muscovita)	CaSO <sub>4</sub> ·2(H <sub>2</sub> O)	< L. D.	-	-	No
Barita	KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH,F) <sub>2</sub>	4	-	-	No
Yeso	Ca(OH) <sub>2</sub>	< L. D.	< L. D.	-	No
Portlandita	TiO <sub>2</sub>	-	66	-	No
Rutilo	Ca(Fe,Mg)(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	-	< L. D.	-	No
Óxido de aluminio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	2 - 10	No
Óxido de hierro (III)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	0.5 - 5	No

Tabla 26: Hidraulicidad de la cal Hades y Informal IV

Cal	Óxido de silicio ( SiO <sub>2</sub> )	Óxido de aluminio ( Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Óxido de Hierro ( FeO <sub>3</sub> )	Oxido de calcio ( CaO )	Oxido de magnesio ( MgO )	Índice de hidraulicidad
Hades	12.00	0.00	0.00	29.00	0.00	0.41
Informal IV	0.00	0.00	0.00	27.00	0.00	0.00

### 4.3. Caracterización del agua.

Tabla 27: Requisitos químicos del agua.

Requisitos químicos			
Ensayo	Resultado	Rango	Autor
pH ASTM C-1602	8	5 – 8	Rojas,2014
Conductividad (uS/cm) NTP 400.043	2058	< 1500	

### 4.4. Ensayos de propiedades físicas

#### 4.4.1. Densidad y Absorción

Tabla 28: Densidad y absorción para las cales

Cal	Dosificación (%)	Densidad promedio (kg/m <sup>3</sup> )	Absorción promedio (%)
Martell	100 - 0	0	0
	90 - 10	0	0
	80 - 20	0	0
	70 - 30	0	0
	60 - 40	0	0
Hades	100 - 0	1448	22
	90 - 10	1516	22
	80 - 20	1540	22
	70 - 30	0	0
	60 - 40	0	0
Informal I	100 - 0	916	60
	90 - 10	987	56
	80 - 20	999	51
	70 - 30	1109	41
	60 - 40	1225	34
Informal II	100 - 0	907	57
	90 - 10	961	53
	80 - 20	1044	45
	70 - 30	1080	36
	60 - 40	1160	31
Informal III	100 - 0	881	58
	90 - 10	929	51
	80 - 20	988	48
	70 - 30	1035	40
	60 - 40	1088	34
Informal IV	100 - 0	930	56
	90 - 10	945	51
	80 - 20	1029	48
	70 - 30	1100	41
	60 - 40	1143	36

#### 4.4.2. Contracción

Tabla 29: Contracción para las cales

Cal	Dosificación (%)	Contracción promedio (%)
Martell	100 - 0	-1.2
	90 - 10	-1.0
	80 - 20	-2.7
	70 - 30	1.6
	60 - 40	-2.1
Hades	100 - 0	-2.4
	90 - 10	-2.5
	80 - 20	-0.7
	70 - 30	-4.4
	60 - 40	-9.4
Informal I	100 - 0	2.3
	90 - 10	0.2
	80 - 20	9.2
	70 - 30	4.8
	60 - 40	2.4
Informal II	100 - 0	2.7
	90 - 10	1.6
	80 - 20	5.8
	70 - 30	3.0
	60 - 40	10.7
Informal III	100 - 0	1.6
	90 - 10	1.3
	80 - 20	6.8
	70 - 30	1.8
	60 - 40	3.3
Informal IV	100 - 0	1.2
	90 - 10	1.1
	80 - 20	6.2
	70 - 30	2.9
	60 - 40	7.1

#### 4.4.3. Tiempo de fraguado

Tabla 30: Tiempo de fraguado y temperatura de los tipos de cal

Cal	Tiempo de fraguado (min)	Temperatura promedio (°C)
Martell	450	22.7
Hades	540	22.3
Informal I	840	19.8
Informal II	1980	19.9
Informal III	2220	19.5
Informal IV	3960	19.5

#### 4.5. Ensayo de propiedades mecánicas

##### 4.5.1. Resistencia a la compresión

Tabla 31: Resistencia a la compresión de las cales

Cal	Dosificaciones (%)	Promedio resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
Martell	100 - 0	19.4
	90 - 10	15.1
	80 - 20	8.5
	70 - 30	6.3
	60 - 40	4.8
Hades	100 - 0	22.0
	90 - 10	17.3
	80 - 20	11.4
	70 - 30	11.2
	60 - 40	6.7
Informal I	100 - 0	2.7
	90 - 10	2.8
	80 - 20	3.5
	70 - 30	4.4
	60 - 40	6.1
Informal II	100 - 0	3.6
	90 - 10	4.1
	80 - 20	4.1
	70 - 30	4.9
	60 - 40	5.8
Informal III	100 - 0	8.5
	90 - 10	8.5
	80 - 20	7.7
	70 - 30	5.9
	60 - 40	4.1
Informal IV	100 - 0	7.4
	90 - 10	4.6
	80 - 20	3.8
	70 - 30	1.7
	60 - 40	1.7

#### 4.6. Evaluación económica

Tabla 32: Costo Unitario de la elaboración de mortero

		Cal formal				
Elemento	Dosificación	Und.	Cantidad	Precio (S/.)	Costo por m <sup>3</sup>	
Mortero cal: arena	Cal	Bls ( 20 kg)	100-0	2.34	10.60	24.80
			90-10	2.11	10.60	22.37
			80-20	1.87	10.60	19.82
			70-30	1.64	10.60	17.38
			60-40	1.41	10.60	14.95
	Arena	m <sup>3</sup>	100-0	0.000	49.90	0.00
			90-10	0.005	49.90	0.25
			80-20	0.009	49.90	0.45
			70-30	0.014	49.90	0.70
			60-40	0.018	49.90	0.90
Agua	m <sup>3</sup>	0.012	5.00	0.06		
		Cal informal				
Elemento	Dosificación	Und.	Cantidad	Precio (S/.)	Costo por m <sup>3</sup>	
Mortero cemento: arena	Cal	Bls ( 8 kg)	100-0	5.86	4.50	26.37
			90-10	5.27	4.50	23.72
			80-20	4.68	4.50	21.06
			70-30	4.1	4.50	18.45
			60-40	3.51	4.50	15.80
	Arena	m <sup>3</sup>	100-0	0.000	49.90	0.00
			90-10	0.005	49.90	0.25
			80-20	0.009	49.90	0.45
			70-30	0.014	49.90	0.70
			60-40	0.018	49.90	0.90
Agua	m <sup>3</sup>	0.012	5.00	0.06		
Agua	m <sup>3</sup>	0.035	5.00	0.18		
Cemento tipo I	Bls	0.96	24.00	23.04		
Arena	m <sup>3</sup>	0.14	49.90	6.99		

Tabla 33: Costo total de la elaboración del mortero

		Cal	
		Dosificaciones (%)	
Mortero cal: arena		Informal	Formal
	100-0	26.43	24.86
	90-10	24.02	22.68
	80-20	21.57	20.33
	70-30	19.21	18.14
60-40	16.75	15.90	
Mortero cemento: arena		30.20	

## CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

Las construcciones coloniales de mampostería de piedra o ladrillo forman una parte importante del patrimonio arquitectónico del Perú. Su importancia radica en que representan el estado del arte de la ingeniería de aquel entonces, los cuales en muchos casos se siguen utilizando hasta nuestros días, como es el caso de varios puentes donde se empleó el calicanto, puentes ubicados en la ciudad de Lima como el puente Balta y el puente Trujillo que están ubicados en el centro histórico y pasan sobre el río Rímac; estos puentes están hechos a base de piedra de canto rodado unida con mezcla de cal, arena y clara de huevo. La presencia de materiales nuevos y modernos presentan cierto grado de facilidad constructiva, por lo que la construcción de los puentes de Piedra en Arco evidencien ciertamente un abandono a niveles distintos de puntos de vista; aquí citamos dos aspectos claramente definidos como por ejemplo con respecto a lo social el cual implica la escasa o la falta de valoración cultural y, en lo científico debido a su desconocimiento por el comportamiento real de la gran mayoría de ellas ante situaciones críticas. Son muchas las transformaciones que se realizaron y se realizan en puentes antiguos tal vez sin ningún cuidado, resolviéndose el problema de la forma más simple y económica posible, aunque el resultado final este transgrediendo con la integridad de la obra original. Sin tener en cuenta quizás el estilo arquitectónico e ingenieril que estas representan para la humanidad. Por ello existen diversos puentes históricos que se perdieron ya sea porque fueron mal reconstruidos o fueron sustituidos innecesariamente. Es por eso que es conveniente la realización del estudio a la argamasa empleada como unión entre las piedras de canto rodado para formar el calicanto.

### 5.1. Caracterización de la arena

En la tabla 34 se muestra las principales propiedades físicas de la arena gruesa, las cuales son de mucha importancia para la elaboración del mortero. Los resultados obtenidos fueron comparados con los rangos que establecen las normativas y así verificar si cumple con el control de calidad para poder ser considerado como arena gruesa.

*Tabla 34: Características de la arena gruesa.*

Ensayo	Resultado
Módulo de Finura	2.5
Contenido de humedad (%)	0.7
Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1510
Peso unitario compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1650
Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	2.6
Absorción (%)	2.2

La granulometría se refiere a la distribución de las partículas de arena. El análisis granulométrico divide la muestra en fracciones, de elementos del mismo tamaño, según la abertura de los tamices

de los diferentes tamaños de las partículas, lo cual permitirá que el mortero no presente una gran cantidad de vacíos en su interior, de esta manera su trabajabilidad no se ve afectada.

El control de la granulometría se aprecia mejor mediante una gráfica, en la que las ordenadas representan el porcentaje acumulado que pasa el tamiz; y las abscisas, las aberturas correspondientes. La curva granulométrica de la arena muestra una adecuada distribución de sus partículas, es decir, nos muestra fracciones de todos los tamaños.

El módulo de finura del agregado, representa el índice aproximado que nos describe en forma rápida y breve la proporción de finos o de gruesos que se tiene en las partículas que lo constituyen, mientras más pequeño sea más fino es el agregado. Un módulo de finura muy pequeño significa una mayor área superficial y la adición de una mayor cantidad de agua, es por ello que se recomienda que se encuentre comprendido entre 2.3 - 3.1; así mismo en la apreciación del módulo de finura, se estima que las arenas comprendidas entre los módulos 2.2 y 2.8 producen buena trabajabilidad y reducida segregación. Para esta arena gruesa el módulo de finura fue de 2.5, ubicándose dentro de lo establecido y según la clasificación de arenas es una arena gruesa, la cual ayudará en la trabajabilidad y reducirá la segregación en los morteros.

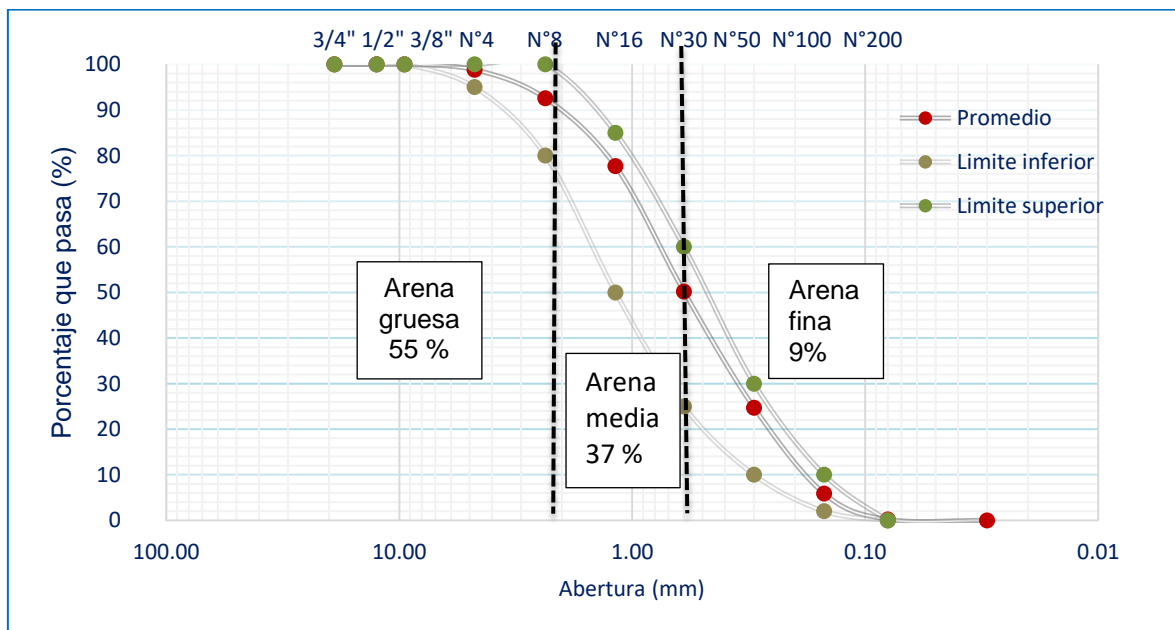


Figura 8: Curva granulométrica de la arena.

El contacto del árido con el medio ambiente le proporciona cierto grado de humedad al árido, el cual podría influir en climas húmedos pero en estas condiciones secas no, también influye en la relación agua / cal y cal: arena. La norma NTP 339.185 no establece un límite para el contenido de humedad en los agregados, este agregado presenta un contenido de humedad de 0.7 %.

El peso específico es tomado como indicador de calidad, teniendo en cuenta que a valores más elevados disminuye la absorción y porosidad, dando como resultado material con mejor comportamiento. El peso específico para esta arena fue de 2.6 g/cm<sup>3</sup>, permitiéndole de esta manera estar en el rango de agregados normales, su valor oscila entre 2,5 g/cm<sup>3</sup> y 2,75 g/cm<sup>3</sup>. Teóricamente



mientras mayor sea el peso específico de un material, mayores propiedades mecánicas aportara al mortero, sin embargo, hay otras propiedades como la forma y la textura del agregado, que genera mejores aportes a estas propiedades.

La absorción es el incremento en la masa del agregado debido al agua en los poros del material, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje de la masa seca. La absorción de este material es de 2.2 %, valor que está dentro del rango de 0.2-5.0, considerándose un material de buena calidad pues su valor de absorción es menor al 5 %.

El peso unitario suelto y compactado nos permite convertir los pesos en volúmenes y viceversa. El peso unitario suelto del agregado fue de 1510 kg/m<sup>3</sup> estando dentro del rango de 1500 kg/m<sup>3</sup> -1800 kg/m<sup>3</sup> y su peso unitario compactado fue de 1650 kg/m<sup>3</sup> está dentro del rango de 1600 kg/m<sup>3</sup> -1900 kg/m<sup>3</sup> ambos rangos establecidos por la norma NTP 400.017. La importancia de determinar el peso unitario de un material es debido a las solicitaciones a las cuales se van a emplear, el peso unitario suelto es solicitado para el manejo, transporte y almacenamiento del material y el peso unitario compactado es importante desde el punto de vista de la dosificación porque determina la densidad del material sometidas a una compactación durante el proceso de colocación del agregado.

Existen partículas contaminantes que se pueden encontrar en el agua, que en elevadas cantidades pueden inferir en las reacciones químicas de la hidratación de la cal. Es por ello que para determinar la cantidad de impurezas que presentan los agregados se debe realizar un análisis químico. La evaluación química de la arena, se hizo en base a las propiedades del agua potable, obteniendo valores de 8 de pH y 2 dS/m de conductividad. Un pH >7 se considera básico, por tanto, la evaluación química muestra que el material es apto para ser utilizados como agregado sin ningún problema de sales o florescencias a futuro.

## 5.2. Caracterización de la cal

Teniendo en cuenta que la arena será utilizada como reemplazo de la cal en ciertas dosificaciones en el mortero la caracterización de la cal fue realizado utilizando como referencia lo realizado con la arena. El módulo de finura da una idea del grosor o finura del material, los cambios significativos en la granulometría tienen una repercusión importante en la demanda de agua y, en consecuencia, en la trabajabilidad de un mortero. El módulo de finura de las cales es muy diferente al de la arena, mientras que los valores que presenta la cal Martell y Hades es de 1,1 considerándolos dentro del rango de arena grano fino ; la cal informal III de 1,6 e informal IV de 1,7 pertenecen al rango de arena grano medio ; mientras arena grano grueso lo presentan aproximadamente la cal informal I de 3,2 e informal II de 3,6 ,si las clasificamos de acuerdo al módulo de finura debe estar entre 2.3 – 3.1 como una arena gruesa, la finura de las partículas de la cal se debe a el método de molienda de la cal.

El contenido de humedad es la cantidad de agua contenida en un material. La cal con mayor contenido de humedad es la cal Informal II que es igual a 8.5 % mientras que el menor contenido

de humedad lo tiene la cal Informal III de 0.5 %. Los valores de contenido de humedad de la cal Martell, Hades e informal III son los valores que más se acercan al valor de humedad de la arena gruesa que reemplazará a la cal en el mortero; sabiendo de esta manera que quien aportará más agua en el mortero será las cales que presentan mayor contenido de humedad.

En cuanto a los requisitos químicos se realizó los ensayos de pH y conductividad para saber las características de una cal, sabiendo que para obtener buenos resultados se requiere una cal con la más alta reactividad al agua, en esta investigación el pH es constante en todas las cales con un valor de 13, considerándolas dentro de calcio reactivo es decir cal útil; pues está aportando el máximo de basicidad de pH de 13 y será capaz de hidratarse fácilmente. Estas cales son altamente alcalinas permitiendo de esta manera neutralizar la acidez por su alta concentración de aniones hidroxilos ( $\text{OH}^-$ ). La mayor conductividad lo presenta la cal Hades con 10 dS/m estando dentro del rango de una salinidad fuerte entre 8 dS/m – 16 dS/m; el valor de conductividad de las otras cales está dentro del rango de 4 dS/m – 8 dS/m con salinidad mediana, teniendo la menor conductividad de 5 dS/m la cal Martell. Estas cales son muy conductivas a comparación del agua potable de 2 dS/m, tiene muchos iones. Esto indica que con estos valores no habrá problemas de durabilidad, eflorescencias y fisuras en el mortero.

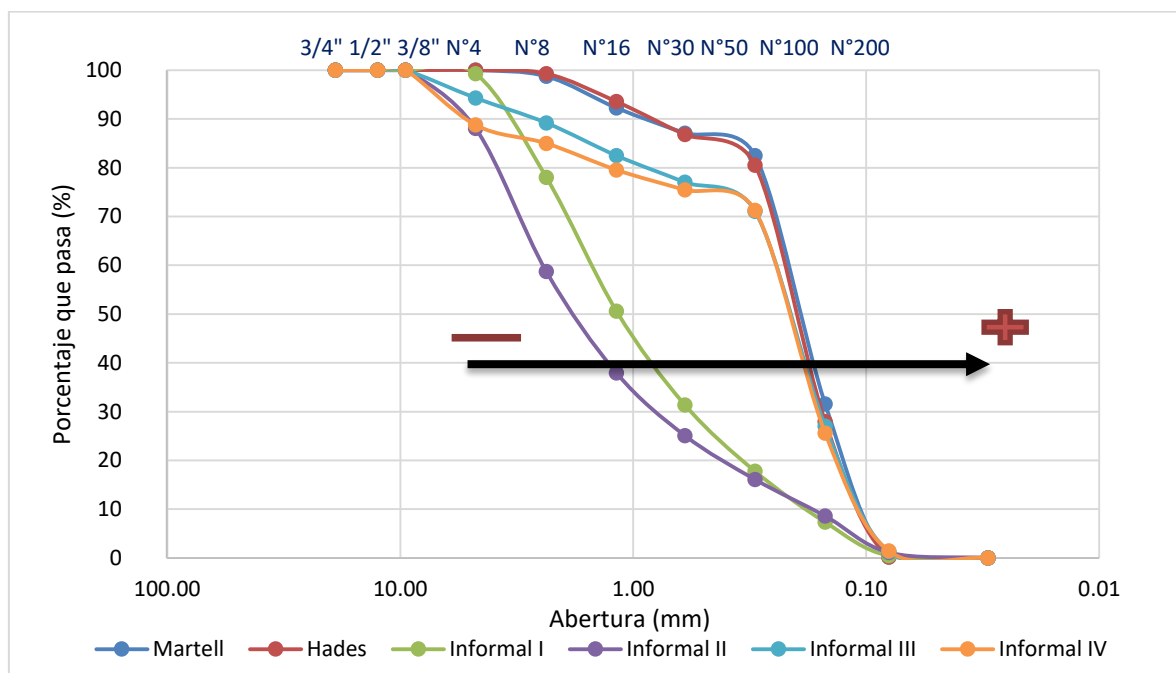


Figura 9: Curva granulométrica de los tipos de cal

La figura 9 muestra la tendencia de la granulometría que presenta tanto la cal Martell, Hades, Informal I, Informal II, Informal III, y Informal IV. La curva de distribución granulométrica muestra no solo el rango de los tamaños de partículas presentes en la muestra, sino también la distribución de varios tamaños de partículas.

### 5.2.1. Análisis químico mineralógico por difracción de rayos X (DRX)

Para conocer la composición química y estructura interna de los tipos de cal, se obtuvieron patrones por difracción de rayos X (DRX). En el análisis mineralógico por DRX se realizó la determinación semicuantitativa de las fases cristalinas presentes en la muestra. El límite de detección de la técnica es aproximadamente 1. El método de preparación aplicado a las muestras fue de polvo aleatorio.

El análisis se realizó tanto a la mejor cal hades (forma) como a la de menor calidad cal informal IV que se tuvo en la investigación. Se encontró presencia de silicatos como la plagioclasa ((Ca Na) (Al, Si)<sub>3</sub> O<sub>8</sub>) están constituidas por una solución sólida isomorfa comprendida entre la albita (NaAlSi<sub>3</sub> O<sub>8</sub> o Na<sub>2</sub> O·Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub> ·6SiO<sub>2</sub> = 68.7% de sílice, 19.5% de óxido de sodio y 11.8% de sesquióxido de aluminio) y la anortita (CaAl<sub>2</sub> Si<sub>2</sub> O<sub>8</sub> o CaO·Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub> ·2SiO<sub>2</sub> = 43.2% de sílice, 36.7% de sesquióxido de aluminio y 20.1% de óxido de calcio), su dureza de 6 Mohs (duro), no se raya con púa de acero, su densidad de 2,6 g/cm<sup>3</sup> y por ser más ligeras que otros componentes se utilizan para fabricar bloques de hormigón; el feldespato- K (KAlSi<sub>3</sub> O<sub>8</sub>), compuesto de ortoclasa (KAlSi<sub>3</sub> O<sub>8</sub>), albita (NaAlSi<sub>3</sub> O<sub>8</sub>) y anortita (CaAl<sub>2</sub> Si<sub>2</sub> O<sub>8</sub>), todos los feldespatos son minerales duros, la dureza de estos minerales es de 6,0 a 6,5 Mohs, la densidad de los feldespatos alcalinos varía entre 2,5 y 2,6g/cm<sup>3</sup> y se utilizan para la elaboración de vidrios, cerámicas y porcelanas; el cuarzo (SiO<sub>2</sub>) es el más común sobre la corteza terrestre luego de los feldespatos, la composición básica de este mineral está dada por la importante presencia de sílice, posee una dureza 7 Mohs, su densidad es de 2,65 g/cm<sup>3</sup>, el óxido de silicio, compuesto principal del cuarzo, se utiliza para la elaboración de cementos, cerámicas, vidrios y por otra parte, este compuesto posee propiedades desecantes, es decir que tiene la capacidad de quitar la humedad de los lugares donde se encuentra; la clorita ((Mg,Fe)<sub>5</sub> Al(Si<sub>3</sub> Al) O<sub>10</sub> (OH)<sub>8</sub>), su dureza entre 2-2,5 Mohs (blando), y su densidad es de 2,7 g/cm<sup>3</sup> poco pesado; el anfíbol (Ca<sub>2</sub> (Mg,Fe)<sub>5</sub> Si<sub>8</sub> O<sub>22</sub> (OH)<sub>2</sub>), ocurre también como un producto del metamorfismo de rocas calcáreas ricas en magnesio, dureza entre 5 – 6 Mohs y densidad 3,2 g/cm<sup>3</sup>; el talco (Mg<sub>3</sub> Si<sub>4</sub> O<sub>10</sub> (OH)<sub>4</sub>), en la escala del Mohs se toma como patrón de la menor dureza posible asignándosele convencionalmente el valor 1, densidad 2,7 – 2,8 g/cm<sup>3</sup> y posee valor industrial, utilizándose como aditivo y lubricante en productos cosméticos, en gomas, pinturas, cerámicas, papel y caucho; la caolinita (Al<sub>2</sub> Si<sub>2</sub> O<sub>5</sub> (OH)<sub>4</sub>) es un mineral de arcilla, dureza entre 2 – 2,5 Mohs, densidad 2,6 g/cm<sup>3</sup>, contiene 46.56% de SiO<sub>2</sub>, 39.49% de Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub> y el 13.95% de H<sub>2</sub> O y posee abundantes aplicaciones, no solo la fabricación de vasijas y lozas, sino también como carga de papel, en la industria del caucho y en la fabricación de refractarios; y la mica (KAl<sub>2</sub> (Si<sub>3</sub> Al) O<sub>10</sub>(OH,F)<sub>2</sub>), dureza entre 2 – 2,5 Mohs, densidad de 2,7 – 3 g/cm<sup>3</sup>, las particulares características de elasticidad, flexibilidad y resistencia al calor y al agua de las láminas hacen que constituyan un precioso material para la industria debido a sus propiedades como aislantes eléctricos y térmicos también es utilizado para las estufas y hornos. Tenemos carbonatos como la calcita (CaCO<sub>3</sub>) se caracteriza por su relativamente baja dureza de 3 Mohs, por su elevada

reactividad incluso con ácidos débiles, densidad entre 2,6 y 2,8 g/cm<sup>3</sup>, contiene el 56,03% de CaO y el 43,97% de CO<sub>2</sub> y se utiliza en la fabricación de cemento, como fundente en la fundición de menas metálicas, como abono y como piedra de construcción; la dolomita (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) se compone principalmente de calcio 21,73%, carbono 13,03%, magnesio 13,18% y oxígeno 52,06%, su dureza está entre 3,5 - 4 Mohs, su densidad entre 2.9 - 3.1 g/cm<sup>3</sup>, se usan para la pavimentación de carreteras e incluso para ciertos tipos de asfaltado, para producir cemento y es capaz de neutralizar por completo cualquier ácido para estabilización de suelos; y la ankerita (Ca(Fe,Mg)(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) su composición química es en un 39,06% FeO, un 30,49% CaO, y un 30,45% CO<sub>2</sub>; con presencia de pequeñas cantidades de magnesio (Mg), manganeso (Mn), dureza entre 3,5 - 4 Mohs, densidad de 3 - 3,1 g/cm<sup>3</sup> y suele aparecer junto a dolomitas, sideritas y cuarzos, minerales extraídos de algunos yacimientos. También tenemos Óxidos como la portlandita (Ca(OH)<sub>2</sub>) su aparición es indicativa de un muy alto valor del pH, dureza entre 2,5 - 3 Mohs, densidad 2,2 g/cm<sup>3</sup> y se puede emplear para la fabricación de cemento; y el rutilo (TiO<sub>2</sub>) contiene 60% de titanio y el 40% de oxígeno, dureza entre 6 - 6,5 en la escala de Mohs, densidad de 4,2-5.6 g/cm<sup>3</sup>, de uso importante en la industria, ya que es la base del titanio metálico y el pigmento del óxido de titanio (IV) amorfo, el pigmento blanco más importante del mundo, las principales aplicaciones del rutilo son como pigmento, en la fabricación de cerámica refractaria y en la producción de titanio metálico, el rutilo finamente pulverizado es un pigmento blanco brillante y se utiliza en pinturas, plásticos, papel. Por último tenemos la presencia de sulfatos como la barita (BaSO<sub>4</sub>), densidad de 4,5 g/cm<sup>3</sup> y una dureza de 3 - 3,5 Mohs, se usa en los barro (lodos) de perforación de pozos, en la producción de agua oxigenada, en la fabricación pigmentos blancos y, como carga mineral, en pinturas y en la industria del caucho; y el yeso (CaSO<sub>4</sub> · 2(H<sub>2</sub>O)) es un mineral compuesto de sulfato de calcio hidratado, dureza entre 1,5 y 2 en la escala de Mohs, la densidad entre 2,31 - 2,33 g/cm<sup>3</sup>, se emplea en los procesos de producción del cemento Portland, donde actúa como elemento retardador del fraguado, para unir las piezas de mampostería, revestir viviendas y moldear figuras.

La hidraulicidad de la cal está relacionada a los silicatos y aluminatos con respecto al óxido de calcio, al realizar el análisis en la hidraulicidad se obtuvo que la cal Hades tiene una hidraulicidad de 0.41 estando dentro del rango de una cal hidráulica entre 0.31 - 0.42 con un porcentaje de impurezas de entre 20 - 25; así mismo la cal Informal IV tiene una hidraulicidad de 0.0, estando en el rango de cal común o también llamada cal grasa entre 0.0 - 0.10 con valores de impurezas menores a 5.3%. Así también se puede decir que según la hidraulicidad la cal Hades podría fraguar en contacto con el agua y el aire mientras que la cal Informal IV no fragua con el contacto con el agua.

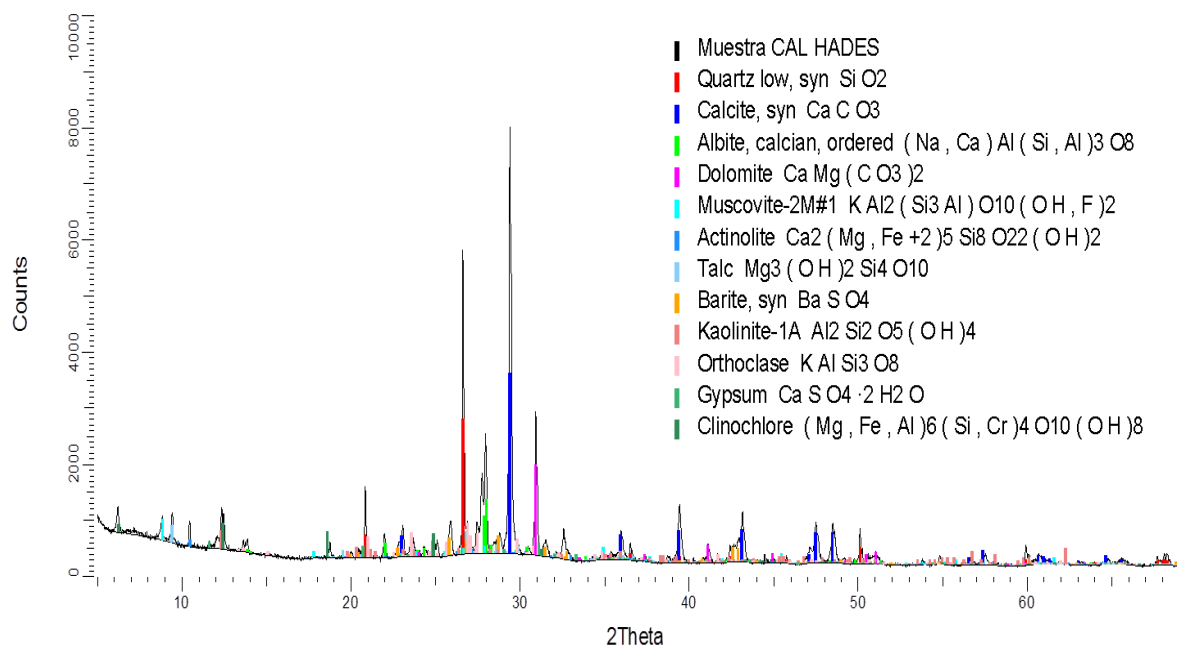


Figura 10: Difractograma de la muestra cal hades

En la figura 10 se muestra el difractograma de muestra cal hades con los respectivos minerales identificados donde se puede observar que tiene una calcita  $\text{CaCO}_3$  en un 29%, muchas veces la composición de una cal está sujeta a la forma de extracción, procesamiento de cocción de la cal y también a la contaminación que presenta durante el proceso de embazado y traslado de la cal ; la producción de cal en hornos es una vieja tecnología, el proceso de cocción de la piedra caliza a temperaturas superiores a los  $900^\circ\text{C}$  es desde entonces una práctica tradicional en la mayoría de los países, la cal es uno de los materiales más versátiles. El proceso químico de cocción de la cal muestra que el principal constituyente en la materia prima (piedra caliza) necesariamente es el carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), la piedra caliza puede tener un contenido de  $\text{CaCO}_3$  mayor del 98% (en diversos tipos de conchas, corales, huesos y el suelo) o tan bajo como 54% (en la dolomita mineral pura). Cada tipo de piedra caliza produce una calidad diferente de cal, por la presencia de impurezas en las piedras calizas, la cocción, el diseño del horno y la elección de combustible dependen en gran parte de la materia prima y del tipo del producto final

requerido; en esta investigación la cal hades tiene un buen porcentaje de piedra caliza es por ello que sus resultados en resistencia, absorción y densidad de los morteros son óptimos.

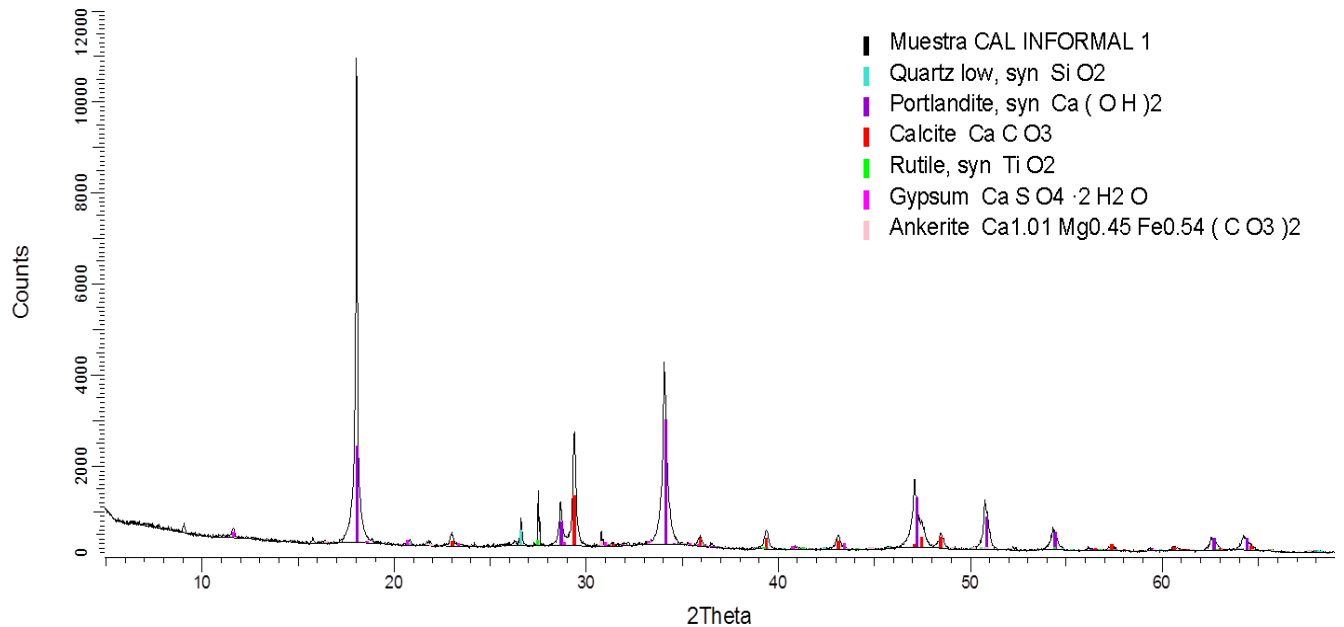


Figura 11: Difractograma de la muestra cal informal IV

En la figura 11 muestra el difractograma de la muestra cal informal IV con los respectivos minerales identificados, muestra la presencia mayor de Portlandita de 66% pero muy poco contenido de calcita con 27%; es por ello el comportamiento y resultados tan bajos en los ensayos realizados con este tipo de cal, pues al obtener muy bajo contenido de piedra caliza no ayuda en mejorar el mortero ni presenta mayor trabajabilidad en los morteros por las impurezas que presenta.

### 5.3. Dosificación del mortero

Se han empleado morteros de cal mezclada con arena en dosificaciones cal: arena 1:0 a 1:1, sin embargo, se debe tener en cuenta que si la proporción aumenta pierde ductilidad y trabajabilidad es por ello que se realizó ensayos preliminares para poder determinar la relación cal: arena, agua: cal en los mortero a emplearse en la investigación.

Para la determinación de la dosificación cal : arena se realizó 10 probetas de prueba por cada dosificación, donde se observó el comportamiento de la relación 1:0 y 1:1 ,por una semana tanto en su contracción como en su resistencia a la compresión para poder compararlas y escoger la mejor relación de los morteros en el estudio, teniendo en cuenta que si el mortero es demasiado pobre en cal no tiene suficiente adherencia y resistencia, dando así lugar a revestimientos que se desmoronan; si el mortero contiene mucha cal, demandará más agua y será más fisurable; después de comparado los resultados se tomó la decisión que la relación más adecuada para ser utilizada es la relación 1:0.

Así mismo para la determinación de la relación agua: cal y la cantidad de agua para el mortero se realizó un ensayo preliminar del tiempo de fraguado. Es por ello que se realizó el ensayo de la guja Vicat en 3 relaciones agua : cal diferentes 0.30, 0.25 y 0.20, donde la mezcla más trabajable y adecuada para la realización del mortero fue la relación 0.25 que tuvo un tiempo de fraguado 48 horas que está dentro de lo estipulado para morteros de cal que empiezan a fraguar pasadas las 48 horas , también se podría decir que la relación 0.30 era más fluida y demoraba más en fraguar y la de 0.20 que presentaba una mezcla más seca y poco trabajable , lo que las descarto como relaciones adecuadas para el uso de la cantidad del agua del mortero estableciéndose así el uso de 75 g de agua para un cubo de 300 gr de cal.

## 5.4. Ensayo de propiedades físicas

### 5.4.1. Densidad

Otra característica física importante en los morteros es la densidad, propiedad que va a dar una idea muy apreciable sobre su comportamiento tanto físico como químico y la permeabilidad que va a determinar en gran parte la resistencia que presenta, es decir su durabilidad. La durabilidad de los morteros de cal es uno de sus mayores puntos fuertes en comparación con el cemento. Solamente hay que observar las estructuras que suelen deteriorarse con bastante rapidez, sobre todo con el ataque de sales. Para comprobar la larga vida de la cal solamente hay que echar la vista atrás y observar los edificios históricos, o incluso fijarse en los restos de las antiguas civilizaciones como Romana, no hay testigo más sincero que la historia, esa durabilidad viene dada por la flexibilidad, la ausencia de sales nocivas, mayor resistencia a movimientos térmicos o aquellos de la propia superficie a la que protegen lo que evita el agrietamiento y la apertura de puntos de acceso de agua.

La densidad del mortero está directamente relacionada con la de sus materiales componentes en este caso la cal y la arena, así como con su contenido de aire. Además, incide en la densidad la relación agua: cal del mortero. A medida que crece esa relación más porosa es el mortero. Este ensayo de densidad por saturación de agua nos ha permitido evaluar que morteros soportan o no soportan el agua. Se considera que un mortero es ligero cuando su densidad es igual o menor que  $1300 \text{ kg/m}^3$  y normales cuando es igual o menor a  $2400 \text{ kg/m}^3$ , la densidad de estos morteros está entre estos valores.

En la figura 12 se puede apreciar la densidad para cada muestra en sus diferentes dosificaciones y las diferentes cales. La cal Martell falló en sus valores de densidad y no es que no presente valores de densidad sino que no soportaron en ninguna dosificación la humedad ,al realizar el ensayo las probetas se desmoronaban al instante de haber colocado el agua, la cal Hades presenta densidad en los morteros de dosificaciones 100%-0%, 90%-10% y 80%-20 % y en las 2 dosificaciones restantes les pasa lo mismo que a la cal Martell se desmoronan rápidamente, esto se debe a que la cal empleada para los morteros no ha sido apagada en el proceso de hidratación que es un proceso exotérmico , entonces sería una cal viva que al contacto con el

agua reacciona rápidamente pues libera una energía y esto provoca un desprendimiento de la masa; para apagar esta cal viva se necesita un tratamiento de agua, sabiendo que cada mol de cal viva tiene 15,6 kcal, al utilizar 300 gramos de cal en el mortero generaría un desprendimiento de 83,6 kcal, que comparado con el yeso que tiene 150 kcal, desprenden menos calor y pero genera una reacción violenta con el agua haciendo que las probetas se desmoronen.

También se puede decir que por aglomeración, al agregarle arena a diferentes dosificaciones puede haber aumentado la composición del carbonato de calcio, porque de repente la arena ha tenido en su composición química carbonato de calcio generando el mismo calor que las que se destruyen fácilmente es decir no todas las cales tienen la misma composición química, así como también al momento de realizar la pasta muchas veces no se combinan todas las partículas de cal con el agua, lo que generaría una pérdida del agua y al ser expuesta la probeta al agua generaría que absorba más agua y da lugar a que el mortero se desmorone.

En las dosificaciones quien tiene la mayor densidad es la cal Hades con 1540 kg / m<sup>3</sup> en la dosificación 80%-20% y la menor densidad la tiene la cal informal III con 881 kg / m<sup>3</sup>. Los valores de la densidad en las dosificaciones 100%-0%, 90%-10% son menores comparadas a los valores de la densidad en las dosificaciones 80%-20%, 70%-30% y 60%-40%; esto se debe a que mientras más arena sustituya la cal más va a subir la densidad del mortero de cal: arena, debido a que la cal presenta un menor peso específico que la arena, esto supone una ligera disminución de cargas permanentes del edificio.

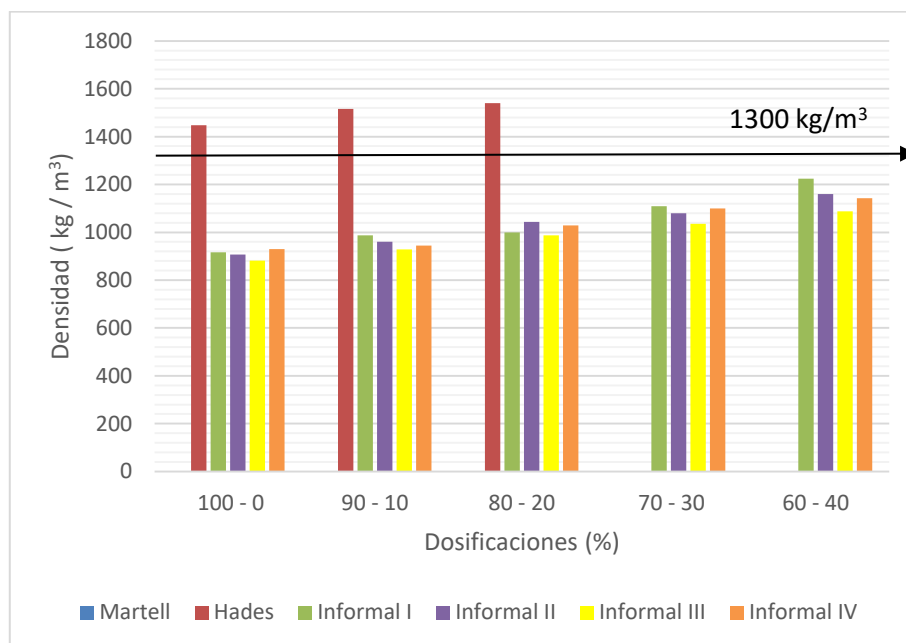


Figura 12: Densidad de los tipos de cal

#### 5.4.2. Absorción

La capacidad que muestra un mortero para retener el agua de su amasado, influirá en la resistencia final de las juntas una vez endurecido. Cuando las piezas de albañilería entran en contacto con el mortero tienden a absorber su agua de amasado. Una pérdida significativa de



dicha agua se traduce en una insuficiente hidratación del conglomerante que puede inhibir el efecto aglutinante del mortero.

La absorción depende de la estructura capilar del material, por tanto, cuanto más compacto sea un mortero, menos será la red capilar y, en consecuencia, menor absorción. En la figura 13 se observa que conforme aumenta la cantidad de sustitución de arena la absorción sufre una caída moderada no siendo tan influyente, esto sucede debido a que la arena es menos absorbente que la cal.

La dosificación que presenta mayor absorción es la de 100%-0% donde es solo un mortero puro de cal con agua, mientras que la menor absorción la tiene el porcentaje de 60%-40% debido a la presencia de arena en mayor cantidad, esto ocurre debido a que la cal es más absorbente que la arena, otro motivo es que al presentar la cal un módulo de finura entre los intervalos de arena gruesa, generó un mayor anclaje entre las partículas del mortero, disminuyendo la cantidad de vacíos que influye en las propiedades en estado endurecido del mortero.

Para la cal Martell no se pudo calcular la absorción pues se desmorona con el contacto del agua a cualquier dosificación mientras que la cal Hades en las dosificaciones 70%-30% y 60%-40% también se desmoronan generados porque el mal proceso de apagado de la cal es decir se estaría utilizando en ocasiones una cal viva o una cal hidratada.

La cal Hades es la que presenta menor absorción con 22% en las tres primeras dosificaciones y la que presenta mayor absorción es la cal informal I con 60%. Se puede decir que quien presenta mayor absorción presenta mayor cantidad de poros y el que presenta menor absorción presenta menor poros en su estructura, la importancia de tener valores bajos de absorción radica en evitar la aparición de humedades por filtración, así como evitar componentes no deseables para la durabilidad del conjunto constructivo, como en el caso de las eflorescencias, lo ideal es que la absorción sea promedio en el mortero para que pueda tener un mejor trabajabilidad y resistencia.

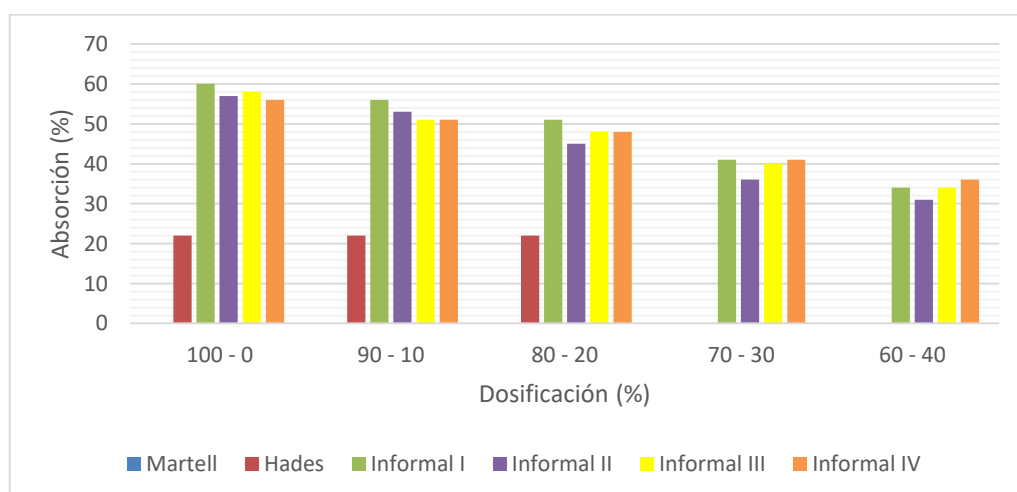


Figura 13: Absorción de los tipos de cal

### 5.4.3. Contracción o retracción

Los morteros de cal son materiales de construcción preparados con arena, cal y agua. La contracción de secado, causada por la evaporación del agua de amasado, se produce en cuanto el mortero es expuesto a las condiciones atmosféricas (humedad relativa < 100%) y se dice que es uno de los causantes de la contracción en los morteros de cal.

La contracción lo experimenta el mortero por disminución de volumen durante el proceso de fraguado y principio de endurecimiento. Dicha contracción es provocada por la pérdida de agua sobrante tras la hidratación del mortero, sabiendo así que un mortero con elevada fluencia, posee también elevada contracción por la pérdida mayor de la humedad.

La contracción fue realizada con morteros de 6 cales y 5 dosificaciones diferentes, monitoreándolos mediante medición de su largo, ancho y alto durante su tiempo de secado, que estuvo monitorizado en función a su peso diario; en la tabla 35 se observa que quien tuvo el mayor tiempo de secado fue la cal Hades con 22 días y el menor tiempo de secado la cal Informal II y la cal informal IV con 10 días.

*Tabla 35: Tiempo de secado.*

Tiempo	Martell	Hades	Informal I	Informal II	Informal III	Informal IV
Días	20	22	14	13	10	10

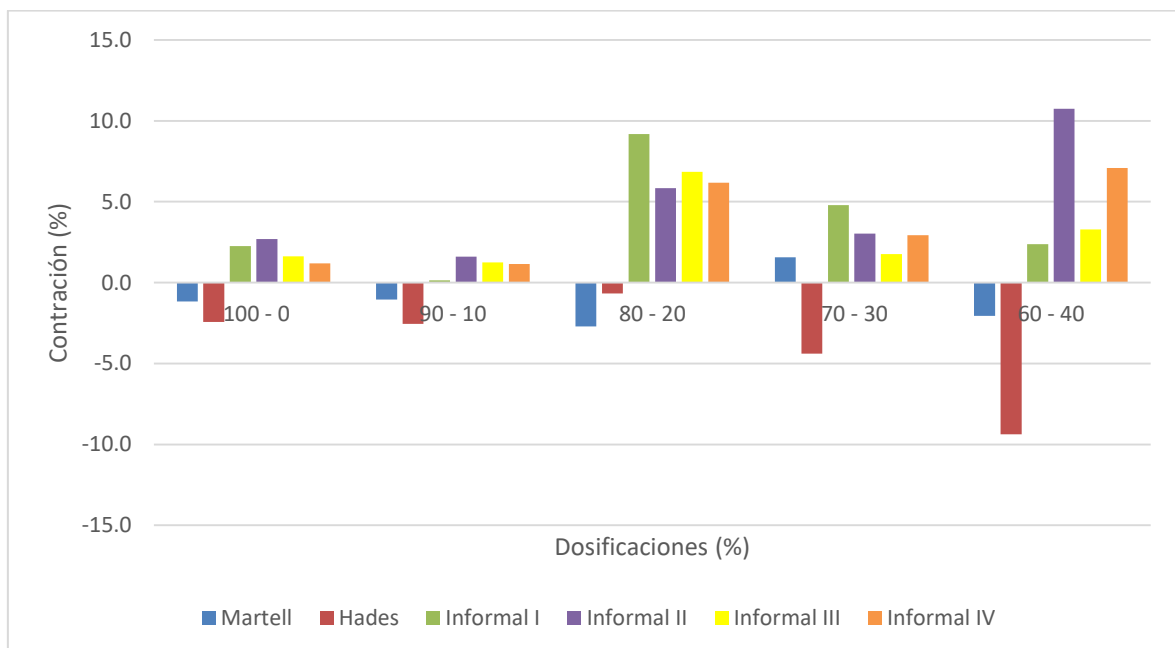
La contracción es proporcional al espesor de la capa, a la riqueza en cal de la mezcla y a la mayor absorción de la pared sobre la que se vaya a aplicar.

Para mejorar esta contracción y evitar agrietamientos es conveniente utilizar arenas con granos de textura rugosa para que pueda tener un mejor acomodo con la cal durante la aplicación del mortero y a la vez una mayor superficie de adherencia, y tener en cuenta además que en clima caliente y de muchos vientos, el agua tiende a evaporarse más rápidamente produciendo tensiones internas en el mortero, que se traducen en grietas visibles. La contracción genera unas tensiones internas en los morteros, que, dependiendo de su duración, de la resistencia a tracción del mortero en ese instante, de la elasticidad por tracción y de la deformabilidad plástica del mortero, pueden originar desde la reducción de volumen hasta la fisuración. La reducción de volumen o encogimiento es un fenómeno que tiene su mayor importancia mientras dura el periodo plástico del mortero, y que da lugar a disminuciones de volumen o a esponjamientos locales de la estructura donde se amortiguan o contrarrestan las tensiones.

En la figura 14 se puede mostrar que en las cales Hades y Martell se produjo contracción, donde la que mayor contracción tuvo fue la cal Hades en la dosificación 60%- 40% con 9.4% y la menor la cal Hades con 0.7 %, pero esta vez en la dosificación 80%-20%, esto se debe, que estas cales tenían en su composición mucha presencia de arena gruesa la cual le da la fluencia de la mezcla lo que produjo que se contraiga. Las variables que pueden generar la contracción son los agregados utilizados para el mortero, la relación agua-cal, las condiciones del medio ambiente y

el tipo de cal empleado para la conformación; es ahí donde se puede decir que es por ello que la mayor contracción se da en la cal Hades en la dosificación 60%-40% pues en esta dosificación es menor el uso de cal comparada con la dosificación que tiene la menor contracción que es la 80%-20% ,si el contenido de cal es alto, el mortero será de alta resistencia y de poco tiempo entre amasado y colocación, será más o menos trabajable y tiene una contracción del 3% si el mortero es seco; en cambio si el contenido de cal es alto tendrá menor resistencia, será mayor el tiempo entre amasado y colocación, será más plástico y permeable, pero tendrá mayor retracción. Si el contenido de arena es alto, la resistencia disminuirá y será poco trabajable, pero tendrá poca retracción.

También se puede observar que en las demás cales se produjo el fenómeno de la expansión en donde la que obtuvo la mayor expansión fue la cal informal II con 10.7 % en la dosificación 60%-40% y la menor la cal Informal I con 0.2% en la dosificación 90%-10%.La cantidad de agua empleada en estos morteros no pudo ser la que genere la contracción porque fue la misma cantidad que se utilizó para todas las dosificaciones y los tipos de cal .Sí se aumentara la cantidad de agua, después de haber finalizado el fraguado causaría un cambio volumétrico capaz de crear tensiones importantes en zonas impedidas de deformarse de esta manera se supera el valor de adherencia del mortero, ocasionando que los bordes de las fisuras se levanten y abarquillen.



*Figura 14: Contracción de los tipos de cal*

Las fisuras de la contracción aparecen cuando el mortero no puede deformarse para relajar la tensión, entonces se produce la rotura. Estas fisuras pueden hacer su aparición antes y después del endurecimiento y siempre que el mortero encuentre impedida su deformación. El peligro de fisuración es generalmente tanto mayor, cuanto más rápidamente se desarrolle la retracción, y tanto menor, cuanto más prolongado sea el tiempo de que dispone el mortero para fluir.

La contracción se presenta como un fenómeno complejo, influenciado por una multitud de parámetros, y aunque siempre ha estado directamente asociada a la patología de las fisuras, también puede desarrollar otros efectos, como la reducción de volumen o encogimiento, que tiene lugar durante el secado de los morteros, cuando se dan las siguientes condiciones: consistencia plástica del mortero, su deformación no esté impedida y el secado sea excesivamente rápido.

#### 5.4.4. Tiempo de fraguado

El tiempo de fraguado es el tiempo que tarda una mezcla en adquirir su resistencia inicial, se percibe cuando pierden su estado plástico e inician una dureza que se le denomina el final del fraguado.

Cuando el mortero de cal se deja expuesto a la atmósfera, fragua, esto es, se compacta, seca y endurece por un proceso de precipitación y decantación del  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  a partir de la suspensión acuosa; donde la cal realiza su proceso de carbonatación para que pueda llegar a fraguar.

El fraguado de la cal es un proceso químico; consiste en la evaporación del exceso de agua empleado en amasar la pasta, seguido de una sustitución del agua por  $\text{CO}_2$  de la atmósfera, pasando de nuevo del hidróxido al carbonato de calcio. Como el anhídrido carbónico seco no reaccionaría con el hidróxido cálcico seco, es necesario que exista algo de humedad presente.

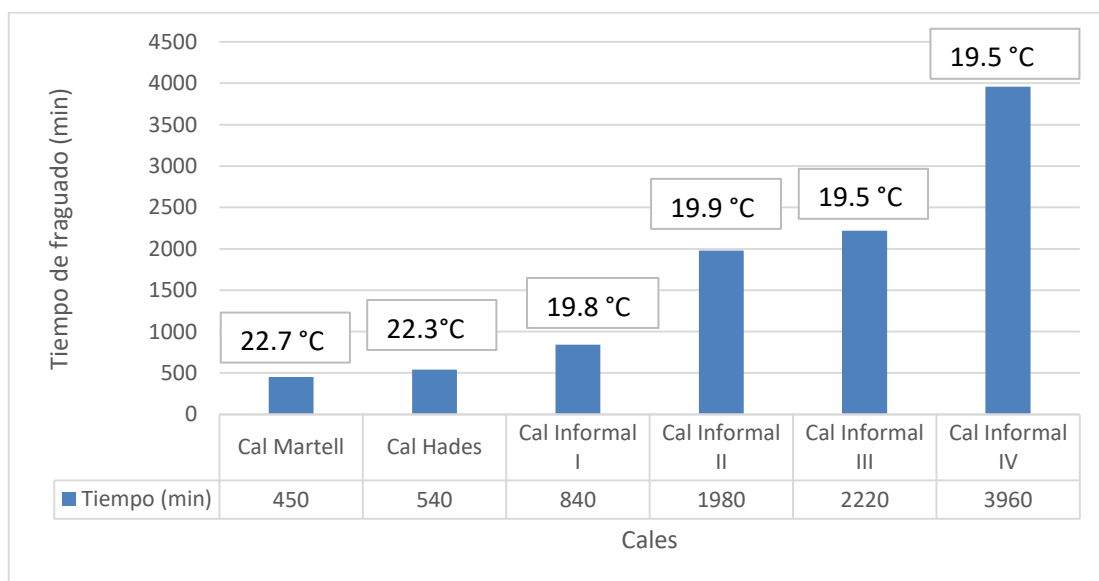


Figura 15: Tiempo de fraguado y temperatura de las cales

En la figura 15 muestra el tiempo de fraguado y la temperatura promedio que se dio durante el tiempo de fraguado para cada tipo de cal, la cal que presenta el mayor tiempo de fraguado es la cal Informal IV con 3960 minutos (66 horas) con una temperatura promedio de 19.5°C y el menor tiempo de fraguado la cal Martell con 450 minutos (7h 30min) con una temperatura promedio de 22.7°C, según la ficha técnica de la cal Gordillos cal de Morón el tiempo de fraguado de una cal con alta hidraulicidad y mediana hidraulicidad está entre 1 hora a 15 horas estando dentro de

este rango el tiempo de fraguado de la cal Martell con 7 horas y media, hades con 9 horas e informal I con 14 horas. Se podría decir que las cales adquiridas de centros comerciales grandes que realizan sus ventas formalmente son las que presentan el menor tiempo de fraguado de la cal, mientras que las que son vendidas en ferreterías de manera informal sin marca ni ficha técnica son las que demoran más en fraguar debido a la forma artesanal de la molienda y apagado de la cal e impurezas que hace que varíe el tiempo de fraguado comparado con las cales que son tratadas industrialmente por las empresas; se toma en cuenta la cantidad de cal empleada para el mortero, el tipo de cal que se ha empleado y el tamaño de las partículas, la cal para un buen apagado deben tener partículas de  $1\frac{1}{2}$  " sin embargo debido a la naturaleza de la operación de molienda, el rango del tamaño de partículas está entre  $\frac{1}{2}$  " y 2" ,la penetración del calor en las diferentes partículas será diferente de acuerdo a su tamaño. En partícula grande el calor no penetra hasta el centro de está quedando carbonato de calcio en el corazón de la partícula y recubierta por oxido de calcio, el centro de esta partícula es lo que llamamos arenilla. Para las partículas de tamaño medio, el calor penetra en su totalidad completando la conversión de todo el carbonato en CaO. En la partícula pequeña el calor llega rápidamente al corazón de la partícula y la cubierta de esta se sobre calienta formando una capa dura, donde el agua no puede penetrar, entonces el proceso de apagado es retardado o impedido.

Según Hassibi en el proceso de hidratación se tiene 56 unidades de CaO más 18 unidades de  $H_2O$  resultando 74 unidades de  $Ca(OH)_2$  según sus pesos atómicos o bien 1 kg de CaO más 0,32 kg de agua que producen 1.32 kilos de lechada de cal ,esta es la cantidad mínima de agua requerida para la reacción química de hidratación así el hidróxido de calcio contiene 75.8% de CaO y 24.2 % de agua, al no presentar dichos porcentajes genera una variación en el tiempo de carbonatación del mortero ; también influye la temperatura o clima, que de aumentar reduce el tiempo de fraguado y de disminuir viceversa , como se muestra en la temperatura, las cales que presentan mayor temperatura en este caso la cal Martell y cal hades con  $22.7^{\circ}C$  y  $22.3^{\circ}C$  respectivamente tienen el tiempo de fraguado más corto mientras que las cales que tienen la temperatura menor en este caso la cal informal I con  $19.8^{\circ}C$  , la cal informal II con  $19.9^{\circ}C$  ,la cal informal III con  $19.5^{\circ}C$  y la cal informal IV con  $19.5^{\circ}C$  tienen el tiempo de fraguado más largo y también se toma en cuenta la relación agua : cal. Las cales por la composición que presentan pueden tender a ser más absorbentes y presentar mezclas más secas o ser más fluidas y presentar más trabajabilidad al mortero que fue el caso que se presentó en esta investigación pues algunas cales eran más fluidas y otras eran más secas, en donde las fluidas secaron más rápido y las secas demoraron en fraguar

## 5.5. Ensayos de propiedades mecánicas

### 5.5.1. Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión es una de las propiedades mecánicas más importantes. Según sea el uso que se le vaya a dar a este mortero, así se buscarán los tipos de cal necesarios para suplir las necesidades, es por ello que se realizó este ensayo a morteros de 6 cales diferentes.

Generalmente se le conoce como  $f'c$  y se refiere a la resistencia especificada a la compresión que se determina mediante la prueba o ensayo de cubos de morteros de 5 cm x 5 cm x 5 cm, ensayados de una vez secos, en este caso todos los cubos se ensayaron a los 28 días. Esta resistencia puede variar debido a las muchas variables en las características de los agregados, mezclado del mortero, procedimientos de construcción y condiciones del medio ambiente.

Según Hassibi, la cal tiene menor resistencia a compresión que el cemento portland, pues este es mucho más rígido, sin embargo esa rigidez lo hace más sensible a la fractura, se trabaja con la idea equivocada de dotar de excesiva rigidez a las edificaciones, y esto ayuda a la aparición de defectos como fisuras y grietas entre otros. Defectos que no aparecen cuando se utilizan morteros de cal, ya que estos aguantan perfectamente las agresiones que pueda tener cualquier elemento constructivo.

La resistencia es inversamente proporcional a la relación agua – material del mortero. Debe recordarse que la relación agua/cal determina la porosidad de la pasta del mortero endurecida en cualquiera de sus etapas de hidratación. Por lo tanto, la relación agua/cal, tanto como el grado de compactación, afectan el volumen de cavidades del mortero por lo que influye en el volumen de aire que contiene el mortero.

En la figura 16 se puede observar que el mortero que obtuvo la mayor resistencia a la compresión fue el de dosificación 100%-0% con 22 kg / cm<sup>2</sup> de la cal Hades, siendo esta la dosificación en donde el porcentaje de cal es el 100%, mientras que el que obtuvo la menor resistencia a la compresión fue la dosificación 70%-30% y 60%-40% con 2 kg / cm<sup>2</sup> de cal Informal IV, en estas dosificaciones hay menos contenido de cal que en la que obtuvo la mayor resistencia. Según Bardales en su investigación sobre conservación de puentes de piedra en el Perú la resistencia a la compresión que tenían estos morteros en el calicanto, es decir de piedra y mortero de cal, era de 20 kg/cm<sup>2</sup> comparado con el máximo valor obtenido en mi investigación, la resistencia a la compresión de la cal Hades es de 22 kg/cm<sup>2</sup> logrando superarlo. Asimismo según Otero las cales tienen una resistencia no mayor a 50 kg/cm<sup>2</sup> por lo tanto no es óptima para utilizarla estructuralmente.

Se puede apreciar que mientras más contenido de arena en los morteros menos es la resistencia a la compresión que presentan, pues la arena hace que el mortero sea más fluido y por ende que si no hay una buena compactación habría más poros en el mortero. Si el mortero es utilizado como pega, debe proporcionar una unión resistente. Si el mortero va a ser utilizado para soportar cargas altas y sucesos, tal es el caso de la mampostería estructural, debe poseer una alta resistencia a la compresión.

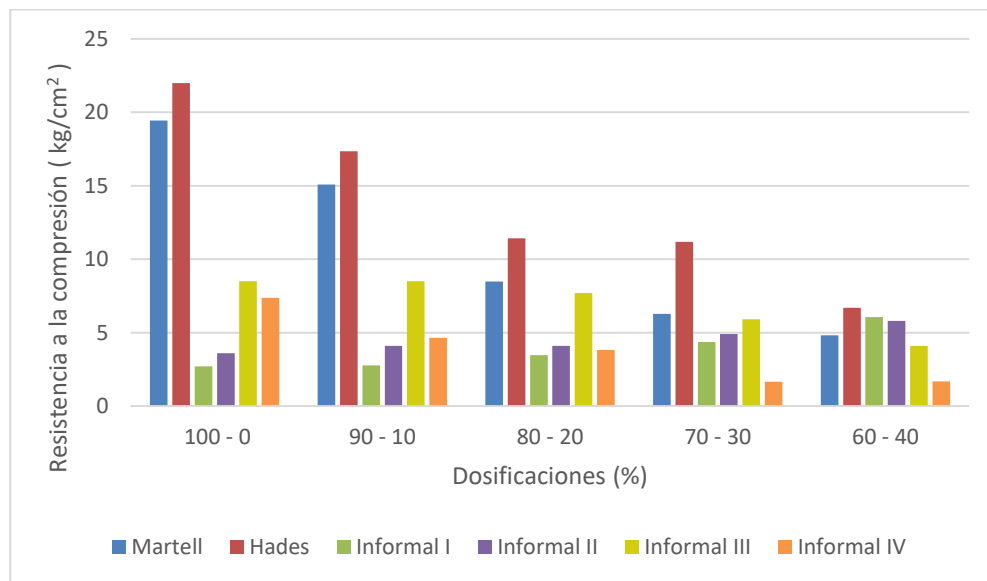


Figura 16: Resistencia a la compresión de los tipos de cal

En todas las proporciones estudiadas, la cal que tuvo la mejor resistencia a la compresión fue la cal Hades; y quien tuvo la menor resistencia a la compresión de todos los morteros fueron los realizados con la cal Informal IV, es por ello que la mejor cal que podría emplearse para fines de restauración y conservación es la cal Hades con la proporción de 100%-0%, y así sea utilizada en las otras dosificaciones 90%:10%,80%:20%,70%:30%y 60%40% ; el mortero sería óptimo comparado con las otras cales.

La resistencia de un mortero depende de la calidad y de la cantidad de componentes reactivos en la pasta y de su grado de hidratación. La resistencia en cualquier edad está en función de la relación agua- cal. La diferencia en la resistencia del mortero cal: arena para una dada relación agua-cal puede depender de los cambios del tamaño, granulometría, textura superficial y forma del agregado, también de los diferentes tipos y fuentes de los materiales (cal y arena gruesa), contenido de aire incluido incorporado y de la porosidad del mortero.

### 5.5.2. Análisis económico

A lo largo y ancho del territorio nacional se conservan Centros Históricos de gran importancia por ser muestra de la influencia de la conquista española en nuestro país. Es así que la forma física de las ciudades fue cambiando poco a poco, dentro de las construcciones coloniales tenemos Centro Histórico de Arequipa, el Centro Histórico del Cusco, el Centro Histórico de Lima, las ciudades de Trujillo, Ayacucho y Cajamarca, entre otras. Estas construcciones coloniales tienen en su estructura materiales tradicionales como morteros de cal, adobe, tapia y madera.

En la actualidad se ha realizado el mantenimiento de algunas construcciones coloniales en donde no se tomaron en cuenta los materiales tradicionales, es por ello que se realizó el análisis económico de la conformación de mortero de cal: arena para un metro cuadrado de muro en comparación con el de un mortero convencional de cemento: arena.

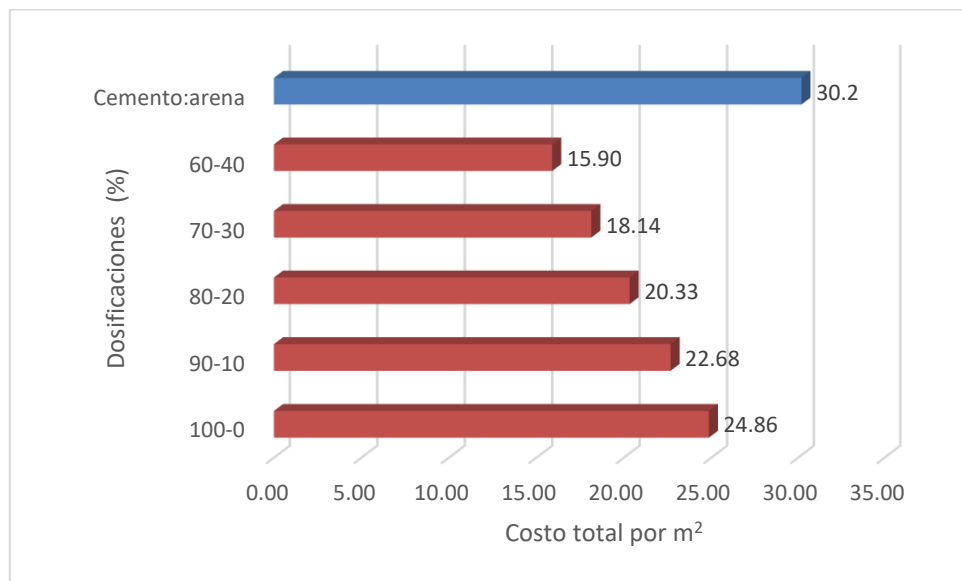


Figura 17: Análisis económico para cal formal

En la figura 17 se muestra una comparación del costo de la conformación del mortero cal: arena con cales formales entre sus dosificaciones, tiene el mayor costo en la dosificación 100% – 0% de 24.86 soles, que es un mortero puro de cal y el menor costo en la dosificación 60 % - 40 % de 15.90 soles, en este mortero se emplea más arena; y al comparar estos costos con el de un mortero de cemento: arena que es de 30.2 soles , los morteros con cal informal en todas sus dosificaciones es más barato.

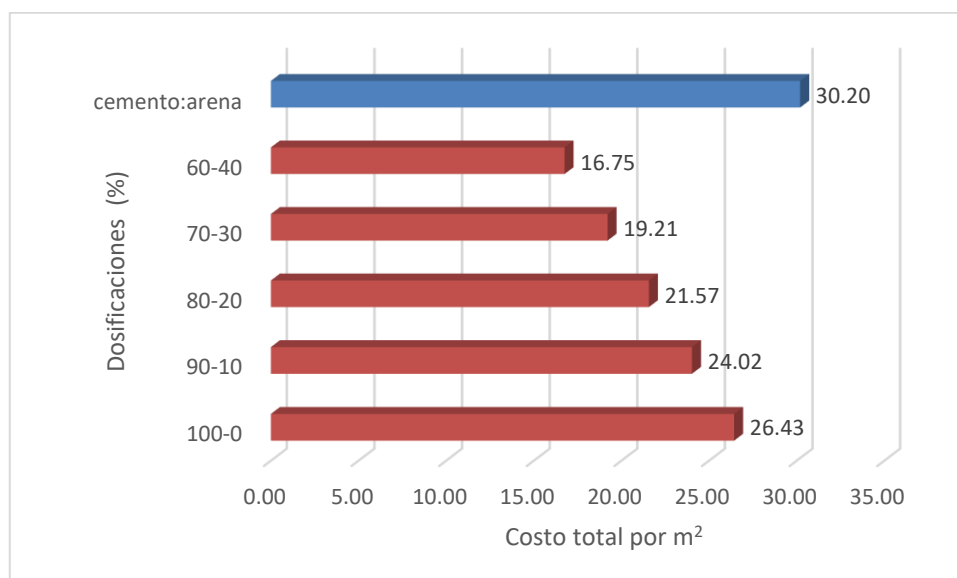


Figura 18: Análisis económico para la cal Informal

En la figura 18 podemos ver el costo de la elaboración de morteros en sus diferentes dosificaciones con cales informales en donde podemos apreciar que los costos son un poco mayores a los costos con cales formales; presenta un mayor costo en la dosificación 100% - 0%



de 26.43 soles y un menor costo en la dosificación 60% - 40% de 16.75 soles. Al comparar con el costo de un mortero de cemento: arena, los morteros con cal informal también son bajos así como los de la cal formal. Cabe recalcar que los costos presentados en esta investigación son referenciales, dado que los índices de precios de materiales de construcción varían mensualmente siendo publicados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática y en El Peruano.

Observándose así que los morteros de cal son más económicos que el mortero de cemento; de esa manera se podría emplear el mortero cal: arena en la conservación y restauración de estructuras coloniales por ser económicos, también para no perder la esencia de los materiales y estructuras tradicionales; también puede ser utilizada como estabilizador de suelos y la cal es producida con menos consumo de energía que el cemento, haciéndolo más barato y ambientalmente más aceptable.

### 5.5.3. Análisis estadístico

En el análisis estadístico se empleó para la comprobación de datos normales el programa SPSS esta evaluación se realizó para los datos de las variables dependientes( absorción , densidad , compresión , contracción ) según las variables independientes ( cales y proporciones), donde se pudo comprobar mediante la prueba de Chapiro – Wilk ( el tamaño de muestra es  $\leq 30$  ) que los datos estaban dentro de una distribución normal pues eran mayor que el  $\alpha = 0.05$  ( porcentaje de error en ingeniería); según la variable dependiente los datos son numéricos por lo tanto se utilizó las pruebas paramétricas y según la variable independiente es un estudio transversal porque se están analizando 2 grupos en un mismo momento y dentro de ellos más de 2 grupos es por eso que se utilizó el ANOVA para la validación de hipótesis, donde los F experimentales de cada variable dependiente fueron mayores al F teórico por lo tanto se aceptaron las hipótesis alternas. El tiempo de fraguado está sujeto a la pureza de las cales y a su relación agua/cal empleada en el mortero es por ello que no se realizó una prueba de hipótesis para este ensayo. Sin embargo para las demás variables dependientes se puede decir sus datos e hipótesis del estudio son válidos.

## CONCLUSIONES

- Se evaluó los tipos de cal y las dosificaciones en morteros con 6 diferentes cales Martell, Hades, Informal I, Informal II, Informal III y Informal IV, agregado de la cantera Calderón del Milagro, con 5 dosificaciones diferentes de reemplazo de cal por arena 100%-0%, 90%-10%, 80%-20%, 70%-30% y 60%-40%.
- Se realizó los ensayos de caracterización de la arena gruesa y la cal, presentándose valores más bajos por ende más finos en la cal Martell y cal Hades de 1.1; la cal Informal III y Informal IV, 1.6 y 1.7 respectivamente estando dentro del rango medio y valores altos por ende más gruesos en la cal Informal I de 3.2 y cal informal II de 3.6; en comparación de la arena con 2.5 con respecto a su módulo de finura. Con respecto al contenido de humedad la cal Informal I, Informal II y Informal IV son los que presentan valores más altos de humedad, 4.9, 8.5, y 3.7 respectivamente, mientras que la cal Martell, Hades y Informal III sus valores de humedad son bajos 0.7, 0.8 y 0.5 respectivamente en comparación con la arena de 0.7.
- El peso específico de arena es de  $2.6 \text{ g/cm}^3$ , la absorción de 2.3 %, peso unitario suelto de 1510 y peso Unitario compactado 1650.
- Los resultados de resistencia a compresión muestran un incremento en las primeras dosificaciones cal: arena de 100%-0%, 90%-10% en primer lugar con morteros de cal Hades y en segundo lugar con cal Martell. A partir del 80%-20% la resistencia empieza a disminuir en todos los morteros de las diferentes cales. La máxima resistencia sucede al 100%-0% con cal Hades alcanzando un valor de  $22 \text{ kg/cm}^2$ , esto quiere decir que no serviría estructuralmente.
- Los valores de contracción son variados pues influye tanto las dosificaciones como los tipos de cal empleados en la realización de los morteros, pero quien tuvo la mayor contracción fue el mortero con cal Hades con 9.4 % en la dosificación 60%-40% pues a medida que se va incrementando la presencia de arena en el mortero la contracción es mayor en comparación con los morteros que contienen menos arena, en este caso el que tuvo la menor contracción fue el mortero con cal Hades con 0.7 % en la dosificación 90%-10%. Se presenta valores de expansión en los morteros, teniendo la mayor expansión el mortero de cal Informal II con 10.7 % en la dosificación 60%-40% y la menor expansión el mortero con cal Informal I con 0.2 % en la dosificación 90%-10%.
- La densidad aumenta conforme se le adiciona arena gruesa al mortero en cales informales. En cales formales la cal Martell no presenta valores de densidad y la cal Hades A dosificaciones de 80%-20% ocasionan un aumento de la densidad es ahí donde presenta el máximo valor de densidad siendo esta de  $1540 \text{ kg/m}^3$ . Mientras que en los valores de absorción mientras más presencia de arena gruesa la absorción disminuye presentando la mínima absorción la cal Hades con 22% y la máxima absorción en la dosificación 100%-0% en la cal Informal I con 60 %, la cal Martell no presenta valores de absorción y densidad.

- El mortero que tuvo el menor tiempo de fraguado fue el que empleo cal Martell con 7 horas y media de tiempo de fraguado y una temperatura de 22.7 °C; mientras que el mortero con cal Informal IV tuvo el mayor tiempo de fraguado de 66 horas y una temperatura de 19.5 °C, se podría decir que las cales formales tienen menor tiempo de fraguado con respecto a las cales Informales que tienen el mayor tiempo de fraguado.
- Ningún mortero cumple con los parámetros establecidos en cuanto a su composición química y resistencia, pero sin embargo se puede rescatar como mortero más óptimo para ser utilizado en restauraciones y mantenimiento de estructuras coloniales el mortero realizado con cal Hades en una dosificación de 100%-0%, puesto que las mezclas presentan consistencia plástica y son manejables.
- Económicamente el mortero de cal: arena comparado con un mortero de cemento: arena convencional es más barato y permite mantener la esencia de las construcciones coloniales.
- Se pudo determinar que los datos y la hipótesis de la investigación son válidas.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda en estudios posteriores evaluar la durabilidad de los morteros de cal.
- Investigar el uso chamota de módulo granulométrico inferior al de 0,32 en morteros de cal con y sin adición de arena con el fin de brindar mayor trabajabilidad al mortero, resistencia a la compresión y ver su influencia en las dosificaciones estudiadas.
- Realizar un estudio sobre morteros de cal y su capacidad de transferencia térmica, pues los morteros estudiados han soportado temperaturas superiores a 300 °C hasta 1000 °C.
- Realizar trabajos multidisciplinarios en el estudio de construcciones históricas, incluyendo profesionales de diferentes ramas.
- Se recomienda el uso de la cal hades en la dosificación 100% -0% para trabajos de restauración y conservación de estructuras coloniales.

## REFERENCIAS

Aguilar, S. (2005). Influencia de las adiciones puzolánicas en los morteros de restauración de fábricas de interés histórico - artístico. Influencia de las adiciones puzolánicas en los morteros de restauración de fábricas de interés histórico - artístico. Madrid, Madrid, España. Obtenido de file:///c:/users/admin/desktop/tesis%202017/alberto\_sepulcre%20antecedente%202.pdf.

Consultado el 13 de julio 2017

Arquigrafico. (2016). Arquigrafico (arquitectura, ingeniería, decoración). Obtenido de arquigrafico (arquitectura, ingeniería, decoración): <https://arquigrafico.com/tipos-de-morteros-para-la-construccion/>. Consultado el 15 de julio del 2017.

Aquehua .J, Sucasaca, J. (2015). "estudio de los morteros de la portada principal de la catedral del cusco". "estudio de los morteros de la portada principal de la catedral del cusco". Cusco, cusco, Perú. Consultado el 15 de julio del 2017.

Comercio. (2015). El comercio. Obtenido del 50% de casonas del centro de Trujillo en riesgo de colapsar: <http://elcomercio.pe/peru/la-libertad/50-casonas-centro-trujillo-riesgo-colapsar-330707>. Consultado el 15 de julio del 2017.

Cortina, G. (2000). Recuperación de morteros romanos de cal y chamota en aplicaciones actuales. Recuperación de morteros romanos de cal y chamota en aplicaciones actuales. Madrid, Madrid, España. Obtenido de file:///c:/users/admin/desktop/tesis%202017/antecedentes/03200005%20antecedente%204.pdf. Consultado el 17 de julio del 2017.

El comercio. (2013). Una empresa de extracción de cal destruye zona arqueológica en nazca. Una empresa de extracción de cal destruye zona arqueológica en nazca, pág. 1. Consultado el 17 de julio del 2017.

El sol de México. (2016). Uxmal cumple 20 años como patrimonio de la humanidad. Uxmal cumple 20 años como patrimonio de la humanidad, pág. 33. Consultado el 18 de julio del 2017.

Fernández, W. (2009). Sistemas de refuerzo estructural en monumentos históricos de la región cusco. Sistemas de refuerzo estructural en monumentos históricos de la región cusco. Lima, lima, Perú. Obtenido de file:///c:/users/admin/desktop/tesis%202017/antecedentes/antecedente%20nacional%203.pdf. Consultado el 18 de julio del 2017.

Fonseca, M. (2014). Ingeniería de pavimentos: fundamentos, estudios básicos y diseño. En a. M. Fonseca, ingeniería de pavimentos: fundamentos, estudios básicos y diseño (pág. 2). Bogotá: universidad católica de Colombia. Consultado el 3 de agosto del 2017.

Hijar, E. (2004). Estudio de mortero de mediana a baja resistencia de cemento, con adición de cal aérea. Estudio de mortero de mediana a baja resistencia de cemento, con adición de cal aérea. Lima, lima, Perú. Obtenido del 4 de julio 2017.

López, G. (2017). Morteros. Morteros. Colombia. Obtenido de [http://www.bdigital.unal.edu.co/6167/17/9589322824\\_parte5.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/6167/17/9589322824_parte5.pdf) .Consultado el 6 de julio del 2017.

Medrano, E. (2006). Evaluación de la incidencia de la cal en las propiedades físico-mecánicas de tres tipos de mortero de albañilería. Evaluación de la incidencia de la cal en las propiedades físico-mecánicas de tres tipos de mortero de albañilería. Guatemala. Consultado el 15 de julio del 2017.

Organización de estados iberoamericanos. (2014). Sistemas nacionales de cultura. Obtenido de sistemas nacionales de cultura: <http://www.oei.es/historico/cultura2/peru/06.htm>. Consultado el 15 de julio del 2017.

Otero, V. (2017). La cal. Obtenido de la cal: <file:///c:/users/admin/desktop/tesis%202017/4tema%202-%20la%20cal.pdf>. Consultado el 15 de julio del 2017.

Paredes, D. (2017). Diario de los andes. Obtenido de casas coloniales en abandono reflejan la realidad de Trujillo: <http://www.diariodelosandes.com/index.php?r=site/noticiasecundaria&id=49169>. Consultado el 15 de julio del 2017.

Carbajal, E. P. (2004). Tópicos de tecnología del concreto. Lima: Segunda edición. Editorial lemoide.

Duda, W. H. (2003). Manual Tecnológico del cemento. España: Tercera edición .Editorial reverté.

José Rivero, J. C. (2006). Manual de laboratorio de química analítica. Trujillo. Editorial macro.

Rojas, W. (2014). Influencia del aditivo superplastificante en el tiempo de fraguado, trabajabilidad y resistencia mecánica del concreto, en la ciudad de Huancayo. Influencia del aditivo superplastificante en el tiempo de fraguado, trabajabilidad y resistencia mecánica del concreto, en la ciudad de Huancayo. Huancayo, Huancayo. Consultado el 17 de agosto del 2017.

Rpp noticias. (2017). Rpp noticias. Obtenido de rpp noticias: <http://rpp.pe/lima/actualidad/video-y-fotos-el-centro-de-lima-un-patrimonio-de-la-humanidad-abandonado-noticia-1023385>. Consultado el 17 de agosto del 2017.

Torres, A. (2017). Las obras en el templo desvelan la 'cara oculta' de la fachada de la iglesia de Jesús. Las obras en el templo desvelan la 'cara oculta' de la fachada de la iglesia de Jesús. Consultado el 19 de agosto del 2017.

Valverde, A. (2017). El comercio. Obtenido del comercio: <http://elcomercio.pe/opinion/colaboradores/rescatando-centro-historico-ernesto-arias-valverde-162018>. Consultado el 20 de agosto del 2017.

Vera, J. (2013). La cal. Obtenido de la cal: [file:///c:/users/admin/desktop/tesis%202017/semana\\_5\\_la\\_cal\\_2013.pdf](file:///c:/users/admin/desktop/tesis%202017/semana_5_la_cal_2013.pdf). Consultado el 21 de agosto del 2017

Bardales, H. (2013). Conservación de puentes de piedra en el Perú: Criterios para su intervención estructural. Lima. Consultado el 19 de abril del 2018.

## APÉNDICE

### Apéndice 1. Caracterización de agregados

#### Ensayo Granulométrico

Tabla 36: Análisis granulométrico de la arena gruesa

Tamiz	Abertura (mm)	Muestra A				Muestra B				Muestra C			
		Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa
N°3/4"	19.00	0.00	0.0	0.0	100.0	0.00	0.0	0.0	100.0	0.00	0.0	0.0	100.0
N°1/2"	12.50	0.00	0.0	0.0	100.0	0.00	0.0	0.0	100.0	0.00	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.50	0.00	0.0	0.0	100.0	0.00	0.0	0.0	100.0	0.00	0.0	0.0	100.0
N° 4	4.75	9.60	1.2	1.2	98.8	9.52	1.1	1.1	98.9	10.34	1.2	1.2	98.8
N°8	2.36	51.35	6.2	7.3	92.7	51.99	6.2	7.4	92.6	52.75	6.3	7.6	92.4
N°16	1.18	123.85	14.9	22.2	77.8	125.16	15.0	22.4	77.6	122.88	14.7	22.3	77.7
N°30	0.60	229.13	27.6	49.8	50.2	227.71	27.3	49.7	50.3	230.47	27.7	50.0	50.0
N°50	0.30	209.95	25.3	75.1	24.9	211.93	25.4	75.2	24.8	213.74	25.6	75.6	24.4
N°100	0.15	156.79	18.9	93.9	6.1	157.77	18.9	94.1	5.9	155.95	18.7	94.3	5.7
N°200	0.08	42.36	5.1	99.0	1.0	42.41	5.1	99.2	0.8	41.87	5.0	99.4	0.6
Fondo	0.03	7.97	1.0	100.0	0.0	6.66	0.8	100.0	0.0	5.36	0.6	100.0	0.0
Peso Tamizado ( g)		831.0	100.0			833.2	100.0			833.4	100.0		



*Tabla 37: Media, variación, desviación para granulometría de la arena gruesa*

Tamiz	% Promedio peso que pasa				Varianza	Desviación Estándar	Desviación estándar (1s), (%) ASTM C136	Rango aceptable para tres resultados (%) ASTM C670
	Muestra A	Muestra B	Muestra C	Promedio				
N°3/4"	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
N°1/2"	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3/8"	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
N° 4	98.8	98.9	98.8	98.8	0.0	0.1	0.3	0.9
N°8	92.7	92.6	92.4	92.6	0.0	0.1	0.6	1.8
N°16	77.8	77.6	77.7	77.7	0.0	0.1	0.6	1.8
N°30	50.2	50.3	50.0	50.2	0.0	0.1	0.8	2.7
N°50	24.9	24.8	24.4	24.7	0.1	0.3	0.8	2.7
N°100	6.1	5.9	5.7	5.9	0.0	0.2	0.4	1.2
N°200	1.0	0.8	0.6	0.8	0.0	0.2	0.1	0.5
Fondo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Ensayo de humedad

*Tabla 38: Contenido de humedad de la arena gruesa*

Arena gruesa	Peso de la tara (gr)	Peso de la tara + muestra húmeda(gr)	Peso de la tara + muestra Seca(gr)	Humedad (%) W	Humedad promedio (%)
A	166.5	1166.5	1158.9	0.8	0.7
B	168.1	1168.1	1161	0.7	
C	118.6	1118.6	1113.5	0.5	

*Tabla 39: Media, variación, desviación para la humedad de la arena gruesa*

Agregado	Humedad promedio (%)	Varianza (%)	Desviación estándar (%)	Desviación estándar (1s) (%) ASTM C566	Rango aceptable para tres
Arena gruesa	0.7	0	0.1	0.3	0.9

Ensayo de peso específico y absorción

*Tabla 40: Peso específico y absorción de la arena gruesa*

Muestra	Código	Peso seco (gr)	Peso de fiola lleno de agua (gr)	Peso de fiola + agua + muestra (gr)	Peso de la muestra saturada (gr)	Peso específico de la arena ( gr/cm <sup>3</sup> )	Absorción (%)
		A	B	C	S		
Arena gruesa	M1	497.6	670.1	984.9	508.45	2.6	2.2
	M2	497.9	671.6	986.9	508.33	2.6	2.1
	M3	497.6	670.1	984.7	509.89	2.5	2.5
Promedio						2.6	2.3

*Tabla 41: Media, variación, desviación para el peso específico y la absorción*

Ensayos	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	Varianza (gr/cm <sup>3</sup> )	Desviación estándar (gr/cm <sup>3</sup> )
Pe ( gr/cm <sup>3</sup> )	2.6	2.6	2.5	2.6	0	0
Absorción (%)	2.2	2.1	2.5	2.3	0	0.2

Ensayo de peso unitario de suelto y compactado

*Tabla 42: Peso unitario suelto seco y compactado seco de la arena gruesa*

Peso unitario suelto seco ( PUSS)					
Código	Peso del molde (kg)	Peso del molde + Arena ( kg)	Peso de la arena ( kg)	Volumen del molde (m <sup>3</sup> )	Peso Unitario ( kg/m <sup>3</sup> )
A	5.502	28.794	23.292	0.01541	1511
B	5.502	28.542	23.040	0.01541	1495
C	5.502	28.734	23.232	0.01541	1508
Peso unitario compactado seco ( PUCS )					
A	5.502	30.954	25.452	0.01541	1652
B	5.502	30.754	25.252	0.01541	1639
C	5.502	30.896	25.394	0.01541	1648

*Tabla 43: Media, variación, desviación para el peso unitario de la arena gruesa*

Ensayos	Agregados	Peso unitario ( kg/m <sup>3</sup> )				Varianza (%)	Desviación estándar ( kg/m <sup>3</sup> )
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio		
Peso unitario suelto seco	Arena gruesa	1512	1495	1508	1505	73.4	8.6
Peso unitario compactado seco		1652	1639	1648	1646	44.7	6.7

Apéndice 2. Caracterización de la cal

Ensayo Granulométrico

*Tabla 44: Análisis granulométrico de la cal Martell*

Tamiz	Abertura (mm)	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
		Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa	Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa	Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa
Nº3/4"	19.00	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100
Nº1/2"	12.50	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100
3/8"	9.50	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100
Nº 4	4.75	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100
Nº8	2.36	0.9	0.8	0.8	99	1.3	1.3	1.3	99	1.8	1.7	1.7	98
Nº16	1.18	6.6	6.4	7.2	93	6.7	6.4	7.7	92	6.9	6.6	8.3	92
Nº30	0.60	5.3	5.1	12.3	88	5.5	5.3	12.9	87	5.4	5.2	13.5	87
Nº50	0.30	4.9	4.7	17.0	83	4.8	4.6	17.6	82	4.8	4.6	18.1	82
Nº100	0.15	52.7	50.9	67.9	32	53.6	51.4	69.0	31	52.4	50.4	68.6	31
Nº200	0.08	33.1	31.9	99.8	0	32.1	30.9	99.9	0	32.5	31.2	99.8	0
Fondo	0.03	0.2	0.2	100.0	0	0.1	0.1	100.0	0	0.2	0.2	100.0	0
Peso tamizado ( gr)		103.5	100.0			104.1	100.0			103.9	100.0		

Tabla 45: Análisis granulométrico de la cal Hades

Tamiz	Abertura (mm)	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
		Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa	Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa	Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa
N°3/4"	19.00	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100
N°1/2"	12.50	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100
3/8"	9.50	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100
N° 4	4.75	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100
N°8	2.36	1.1	0.8	0.8	99	0.7	0.6	0.6	99	0.8	0.7	0.7	99
N°16	1.18	7.0	5.5	6.4	94	6.7	5.7	6.3	94	7.2	6.0	6.7	93
N°30	0.60	8.5	6.7	13.1	87	8.0	6.8	13.1	87	8.1	6.8	13.4	87
N°50	0.30	7.9	6.3	19.4	81	7.4	6.3	19.4	81	7.4	6.2	19.6	80
N°100	0.15	67.6	53.5	72.9	27	61.0	52.0	71.4	29	62.3	52.3	71.9	28
N°200	0.08	34.0	26.9	99.8	0	33.1	28.2	99.7	0	33.3	28.0	99.9	0
Fondo	0.03	0.2	0.2	100.0	0	0.4	0.3	100.0	0	0.2	0.1	100.0	0
Peso tamizado ( gr)		126.3	100.0			117.2	100.0			119.1	100.0		

Tabla 46: Análisis granulométrico de la cal Informal I

Tamiz	Abertura (mm)	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
		Peso retenido	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa	Peso retenido	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa	Peso retenido	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa
		(gr)				(gr)				(gr)			
N°3/4"	19.00	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100
N°1/2"	12.50	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100
3/8"	9.50	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100
N° 4	4.75	0.5	0.5	0.5	100	0.3	0.4	0.4	100	1.2	1.2	1.2	99
N°8	2.36	22.0	22.0	22.6	77	19.2	21.6	22.0	78	18.6	20.1	21.3	79
N°16	1.18	28.0	28.1	50.6	49	24.7	27.7	49.7	50	24.5	26.5	47.8	52
N°30	0.60	19.0	19.0	69.6	30	17.2	19.3	69.0	31	17.9	19.4	67.2	33
N°50	0.30	13.2	13.2	82.8	17	12.2	13.7	82.7	17	13.0	14.0	81.2	19
N°100	0.15	10.1	10.1	92.9	7	9.2	10.3	93.0	7	10.0	10.8	92.0	8
N°200	0.08	6.7	6.7	99.6	0	5.9	6.6	99.6	0	6.9	7.4	99.4	1
Fondo	0.03	0.4	0.4	100.0	0	0.4	0.4	100.0	0	0.5	0.6	100.0	0
Peso tamizado ( gr)		99.9	100.0			89.2	100.0			92.4	100.0		

Tabla 47: Análisis granulométrico de la cal Informal II

Tamiz	Abertura (mm)	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
		Peso retenido	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa	Peso retenido	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa	Peso retenido	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa
		(gr)				(gr)				(gr)			
N°3/4"	19.00	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100
N°1/2"	12.50	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100
3/8"	9.50	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100
N° 4	4.75	4.2	12.2	12.2	88	4.4	12.0	12.0	88	4.0	11.6	11.6	88
N°8	2.36	11.1	32.2	44.4	56	9.9	26.9	38.9	61	10.0	29.2	40.8	59
N°16	1.18	6.3	18.4	62.7	37	8.5	23.3	62.2	38	7.0	20.6	61.3	39
N°30	0.60	4.2	12.1	74.8	25	4.8	13.2	75.4	25	4.5	13.1	74.5	26
N°50	0.30	3.0	8.7	83.5	17	3.3	9.1	84.4	16	3.2	9.3	83.7	16
N°100	0.15	2.6	7.7	91.2	9	2.7	7.4	91.8	8	2.6	7.4	91.2	9
N°200	0.08	2.7	7.9	99.0	1	2.7	7.2	99.0	1	2.5	7.4	98.6	1
Fondo	0.03	0.3	1.0	100.0	0	0.4	1.0	100.0	0	0.5	1.4	100.0	0
Peso tamizado ( gr)		34.5	100.0			36.7	100.0			34.3	100.0		

Tabla 48: Análisis granulométrico de la cal informal III

Tamiz	Abertura (mm)	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
		Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa	Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa	Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa
N°3/4"	19.00	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100
N°1/2"	12.50	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100
3/8"	9.50	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100
N° 4	4.75	1.8	3.0	3.0	97	1.9	3.1	3.1	97	6.5	11.4	11.4	89
N°8	2.36	3.8	6.1	9.2	91	2.7	4.5	7.5	93	2.7	4.7	16.1	84
N°16	1.18	4.5	7.4	16.5	84	3.9	6.3	13.9	86	3.6	6.5	22.6	77
N°30	0.60	3.7	6.0	22.6	77	3.1	5.1	18.9	81	3.0	5.3	27.9	72
N°50	0.30	3.9	6.3	28.9	71	3.4	5.5	24.5	76	3.4	6.0	33.9	66
N°100	0.15	27.1	44.3	73.2	27	28.7	46.8	71.3	29	23.0	40.8	74.7	25
N°200	0.08	15.6	25.5	98.7	1	16.8	27.3	98.6	1	13.6	24.2	98.8	1
Fondo	0.03	0.8	1.3	100.0	0	0.9	1.4	100.0	0	0.7	1.2	100.0	0
Peso tamizado ( gr)		61.2	100.0			61.3	100.0			56.4	100.0		

Tabla 49: Análisis granulométrico de la cal informal IV

Tamiz	Abertura (mm)	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
		Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa	Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa	Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa
N°3/4"	19.00	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100
N°1/2"	12.50	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100
3/8"	9.50	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100	0.0	0.0	0.0	100
N° 4	4.75	7.7	10.9	10.9	89	7.9	11.7	11.7	88	8.3	11.2	11.2	89
N°8	2.36	2.7	3.8	14.7	85	2.5	3.7	15.4	85	2.8	3.8	15.0	85
N°16	1.18	3.7	5.3	19.9	80	3.7	5.5	20.8	79	4.2	5.6	20.6	79
N°30	0.60	2.8	4.0	23.9	76	2.6	3.7	24.6	75	3.4	4.6	25.2	75
N°50	0.30	2.9	4.1	27.9	72	2.8	4.1	28.6	71	3.4	4.6	29.7	70
N°100	0.15	33.0	46.8	74.8	25	31.0	45.5	74.1	26	33.2	44.7	74.4	26
N°200	0.08	16.8	23.9	98.6	1	16.7	24.5	98.6	1	17.8	24.0	98.4	2
Fondo	0.03	1.0	1.4	100.0	0	0.9	1.4	100.0	0	1.2	1.6	100.0	0
Peso tamizado ( gr)		70.5	100.0			68.1	100.0			74.2	100.0		



*Tabla 50: Media, variación, desviación para el análisis granulométrico de la cal Martell*

Tamiz	% Promedio peso que pasa				Varianza (%)	Desviación estándar (%)
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio		
N°3/4"	100	100	100	100	0	0
N°1/2"	100	100	100	100	0	0
3/8"	100	100	100	100	0	0
N° 4	100	100	100	100	0	0
N°8	99	99	98	99	0.2	0.4
N°16	93	92	92	92	0.3	0.5
N°30	88	87	87	87	0.4	0.6
N°50	83	82	82	82	0.3	0.6
N°100	32	31	32	32	0.3	0.6
N°200	0	0	0	0	0	0
Fondo	0	0	0	0	0	0

*Tabla 51: Media, variación, desviación para el análisis granulométrico de la cal hades*

Tamiz	% Promedio peso que pasa				Varianza (%)	Desviación estándar (%)
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio		
N°3/4"	100	100	100	100	0.0	0.0
N°1/2"	100	100	100	100	0.0	0.0
3/8"	100	100	100	100	0.0	0.0
N° 4	100	100	100	100	0.0	0.0
N°8	99	99	99	99	0.0	0.1
N°16	94	94	93	94	0.0	0.2
N°30	87	87	87	87	0.0	0.2
N°50	81	81	80	81	0.0	0.1
N°100	27	29	28	28	0.5	0.7
N°200	0	0	0	0	0.0	0.1
Fondo	0	0	0	0	0.0	0.0

*Tabla 52: Media, variación, desviación para el análisis granulométrico de la cal informal I*

Tamiz	% Promedio peso que pasa				Varianza (%)	Desviación estándar (%)
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio		
N°3/4"	100	100	100	100	0.0	0.0
N°1/2"	100	100	100	100	0.0	0.0
3/8"	100	100	100	100	0.0	0.0
N° 4	100	100	100	99	0.2	0.5
N°8	77	78	79	78	0.4	0.6
N°16	49	50	52	51	2.1	1.5
N°30	30	31	33	31	1.7	1.3
N°50	17	17	19	18	0.8	0.9
N°100	7	7	8	7	0.3	0.6
N°200	0	0	1	0	0.0	0.1
Fondo	0	0	0.0	0	0.0	0.0

*Tabla 53: Media, variación, desviación para el análisis granulométrico de la Informal II*

Tamiz	% Promedio peso que pasa				Varianza (%)	Desviación estándar (%)
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio		
N°3/4"	100	100	100	100	0.0	0.0
N°1/2"	100	100	100	100	0.0	0.0
3/8"	100	100	100	100	0.0	0.0
N° 4	88	88	88	88	0.1	0.3
N°8	56	61	59	59	7.7	2.8
N°16	37	38	39	38	0.5	0.7
N°30	25	25	26	25	0.2	0.4
N°50	17	16	16	16	0.2	0.5
N°100	9	8	9	9	0.1	0.4
N°200	1	1	1	1	0.1	0.2
Fondo	0	0	0	0	0.0	0.0

*Tabla 54: Media, variación, desviación para el análisis granulométrico de la cal Informal III*

Tamiz	% Promedio peso que pasa				Varianza (%)	Desviación estándar (%)
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio		
N°3/4"	100	100	100	100	0.0	0.0
N°1/2"	100	100	100	100	0.0	0.0
3/8"	100	100	100	100	0.0	0.0
N° 4	97	97	89	94	23.4	4.8
N°8	91	93	84	89	20.8	4.6
N°16	84	86	77	82	20.0	4.5
N°30	77	81	72	77	20.5	4.5
N°50	71	76	66	71	22.2	4.7
N°100	27	29	25	27	2.9	1.7
N°200	1	1	1	1	0.0	0.1
Fondo	0	0	0	0	0.0	0.0

*Tabla 55: Media, variación, desviación para el análisis granulométrico de la cal Informal IV*

Tamiz	% Promedio peso que pasa				Varianza (%)	Desviación estándar (%)
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio		
N°3/4"	100	100	100	100	0.0	0.0
N°1/2"	100	100	100	100	0.0	0.0
3/8"	100	100	100	100	0.0	0.0
N° 4	89	88	89	89	0.1	0.4
N°8	85	85	85	85	0.1	0.3
N°16	80	79	79	80	0.2	0.5
N°30	76	75	75	76	0.4	0.6
N°50	72	71	70	71	0.8	0.9
N°100	25	26	26	26	0.1	0.3
N°200	1	1	2	1	0.0	0.1
Fondo	0	0	0	0	0.0	0.0

Ensayo de Humedad

*Tabla 56: Contenido de humedad de los 6 cales*

Cal	Código	Peso de la tara (gr)	Peso de la tara + muestra húmeda	Peso de la tara + muestra seca	Humedad (%) W	Promedio (%) W
Martell	M1	42.7	67.7	67.6	0.4	0.7
	M2	40.7	65.7	65.5	0.8	
	M3	29.2	54.2	54.0	0.8	
Hades	M1	44.2	69.2	69.1	0.4	0.8
	M2	29.9	54.9	54.7	0.9	
	M3	29.2	54.2	53.9	1.1	
Informal I	M1	46.5	71.5	70.4	4.6	4.9
	M2	47.1	72.1	71.0	4.6	
	M3	29.0	54.0	52.7	5.6	
Informal II	M1	41.7	66.7	64.9	7.8	8.5
	M2	30.1	55.1	53.0	9.1	
	M3	32.5	57.5	55.5	8.5	
Informal III	M1	44.9	69.9	69.8	0.4	0.5
	M2	30.7	55.7	55.6	0.6	
	M3	27.4	52.4	52.3	0.6	
Informal IV	M1	46.1	71.1	70.1	4.2	3.7
	M2	44.1	69.1	68.4	3.1	
	M3	29.8	54.8	53.9	3.9	

*Tabla 57: Media, variación, desviación para la humedad de los 6 cales*

Cal	Humedad promedio (%)	Varianza (%)	Desviación estándar (%)
Martell	0.7	0.1	0.2
Hades	0.8	0.1	0.3
Informal I	4.9	27.2	5.2
Informal II	8.5	89.1	9.4
Informal III	0.5	8.6	2.9
Informal IV	3.7	4.3	2.1

Apéndice 3. Resultados de los ensayos al mortero

Ensayo de densidad

Tabla 58: Densidad del mortero de cal Martell y Hades

Cal	Dosificación (%)	Cubo	Peso saturado (kg)	Peso suspendido (kg)	Peso seco (kg)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Densidad promedio (kg/m <sup>3</sup> )	Varianza (%)	Desviación estándar (kg/m <sup>3</sup> )	
Martell	100 – 0	1	0	0	0	0	0	0	0	
		2	0	0	0	0				
		3	0	0	0	0				
	90 – 10	1	0	0	0	0	0	0	0	
		2	0	0	0	0				
		3	0	0	0	0				
	80 – 20	1	0	0	0	0	0	0	0	
		2	0	0	0	0				
		3	0	0	0	0				
	70 – 30	1	0	0	0	0	0	0	0	
		2	0	0	0	0				
		3	0	0	0	0				
	60 – 40	1	0	0	0	0	0	0	0	
		2	0	0	0	0				
		3	0	0	0	0				
	Hades	100 – 0	1	0.3	0.1	0.2	1448	1448	0.3	0.5
			2	0.3	0.1	0.2	1447			
			3	0.3	0.1	0.2	1448			
90 – 10		1	0.3	0.1	0.2	1515	1515	1.1	1.1	
		2	0.3	0.1	0.2	1514				
		3	0.3	0.1	0.2	1515				
80 – 20		1	0.3	0.1	0.2	1540	1540	0.4	0.6	
		2	0.2	0.1	0.2	1539				
		3	0.3	0.1	0.2	1540				
70 – 30		1	0	0	0	0	0	0	0	
		2	0	0	0	0				
		3	0	0	0	0				
60 – 40		1	0	0	0	0	0	0	0	
		2	0	0	0	0				
		3	0	0	0	0				

Tabla 59: Densidad del mortero de cal Informal I e Informal II

Cal	Dosificación (%)	Cubo	Peso saturado (kg)	Peso suspendido (kg)	Peso seco (kg)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Densidad promedio (kg/m <sup>3</sup> )	Varianza (%)	Desviación estándar (kg/m <sup>3</sup> )
Informal I	100 – 0	1	0.2	0.1	0.1	916	916	0.4	0.6
		2	0.2	0.1	0.1	915			
		3	0.2	0.1	0.1	917			
	90 – 10	1	0.2	0.1	0.1	987	986	0.4	0.7
		2	0.2	0.1	0.1	988			
		3	0.2	0.1	0.1	987			
	80 – 20	1	0.2	0.1	0.1	999	998.9	0.5	0.7
		2	0.2	0.1	0.1	998			
		3	0.2	0.1	0.1	999			
	70 – 30	1	0.2	0.1	0.2	1109	1109	0.3	0.5
		2	0.2	0.1	0.2	1108			
		3	0.2	0.1	0.2	1109			
	60 – 40	1	0.2	0.1	0.2	1233	1225	0.9	1.0
		2	0.2	0.1	0.2	1211			
		3	0.2	0.1	0.2	1230			
Informal II	100 – 0	1	0.2	0.1	0.1	922	907	0.4	0.6
		2	0.2	0.1	0.1	902			
		3	0.2	0.1	0.1	898			
	90 – 10	1	0.2	0.1	0.1	958	961	8.0	2.8
		2	0.2	0.1	0.1	962			
		3	0.2	0.1	0.1	963			
	80 – 20	1	0.2	0.1	0.2	1053	1044	1.4	1.2
		2	0.2	0.1	0.1	1047			
		3	0.2	0.1	0.1	1031			
	70 – 30	1	0.2	0.1	0.2	1080	1079	0.4	0.6
		2	0.2	0.1	0.2	1079			
		3	0.2	0.1	0.1	1080			
	60 – 40	1	0.3	0.1	0.2	1160	1159	1.0	1.0
		2	0.2	0.1	0.2	1158			
		3	0.2	0.1	0.2	1160			

Tabla 60: Densidad del mortero de cal Informal III e Informal IV

Cal	Dosificación (%)	Cubo	Peso saturado (kg)	Peso suspendido (kg)	Peso seco (kg)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Densidad promedio (kg/m <sup>3</sup> )	Varianza (%)	Desviación estándar (kg/m <sup>3</sup> )
Informal III	100 – 0	1	0.2	0.1	0.1	894	881	0.3	0.5
		2	0.2	0.1	0.1	883			
		3	0.2	0.1	0.1	867			
	90 – 10	1	0.2	0.1	0.1	928	929	0.4	0.6
		2	0.2	0.1	0.1	929			
		3	0.2	0.1	0.1	929			
	80 – 20	1	0.2	0.1	0.1	992	988	3.1	1.8
		2	0.2	0.1	0.1	981			
		3	0.2	0.1	0.1	990			
	70 – 30	1	0.2	0.1	0.2	1135	1035	0.4	0.6
		2	0.2	0.1	0.1	1035			
		3	0.2	0.1	0.1	1034			
	60 – 40	1	0.2	0.1	0.2	1089	1087	1.3	1.2
		2	0.2	0.1	0.2	1086			
		3	0.2	0.1	0.2	1088			
Informal IV	100 – 0	1	0.2	0.1	0.1	937	930	0.4	0.6
		2	0.2	0.1	0.1	929			
		3	0.2	0.1	0.1	924			
	90 – 10	1	0.2	0.1	0.1	945	945	0.3	0.6
		2	0.2	0.1	0.1	944			
		3	0.2	0.1	0.1	945			
	80 – 20	1	0.2	0.1	0.1	1044	1029	1.2	1.1
		2	0.2	0.1	0.1	1024			
		3	0.2	0.1	0.1	1018			
	70 – 30	1	0.2	0.1	0.2	1110	1100	0.3	0.5
		2	0.2	0.1	0.1	1199			
		3	0.2	0.1	0.2	1100			
	60 – 40	1	0.2	0.1	0.2	1143	1143	0.5	0.7
		2	0.2	0.1	0.2	1142			
		3	0.2	0.1	0.2	1144			

Ensayo de absorción

*Tabla 61: Absorción del mortero de la cal Martell y Hades*

Cal	Dosificación (%)	Cubo	Peso saturado (kg)	Peso suspendido (kg)	Peso seco (kg)	Absorción (%)	Absorción promedio (%)	Varianza (%)	Desviación estándar (%)
Martell	100 – 0	1	0.0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0
		2	0.0	0.0	0.0	0			
		3	0.0	0.0	0.0	0			
	90 – 10	1	0.0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0
		2	0.0	0.0	0.0	0			
		3	0.0	0.0	0.0	0			
	80 – 20	1	0.0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0
		2	0.0	0.0	0.0	0			
		3	0.0	0.0	0.0	0			
	70 – 30	1	0.0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0
		2	0.0	0.0	0.0	0			
		3	0.0	0.0	0.0	0			
	60 – 40	1	0.0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0
		2	0.0	0.0	0.0	0			
		3	0.0	0.0	0.0	0			
Hades	100 – 0	1	0.3	0.1	0.2	22	22	0.1	0.3
		2	0.3	0.1	0.2	22			
		3	0.3	0.1	0.2	22			
	90 – 10	1	0.3	0.1	0.2	22	22	0.2	0.5
		2	0.3	0.1	0.2	22			
		3	0.3	0.1	0.2	21			
	80 – 20	1	0.3	0.1	0.2	23	22	0.4	0.7
		2	0.2	0.1	0.2	22			
		3	0.3	0.1	0.2	21			
	70 – 30	1	0.0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0
		2	0.0	0.0	0.0	0			
		3	0.0	0.0	0.0	0			
	60 – 40	1	0.0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0
		2	0.0	0.0	0.0	0			
		3	0.0	0.0	0.0	0			



Tabla 62: Absorción del mortero de la cal Informal I e Informal II

Cal	Dosificación (%)	Cubo	Peso saturado (kg)	Peso suspendido (kg)	Peso seco (kg)	Absorción (%)	Absorción promedio (%)	Varianza (%)	Desviación estándar (%)
Informal I	100 – 0	1	0.2	0.1	0.1	61	60	2.5	1.6
		2	0.2	0.1	0.1	60			
		3	0.2	0.1	0.1	58			
	90 – 10	1	0.2	0.1	0.1	57	56	4.4	2.1
		2	0.2	0.1	0.1	58			
		3	0.2	0.1	0.1	54			
	80 – 20	1	0.2	0.1	0.1	49	49	23.1	4.8
		2	0.2	0.1	0.1	48			
		3	0.2	0.1	0.1	50			
	70 – 30	1	0.2	0.1	0.2	41	41	3.1	1.8
		2	0.2	0.1	0.2	43			
		3	0.2	0.1	0.2	39			
	60 – 40	1	0.2	0.1	0.2	34	34	0.6	0.8
		2	0.2	0.1	0.2	35			
		3	0.2	0.1	0.2	34			
Informal II	100 – 0	1	0.2	0.1	0.1	55	57	3.8	2.0
		2	0.2	0.1	0.1	58			
		3	0.2	0.1	0.1	58			
	90 – 10	1	0.2	0.1	0.1	54	53	3.3	1.8
		2	0.2	0.1	0.1	51			
		3	0.2	0.1	0.1	52			
	80 – 20	1	0.2	0.1	0.2	47	45	3.4	1.9
		2	0.2	0.1	0.1	43			
		3	0.2	0.1	0.1	44			
	70 – 30	1	0.2	0.1	0.2	37	36	2.6	1.6
		2	0.2	0.1	0.2	34			
		3	0.2	0.1	0.1	37			
	60 – 40	1	0.3	0.1	0.2	32	31	3.2	1.8
		2	0.2	0.1	0.2	29			
		3	0.2	0.1	0.2	32			

Tabla 63: Absorción del mortero de la cal Informal III e Informal IV

Cal	Dosificación (%)	Cubo	Peso saturado (kg)	Peso suspendido (kg)	Peso seco (kg)	Absorción (%)	Absorción promedio (%)	Varianza (%)	Desviación estándar (%)
Informal III	100 – 0	1	0.2	0.1	0.1	57	58	2.3	1.5
		2	0.2	0.1	0.1	58			
		3	0.2	0.1	0.1	60			
	90 – 10	1	0.2	0.1	0.1	49	51	2.1	1.5
		2	0.2	0.1	0.1	51			
		3	0.2	0.1	0.1	52			
	80 – 20	1	0.2	0.1	0.1	47	48	1.5	1.2
		2	0.2	0.1	0.1	49			
		3	0.2	0.1	0.1	47			
	70 – 30	1	0.2	0.1	0.2	39	40	2.7	1.6
		2	0.2	0.1	0.1	42			
		3	0.2	0.1	0.1	39			
	60 – 40	1	0.2	0.1	0.2	33	34	1.1	1.0
		2	0.2	0.1	0.2	35			
		3	0.2	0.1	0.2	34			
Informal IV	100 – 0	1	0.2	0.1	0.1	56	56	2.1	1.5
		2	0.2	0.1	0.1	54			
		3	0.2	0.1	0.1	57			
	90 – 10	1	0.2	0.1	0.1	49	51	2.7	1.7
		2	0.2	0.1	0.1	52			
		3	0.2	0.1	0.1	52			
	80 – 20	1	0.2	0.1	0.1	46	48	1.8	1.4
		2	0.2	0.1	0.1	48			
		3	0.2	0.1	0.1	49			
	70 – 30	1	0.2	0.1	0.2	40	41	1.6	1.3
		2	0.2	0.1	0.1	41			
		3	0.2	0.1	0.2	43			
	60 – 40	1	0.2	0.1	0.2	35	36	1.7	1.3
		2	0.2	0.1	0.2	36			
		3	0.2	0.1	0.2	37			

Ensayo de contracción

Tabla 64: Medidas de los moldes a y b

Molde a										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Largo (mm)	51.34	52.19	52.36	52.87	52.69	52.51	52.37	52.23	51.86	51.12
	51.74	52.13	52.49	52.68	52.50	52.50	52.28	52.10	51.59	50.82
	51.54	52.16	52.43	52.78	52.60	52.51	52.33	52.17	51.73	50.97
Ancho (mm)	50.35	50.30	51.76	51.17	51.23	51.76	51.01	49.95	51.30	51.92
	50.08	50.35	51.79	50.91	51.23	51.38	51.30	50.25	51.11	51.93
	50.22	50.33	51.78	51.04	51.23	51.57	51.16	50.10	51.21	51.93
Altura (mm)	51.25	51.15	50.87	49.87	51.46	51.42	51.25	51.68	51.74	50.60
	50.86	50.85	51.15	50.98	51.88	51.44	51.55	52.08	51.91	51.08
	51.06	51.00	51.01	50.43	51.67	51.43	51.40	51.88	51.83	50.84
Molde b										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Largo (mm)	50.68	51.75	52.14	52.30	52.37	52.27	51.77	51.57	51.07	50.91
	51.67	51.90	52.28	52.39	52.34	51.95	51.40	51.14	50.94	50.83
	51.18	51.83	52.21	52.35	52.36	52.11	51.59	51.36	51.01	50.87
Ancho (mm)	51.78	52.44	49.83	51.36	51.08	50.99	50.58	51.67	51.46	51.25
	50.62	51.31	50.28	51.61	51.60	51.51	50.85	51.71	51.20	51.12
	51.20	51.88	50.06	51.49	51.34	51.25	50.72	51.69	51.33	51.19
Altura (mm)	50.87	50.67	51.41	50.99	51.41	51.68	51.86	51.34	51.47	51.27
	50.98	50.80	51.06	51.11	51.40	51.66	51.72	51.15	51.20	51.80
	50.93	50.74	51.24	51.05	51.41	51.67	51.79	51.25	51.34	51.54

Tabla 65: Medidas de los moldes c y d

Molde c										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Largo (mm)	50.40	50.65	50.46	50.58	50.62	50.56	50.76	50.95	51.12	50.93
	50.47	50.54	50.64	50.68	50.84	51.50	50.92	51.18	51.22	50.66
	50.44	50.60	50.55	50.63	50.73	51.03	50.84	51.07	51.17	50.80
Ancho (mm)	52.18	51.76	50.57	50.04	50.74	51.39	50.81	51.41	50.26	52.06
	51.86	52.43	49.65	50.50	50.54	51.23	50.82	50.78	50.70	52.19
	52.02	52.10	50.11	50.27	50.64	51.31	50.82	51.10	50.48	52.13
Altura (mm)	50.58	50.41	49.67	50.27	50.94	51.03	50.01	49.89	50.57	50.22
	50.96	50.37	50.35	50.01	49.84	50.02	49.64	48.98	50.41	50.32
	50.77	50.39	50.01	50.14	50.39	50.53	49.83	49.44	50.49	50.27
Molde d										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Largo (mm)	50.33	51.44	51.66	51.83	51.88	51.64	51.24	51.17	50.99	50.75
	51.16	51.63	51.80	51.86	51.71	51.29	51.17	51.09	50.70	50.57
	50.75	51.54	51.73	51.85	51.80	51.47	51.21	51.13	50.85	50.66
Ancho (mm)	49.75	50.91	50.16	51.29	50.20	50.00	50.77	50.74	50.02	50.95
	50.13	51.05	50.35	51.13	50.06	50.07	51.07	50.55	50.04	50.83
	49.94	50.98	50.26	51.21	50.13	50.04	50.92	50.65	50.03	50.89
Altura (mm)	50.30	50.12	50.21	50.02	50.08	49.99	50.05	50.12	50.12	50.53
	50.23	50.44	50.34	50.10	50.03	50.10	50.33	50.09	50.24	50.29
	50.27	50.28	50.28	50.06	50.06	50.05	50.19	50.11	50.18	50.41

Tabla 66: Medidas de los moldes e y f

		Molde e									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Largo (mm)		50.53	51.13	51.47	51.60	51.56	51.42	51.41	51.37	51.10	50.68
		51.11	51.38	51.49	51.46	51.38	51.47	51.36	51.21	50.81	50.08
		50.82	51.26	51.48	51.53	51.47	51.45	51.39	51.29	50.96	50.38
Ancho (mm)		50.24	51.85	50.72	51.26	50.71	50.38	51.88	51.01	50.59	51.43
		49.95	51.40	50.12	51.60	50.11	50.53	51.43	51.19	50.34	51.92
		50.10	51.63	50.42	51.43	50.41	50.46	51.66	51.10	50.47	51.68
Altura (mm)		50.76	51.01	50.95	51.10	51.05	50.90	50.88	50.98	50.81	50.75
		50.86	50.58	50.85	50.88	50.85	50.78	50.62	50.62	50.74	50.70
		50.81	50.80	50.90	50.99	50.95	50.84	50.75	50.80	50.78	50.73
		Molde f									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Largo (mm)		51.15	51.97	52.48	52.74	52.73	52.38	51.80	51.33	50.80	50.15
		51.69	52.28	52.60	52.66	52.46	51.97	51.41	50.84	50.32	49.56
		51.42	52.13	52.54	52.70	52.60	52.18	51.61	51.09	50.56	49.86
Ancho (mm)		50.90	51.70	50.10	50.87	50.08	50.70	51.66	50.72	50.27	52.15
		51.36	51.37	50.42	50.60	50.40	50.31	50.71	50.62	49.99	51.39
		51.13	51.54	50.26	50.74	50.24	50.51	51.19	50.67	50.13	51.77
Altura (mm)		50.80	50.64	50.59	50.51	50.22	50.42	50.33	50.15	50.32	50.39
		51.16	50.92	50.82	50.68	50.41	50.33	50.49	50.23	50.50	50.58
		50.98	50.78	50.71	50.60	50.32	50.38	50.41	50.19	50.41	50.49



Tabla 68: Medidas diarias de largo, ancho, altura y peso de la cal Hades

Table with columns for measurement type (Largo, Ancho, Altura, Peso), date, and various numerical data points representing measurements over time.

Tabla 69: Medidas diarias de largo, ancho, altura y peso de la cal informal I

Fecha de conformación de cubos		Nombre de la cal : Informal I														
Fecha de desmoldado		12-Oct														
Proporción c / a (%)	N° de cubo	Medidas finales	16-Oct													
			Fechas de monitoreo													
		16/10/2017	17/10/2017	18/10/2017	19/10/2017	20/10/2017	23/10/2017	24/10/2017	25/10/2017	26/10/2017	27/10/2017	30/10/2017	31/10/2017	1/11/2017	2/11/2017	
100 - 0	1 (1A)	Largo (mm)	54.0	53.9	53.8	53.7	53.5	53.5	53.4	53.2	53.1	52.4	52.4	52.3	52.2	
		Ancho (mm)	52.8	52.7	52.5	52.4	52.2	52.2	52.1	52.0	51.9	51.8	51.7	51.7	51.5	
		Altura (mm)	51.0	50.9	50.8	50.8	50.7	50.7	50.7	50.6	50.9	51.0	50.8	50.8	50.6	
		Peso (gr)	140.3	135.1	131.9	128.5	127.1	126.4	126.1	125.7	125.0	123.8	123.6	123.5	123.1	
	2 (2A)	Largo (mm)	55.5	55.3	55.2	55.0	54.8	54.8	54.6	54.6	54.6	54.3	54.2	54.3	54.2	
		Ancho (mm)	51.9	51.7	51.7	51.6	51.6	51.5	51.4	51.3	51.6	51.3	51.2	51.2	51.1	
		Altura (mm)	51.1	51.1	52.0	51.9	51.9	51.9	51.8	50.8	50.9	50.8	50.6	50.8	50.5	
		Peso (gr)	147.0	143.7	141.4	138.0	133.2	128.9	128.0	127.7	127.7	127.4	127.4	127.5	127.6	
	3 (3A)	Largo (mm)	55.0	54.9	54.8	54.8	51.7	51.7	51.7	51.7	54.6	54.6	54.5	54.4	54.4	
		Ancho (mm)	52.8	52.7	52.6	52.6	52.5	52.3	52.2	52.1	52.2	51.7	51.7	51.7	51.7	
		Altura (mm)	51.4	51.3	51.1	51.0	50.9	50.8	50.8	50.8	51.1	51.3	50.6	50.4	50.3	
		Peso (gr)	151.8	147.3	144.4	140.5	136.4	132.7	130.0	132.7	132.4	132.4	132.2	132.1	132.1	
90 - 10	1 (3B)	Largo (mm)	53.0	52.9	52.9	52.7	52.7	52.7	52.6	52.5	52.3	51.9	51.9	51.9	51.8	
		Ancho (mm)	52.1	52.1	52.0	51.9	51.9	51.9	51.9	51.8	51.8	51.1	51.1	51.1	51.0	
		Altura (mm)	52.1	51.9	51.9	51.8	51.8	51.8	51.7	51.7	51.9	51.4	51.5	51.6	51.3	
		Peso (gr)	148.2	144.9	142.6	140.2	136.2	131.2	130.3	129.5	129.5	129.2	129.1	129.1	129.1	
	2 (4B)	Largo (mm)	52.9	52.9	52.9	52.8	52.8	52.7	52.7	52.7	52.5	52.4	52.4	52.1	52.1	
		Ancho (mm)	51.8	51.7	51.7	51.6	51.6	51.5	51.5	51.5	51.5	51.3	51.2	51.4	51.1	
		Altura (mm)	52.7	52.7	52.5	52.5	52.4	52.2	52.2	52.0	51.2	51.9	51.8	51.3	51.2	
		Peso (gr)	152.9	149.9	148.6	146.7	143.2	138.1	136.5	133.7	132.9	131.7	130.7	130.5	130.2	
	3 (5B)	Largo (mm)	53.0	52.9	52.9	52.8	52.8	52.7	52.7	52.6	52.5	52.3	52.1	52.1	52.1	
		Ancho (mm)	52.6	52.6	52.5	52.4	52.4	52.4	52.2	52.2	52.2	52.1	52.1	52.1	52.1	
		Altura (mm)	52.0	51.9	51.9	51.8	51.8	51.8	51.8	51.8	51.5	51.6	51.4	51.4	51.3	
		Peso (gr)	156.6	153.6	151.9	149.3	145.6	140.2	138.6	137.3	136.7	136.1	135.7	135.5	135.3	
80 - 20	1 (4C)	Largo (mm)	54.0	54.0	53.9	53.9	53.8	53.8	53.8	53.5	53.4	53.1	53.0	52.9	53.0	
		Ancho (mm)	52.9	52.8	52.8	52.7	52.7	52.6	52.6	52.5	52.2	52.2	52.1	52.2	52.1	
		Altura (mm)	51.8	51.8	51.7	51.7	51.6	51.5	51.5	51.6	51.5	51.5	51.4	50.7	51.1	
		Peso (gr)	166.4	164.0	162.1	159.9	156.0	148.7	147.4	145.0	144.5	143.7	142.2	141.9	141.6	
	2 (5C)	Largo (mm)	55.0	54.9	54.9	54.9	54.9	54.9	54.9	54.9	54.3	54.3	54.0	53.8	53.8	
		Ancho (mm)	51.8	51.7	51.5	51.4	51.4	51.2	51.2	51.2	51.1	51.2	51.2	51.2	51.1	
		Altura (mm)	51.9	51.9	51.9	51.8	51.8	51.8	51.8	51.8	51.5	51.9	51.7	51.7	51.4	
		Peso (gr)	171.2	169.5	168.4	166.5	163.1	158.2	156.2	152.2	150.8	148.4	145.4	144.4	144.1	
	3 (6C)	Largo (mm)	55.7	55.6	55.5	55.5	55.3	55.2	55.1	54.9	54.9	54.4	54.3	54.7	54.6	
		Ancho (mm)	52.8	52.8	52.8	52.8	52.7	52.7	52.6	52.6	52.4	51.9	52.0	51.9	51.8	
		Altura (mm)	52.2	52.1	52.1	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0	51.4	51.6	50.9	50.9	50.7	
		Peso (gr)	177.5	174.7	173.0	170.4	166.9	160.3	157.9	154.7	153.6	151.8	150.1	149.9	149.8	
70 - 30	1 (5D)	Largo (mm)	52.8	52.7	52.7	52.6	52.6	52.6	52.5	52.5	52.5	52.4	52.4	52.3	52.2	
		Ancho (mm)	53.9	53.8	53.6	53.6	53.4	53.4	53.1	53.0	53.0	52.7	52.7	52.5	52.5	
		Altura (mm)	52.0	51.9	51.9	51.8	51.8	51.7	51.7	51.7	52.4	52.3	51.0	51.1	51.0	
		Peso (gr)	189.4	187.4	185.5	183.3	179.7	170.9	168.8	164.9	163.9	162.5	160.9	160.8	160.6	
	2 (6D)	Largo (mm)	52.8	52.7	52.7	52.6	52.6	52.5	52.5	52.4	52.5	52.4	52.5	52.4	52.3	
		Ancho (mm)	51.0	50.9	50.9	50.9	50.8	50.8	50.8	50.7	50.4	50.5	50.4	50.2	50.1	
		Altura (mm)	50.9	50.9	50.9	50.8	50.8	50.8	50.8	50.7	50.8	50.4	50.4	50.2	50.2	
		Peso (gr)	187.2	185.8	184.7	182.8	180.0	175.0	172.6	167.8	165.8	162.8	157.8	157.6	157.1	
	3 (7D)	Largo (mm)	52.9	52.9	52.8	52.8	52.7	52.7	52.6	52.6	52.4	52.5	52.4	51.9	51.8	
		Ancho (mm)	51.6	51.5	51.5	51.4	51.4	51.3	51.3	51.3	51.4	51.7	51.7	51.6	51.5	
		Altura (mm)	52.5	52.4	52.4	52.3	52.3	52.3	52.2	51.3	51.0	50.8	51.3	51.8	51.0	
		Peso (gr)	185.9	183.5	181.9	179.5	175.8	169.8	166.8	162.7	161.2	159.4	158.0	157.9	157.5	
60 - 40	1 (6E)	Largo (mm)	53.8	53.7	53.6	53.6	53.6	53.5	53.4	53.5	53.4	53.0	53.0	52.9	52.7	
		Ancho (mm)	51.3	51.2	51.2	51.1	51.0	51.0	51.0	51.0	50.9	50.7	50.7	50.6	50.5	
		Altura (mm)	51.1	51.0	51.0	50.9	50.9	50.9	50.9	50.9	51.1	50.9	50.1	50.0	50.0	
		Peso (gr)	198.8	197.3	195.3	192.4	188.8	179.1	176.6	172.1	171.1	169.8	168.6	168.6	168.5	
	2 (7E)	Largo (mm)	53.5	53.5	53.5	53.4	53.4	53.3	53.3	53.4	53.4	53.0	52.9	52.9	52.6	
		Ancho (mm)	52.8	52.7	52.6	52.5	52.5	52.4	52.4	52.3	52.3	52.3	52.4	52.2	52.1	
		Altura (mm)	52.8	52.7	52.6	52.5	52.5	52.4	52.4	52.2	52.2	52.2	52.2	52.1	52.1	
		Peso (gr)	203.7	202.5	201.1	198.5	195.0	188.9	186.0	182.0	178.2	175.3	171.9	171.8	171.5	
	3 (8E)	Largo (mm)	53.1	53.1	53.0	53.0	53.0	53.0	52.9	52.9	52.9	52.7	52.5	52.5	52.4	
		Ancho (mm)	52.0	51.8	51.8	51.7	51.7	51.7	51.7	51.6	51.7	51.7	51.9	51.7	51.6	
		Altura (mm)	51.8	51.8	51.6	51.6	51.4	51.4	51.4	51.4	51.3	51.5	51.5	51.4	51.3	
		Peso (gr)	201.2	199.1	197.2	193.8	189.2	181.7	177.9	173.3	173.1	170.5	169.5	169.5	169.3	









Tabla 73: Contracción de la cal Martell e Hades

Cal	Dosificación (%)	N° de cubos	Medidas (mm)						Volumen (mm <sup>3</sup> )		Contracción (%)	Contracción promedio (%)
			Iniciales			Finales			Inicial	Final		
			largo	ancho	altura	largo	ancho	altura				
Martell	100 – 0	1(1a)	51.5	50.2	51.1	51.1	51.1	50.6	132160.6	132256.0	0.1	-1.2
		2(2a)	52.2	50.3	51.0	51.4	50.9	50.8	133885.9	132905.0	-0.7	
		3(3a)	52.4	51.8	51.0	51.5	51.1	51.1	138483.2	134582.6	-2.8	
	90 – 10	1(3b)	52.2	50.1	51.2	52.6	50.9	49.8	133922.5	133254.5	-0.5	-1.0
		2(4b)	52.4	51.5	51.1	53.1	50.4	50.2	137605.4	134217.6	-2.5	
		3(5b)	52.4	51.3	51.4	53.9	50.5	50.7	138198.4	137948.6	-0.2	
	80 – 20	1(4c)	50.6	50.3	50.1	49.8	50.5	49.9	127614.8	125344.1	-1.8	-2.7
		2(5c)	50.7	50.6	50.4	49.9	50.6	50.1	129450.3	126424.9	-2.3	
		3(6c)	51.0	51.3	50.5	49.9	51.4	49.6	132305.2	127040.0	-4.0	
	70 – 30	1(5d)	51.8	50.1	50.1	52.6	50.4	49.3	129992.5	130640.5	0.5	1.6
		2(6d)	51.5	50.0	50.1	52.8	50.2	48.9	128906.7	129765.0	0.7	
		3(7d)	51.2	50.9	50.2	53.5	50.8	49.9	130876.1	135518.7	3.5	
	60 – 40	1(6e)	51.5	50.5	50.8	52.3	50.8	49.5	131989.1	131615.6	-0.3	-2.1
		2(7e)	51.4	51.7	50.8	52.4	49.8	49.4	134731.5	129038.5	-4.2	
		3(8e)	51.3	51.1	50.8	52.6	50.2	49.6	133142.7	130942.5	-1.7	
Hades	100 – 0	1(1a)	51.5	50.2	51.1	51.5	49.9	50.2	132160.6	129262.3	-2.2	-2.4
		2(2a)	52.2	50.3	51.0	52.0	49.9	50.5	133885.9	130878.2	-2.2	
		3(3a)	52.4	51.8	51.0	52.3	51.1	50.3	138483.2	134531.5	-2.9	
	90 – 10	1(3b)	52.2	50.1	51.2	52.8	51.5	50.6	133922.5	137649.6	2.8	-2.5
		2(4b)	52.4	51.5	51.1	50.9	51.4	50.9	137605.4	133062.7	-3.3	
		3(5b)	52.4	51.3	51.4	50.6	50.8	50.0	138198.4	128372.9	-7.1	
	80 – 20	1(4c)	50.6	50.3	50.1	51.9	51.9	49.0	127614.8	131940.5	3.4	-0.7
		2(5c)	50.7	50.6	50.4	52.0	50.9	49.2	129450.3	130148.6	0.5	
		3(6c)	51.0	51.3	50.5	51.2	49.4	49.1	132305.2	124461.3	-5.9	
	70 – 30	1(5d)	51.8	50.1	50.1	49.6	49.6	49.0	129992.5	120499.2	-7.3	-4.4
		2(6d)	51.5	50.0	50.1	49.8	51.2	49.2	128906.7	125546.8	-2.6	
		3(7d)	51.2	50.9	50.2	50.1	51.3	49.3	130876.1	126628.8	-3.2	
	60 – 40	1(6e)	51.5	50.5	50.8	50.3	50.5	47.6	131989.1	120929.4	-8.4	-9.4
		2(7e)	51.4	51.7	50.8	50.6	50.7	47.0	134731.5	120461.2	-10.6	
		3(8e)	51.3	51.1	50.8	50.3	50.1	48.0	133142.7	120986.4	-9.1	

Tabla 74: Contracción de la cal informal I e informal II

Cal	Dosificación (%)	N° de cubos	Medidas (mm)						Volumen (mm <sup>3</sup> )		Contracción (%)	Contracción promedio (%)
			Iniciales			Finales			Inicial	Final		
			largo	ancho	altura	largo	ancho	altura				
Informal I	100 – 0	1(1a)	51.5	50.2	51.1	52.1	51.3	50.2	132160.6	134219.8	1.6	2.3
		2(2a)	52.2	50.3	51.0	54.1	51.0	50.4	133885.9	138896.6	3.7	
		3(3a)	52.4	51.8	51.0	54.1	51.7	50.2	138483.2	140542.1	1.5	
	90 – 10	1(3b)	52.2	50.1	51.2	51.8	51.0	51.3	133922.5	135551.4	1.2	0.2
		2(4b)	52.4	51.5	51.1	52.1	51.1	51.1	137605.4	135859.3	-1.3	
		3(5b)	52.4	51.3	51.4	52.1	52.1	51.3	138198.4	138900.0	0.5	
	80 – 20	1(4c)	50.6	50.3	50.1	53.0	52.1	51.0	127614.8	140881.1	10.4	9.2
		2(5c)	50.7	50.6	50.4	53.8	51.1	51.4	129450.3	141230.4	9.1	
		3(6c)	51.0	51.3	50.5	54.4	51.8	50.7	132305.2	142949.6	8.0	
	70 – 30	1(5d)	51.8	50.1	50.1	52.2	52.5	51.0	129992.5	139740.7	7.5	4.8
		2(6d)	51.5	50.0	50.1	52.3	50.2	50.7	128906.7	132770.9	3.0	
		3(7d)	51.2	50.9	50.2	51.8	51.5	51.0	130876.1	135947.6	3.9	
	60 – 40	1(6e)	51.5	50.5	50.8	52.6	50.5	50.0	131989.1	133021.8	0.8	2.4
		2(7e)	51.4	51.7	50.8	52.5	52.1	50.6	134731.5	138400.8	2.7	
		3(8e)	51.3	51.1	50.8	52.3	51.5	51.2	133142.7	137930.4	3.6	
Informal II	100 – 0	1(1a)	51.5	50.2	51.1	52.0	51.2	50.5	132160.6	134713.8	1.9	2.7
		2(2a)	52.2	50.3	51.0	54.4	51.5	50.1	133885.9	140259.9	4.8	
		3(3a)	52.4	51.8	51.0	55.0	51.0	50.1	138483.2	140443.8	1.4	
	90 – 10	1(3b)	52.2	50.1	51.2	55.1	51.4	50.6	133922.5	143448.5	7.1	1.6
		2(4b)	52.4	51.5	51.1	54.0	51.1	49.5	137605.4	136722.0	-0.6	
		3(5b)	52.4	51.3	51.4	53.1	51.2	50.0	138198.4	135941.9	-1.6	
	80 – 20	1(4c)	50.6	50.3	50.1	52.1	51.0	51.4	127614.8	136442.6	6.9	5.8
		2(5c)	50.7	50.6	50.4	52.4	51.0	51.4	129450.3	137470.1	6.2	
		3(6c)	51.0	51.3	50.5	53.0	51.7	50.3	132305.2	138092.7	4.4	
	70 – 30	1(5d)	51.8	50.1	50.1	52.0	51.5	51.0	129992.5	136497.6	5.0	3.0
		2(6d)	51.5	50.0	50.1	51.1	50.3	50.5	128906.7	129545.6	0.5	
		3(7d)	51.2	50.9	50.2	51.9	51.1	51.2	130876.1	135576.1	3.6	
	60 – 40	1(6e)	51.5	50.5	50.8	56.3	51.6	50.3	131989.1	146152.9	10.7	10.7
		2(7e)	51.4	51.7	50.8	57.0	51.3	51.0	134731.5	149184.8	10.7	
		3(8e)	51.3	51.1	50.8	56.5	51.1	51.1	133142.7	147486.6	10.8	

Tabla 75: Contracción de la cal informal III e informal IV

Cal	Dosificación (%)	N° de cubos	Medidas (mm)						Volumen (mm <sup>3</sup> )		Contracción (%)	Contracción promedio (%)
			Iniciales			Finales			Inicial	Final		
			largo	ancho	altura	largo	ancho	altura				
Informal III	100 – 0	1(1a)	51.5	50.2	51.1	51.4	51.2	50.8	132160.6	133533.1	1.0	1.6
		2(2a)	52.2	50.3	51.0	51.8	52.6	50.9	133885.9	138659.0	3.6	
		3(3a)	52.4	51.8	51.0	52.4	51.9	51.0	138483.2	138857.4	0.3	
	90 – 10	1(3b)	52.2	50.1	51.2	52.8	52.1	51.7	133922.5	142247.2	6.2	1.3
		2(4b)	52.4	51.5	51.1	52.3	50.8	51.5	137605.4	136772.2	-0.6	
		3(5b)	52.4	51.3	51.4	51.6	51.4	51.1	138198.4	135635.1	-1.9	
	80 – 20	1(4c)	50.6	50.3	50.1	52.7	51.6	50.5	127614.8	137194.8	7.5	6.8
		2(5c)	50.7	50.6	50.4	53.3	52.4	49.7	129450.3	139025.9	7.4	
		3(6c)	51.0	51.3	50.5	53.9	52.2	49.6	132305.2	139718.8	5.6	
	70 – 30	1(5d)	51.8	50.1	50.1	52.2	53.2	50.3	129992.5	139607.3	7.4	1.8
		2(6d)	51.5	50.0	50.1	50.9	50.6	50.6	128906.7	130297.1	1.1	
		3(7d)	51.2	50.9	50.2	51.5	50.1	49.1	130876.1	126687.9	-3.2	
	60 – 40	1(6e)	51.5	50.5	50.8	54.5	50.8	49.2	131989.1	136208.8	3.2	3.3
		2(7e)	51.4	51.7	50.8	51.2	54.5	50.5	134731.5	140730.5	4.5	
		3(8e)	51.3	51.1	50.8	54.0	51.4	49.0	133142.7	136087.6	2.2	
Informal IV	100 – 0	1(1a)	51.5	50.2	51.1	51.4	51.3	50.3	132160.6	132553.0	0.3	1.2
		2(2a)	52.2	50.3	51.0	52.0	51.9	51.3	133885.9	138234.5	3.2	
		3(3a)	52.4	51.8	51.0	52.4	51.4	51.4	138483.2	138463.5	0.0	
	90 – 10	1(3b)	52.2	50.1	51.2	52.9	52.4	50.6	133922.5	140099.5	4.6	1.1
		2(4b)	52.4	51.5	51.1	52.7	51.7	50.8	137605.4	138432.9	0.6	
		3(5b)	52.4	51.3	51.4	52.3	51.5	50.4	138198.4	135753.3	-1.8	
	80 – 20	1(4c)	50.6	50.3	50.1	51.5	53.9	51.5	127614.8	142985.2	12.0	6.2
		2(5c)	50.7	50.6	50.4	51.7	51.2	51.4	129450.3	136005.1	5.1	
		3(6c)	51.0	51.3	50.5	51.4	51.1	51.0	132305.2	134162.7	1.4	
	70 – 30	1(5d)	51.8	50.1	50.1	51.3	52.1	50.6	129992.5	135082.5	3.9	2.9
		2(6d)	51.5	50.0	50.1	51.2	51.9	50.3	128906.7	133584.8	3.6	
		3(7d)	51.2	50.9	50.2	51.6	51.4	50.0	130876.1	132560.2	1.3	
	60 – 40	1(6e)	51.5	50.5	50.8	54.1	52.6	51.1	131989.1	145306.5	10.1	7.1
		2(7e)	51.4	51.7	50.8	54.0	51.3	50.7	134731.5	140448.8	4.2	
		3(8e)	51.3	51.1	50.8	53.7	51.9	51.1	133142.7	142365.1	6.9	

Tabla 76: Media, varianza y desviación de la contracción de las cales

Cal	Dosificación (%)	Contracción promedio (%)	Varianza (%)	Desviación estándar (%)
Martell	100 - 0	-1.2	2.2	1.5
	90 - 10	-1	1.5	1.2
	80 - 20	-2.7	1.3	1.1
	70 - 30	1.6	2.9	1.7
	60 - 40	-2.1	4	2
Hades	100 - 0	-2.4	0.1	0.4
	90 - 10	-2.5	24.9	5
	80 - 20	-0.7	22.8	4.8
	70 - 30	-4.4	6.5	2.5
	60 - 40	-9.4	1.3	1.1
Informal I	100 - 0	2.3	1.6	1.3
	90 - 10	0.2	1.6	1.3
	80 - 20	9.2	1.4	1.2
	70 - 30	4.8	5.7	2.4
	60 - 40	2.4	2.1	1.4
Informal II	100 - 0	2.7	3.2	1.8
	90 - 10	1.6	22.9	4.8
	80 - 20	5.8	1.7	1.3
	70 - 30	3	5.3	2.3
	60 - 40	10.7	0	0
Informal III	100 - 0	1.6	3	1.7
	90 - 10	1.3	18.9	4.3
	80 - 20	6.8	1.1	1.1
	70 - 30	1.8	28.4	5.3
	60 - 40	3.3	1.3	1.1
Informal IV	100 - 0	1.2	3.2	1.8
	90 - 10	1.1	10.4	3.2
	80 - 20	6.2	29.2	5.4
	70 - 30	2.9	2.1	1.4
	60 - 40	7.1	8.6	2.9

Ensayo de tiempo de fraguado

*Tabla 77: Tiempo de fraguado cal Martell y Hades*

Tiempos ( horas )	Tiempo ( min )	Cal Martell		Cal Hades	
		Temperatura ( °C )	Penetración ( mm )	Temperatura ( °C )	Penetración ( mm )
0	0	24.3	0	23.1	0
0.3	3	23.1	0	22.8	0
0.5	5	22.9	0	22.6	0
0.8	8	22.8	0	22.6	0
0.12	12	22.8	0	22.6	0.1
0.16	16	22.8	0	22.5	0.1
0.22	22	22.7	0	22.5	0.2
0.3	30	22.8	0	22.6	0.2
0.4	40	22.6	0	22.8	0.3
0.5	50	22.5	0	22.9	0.2
1	60	22.8	0	22.9	0.5
1.3	90	22.6	0.1	22.7	0.8
2	120	22.8	0.2	22.9	19
2.3	150	22.8	0.6	22.5	22
3	180	22.7	18	22.6	29
3.3	210	22.7	25	22.5	27
4	240	22.8	27	22.4	34
4.3	270	22.8	31	22.2	36
5	300	22.6	31	22	37
5.3	330	22.6	32	21.9	37
6	360	22.2	39	21.8	39
6.3	390	22	39	21.7	39
7	420	21.8	40	21.6	39
7.3	450	21.8	40	21.6	39
8	480	-	-	21.6	39
8.3	510	-	-	21.5	40
9	540	-	-	21.5	40



*Tabla 78: Tiempo de fraguado cal Informal I e Informal II*

Tiempos ( horas )	Tiempo ( min )	Cal Informal I		Cal Informal II	
		Temperatura ( °C )	Penetración ( mm )	Temperatura ( °C )	Penetración ( mm )
0	0	20.4	23	19.4	18
0.3	3	20	27	19.6	16
0.5	5	19.9	23	19.6	24
0.8	8	19.6	31	19.5	27
0.12	12	19.5	31	19.5	27
0.16	16	19.5	31	19.5	25
0.22	22	19	31	19.5	25
0.3	30	18.9	24	19.5	25
0.4	40	18.9	27	19.4	24
0.5	50	18.7	28	19.4	24
1	60	18.6	28	19.1	33
1.3	90	19.2	26	19.3	31
2	120	19.1	33	19.4	28
2.3	150	19.3	30	19.7	28
3	180	19.2	34	20	29
3.3	210	19.7	36	20	30
4	240	19.9	32	20.4	32
4.3	270	20.1	34	20.4	32
5	300	20.4	34	20.5	29
5.3	330	20.3	38	20.8	31
6	360	20.4	35	20.7	33
6.3	390	20.5	35	20.7	36
7	420	20.6	35	20.7	36
7.3	450	20.6	37	20.7	30
8	480	20.4	35	20.8	31
8.3	510	20.7	36	20.9	35
9	540	20.5	37	20.9	35
10	600	20.8	38	20.2	35
11	660	20	38	19.6	36
12	720	19.8	39	19.7	37
13	780	19.6	40	19.5	39
14	840	19.6	40	19.5	39
15	900	-	-	19.4	37
18	1080	-	-	19	37
21	1260	-	-	18.9	38
24	1440	-	-	19	37
27	1620	-	-	19.8	39
30	1800	-	-	20.4	40
33	1980	-	-	20.4	40

Tabla 79: Tiempo de fraguado cal Informal III e Informal IV

Tiempos ( horas )	Tiempo ( min )	Cal Informal III		Cal Informal IV	
		Temperatura ( °C )	Penetración (mm )	Temperatura ( °C )	Penetración (mm )
0	0	19.2	0.8	19.8	0
0.3	3	19.3	0.9	19.5	0
0.5	5	19.2	0.7	19.6	0.5
0.8	8	19.2	0.7	19.3	0.7
0.12	12	19.2	0.9	19.4	0.5
0.16	16	19.4	10	19.2	0.7
0.22	22	19.3	12	19.2	10
0.3	30	19.1	22	19	0.8
0.4	40	18.8	18	18.9	14
0.5	50	19	22	18.9	14
1	60	19	20	18.9	14
1.3	90	19	22	19.2	13
2	120	19.6	23	19.1	14
2.3	150	19.5	23	19.3	15
3	180	19.6	24	19.5	16
3.3	210	19.9	33	20	15
4	240	19.9	30	19.9	15
4.3	270	19.6	34	19.8	17
5	300	19.8	35	19.8	16
8	480	19.8	36	19.8	17
11	660	19.6	38	19.9	18
14	840	19.4	39	-	-
16	960	-	-	19.4	20
17	1020	19.6	38	-	-
21	1260	-	-	19.4	24
22	1320	19.8	39	-	-
26	1560	-	-	19.8	25
27	1620	19.8	39	-	-
31	1860			20	26
32	1920	20	40	-	-
36	2160			20.4	28
37	2220	20	40	-	-
41	2460	-	-	19.7	28
46	2760	-	-	19.5	35
51	3060	-	-	19.5	37
56	3360	-	-	19.7	39
61	3660	-	-	19.9	40
66	3960	-	-	20	40



*Tabla 81: Media, varianza y desviación de la compresión de las cales*

Cal	Dosificaciones (%)	Promedio resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Varianza (%)	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )
Martell	100 - 0	19.4	7.0	2.6
	90 - 10	15.1	2.0	1.4
	80 - 20	8.5	7.9	2.8
	70 - 30	6.3	1.3	1.1
	60 - 40	4.8	0.1	0.3
Hades	100 - 0	22	1.7	1.3
	90 - 10	17.3	2.9	1.7
	80 - 20	11.4	4.5	2.1
	70 - 30	11.2	0.7	0.9
	60 - 40	6.7	1.7	1.3
Informal I	100 - 0	2.7	0.1	0.4
	90 - 10	2.8	0.0	0.2
	80 - 20	3.5	0.6	0.8
	70 - 30	4.4	0.3	0.6
	60 - 40	6.1	3.0	1.7
Informal II	100 - 0	3.6	0.2	0.5
	90 - 10	4.1	1.0	1.0
	80 - 20	4.1	0.8	0.9
	70 - 30	4.9	0.3	0.5
	60 - 40	5.8	0.6	0.8
Informal III	100 - 0	8.5	0.5	0.7
	90 - 10	8.5	0.2	0.4
	80 - 20	7.7	0.1	0.3
	70 - 30	5.9	1.4	1.2
	60 - 40	4.1	0.0	0.2
Informal IV	100 - 0	7.4	0.5	0.7
	90 - 10	4.6	0.2	0.4
	80 - 20	3.8	0.2	0.4
	70 - 30	1.7	0.1	0.2
	60 - 40	1.7	0.2	0.4

Análisis económico

**Cálculo para el volumen de mortero**

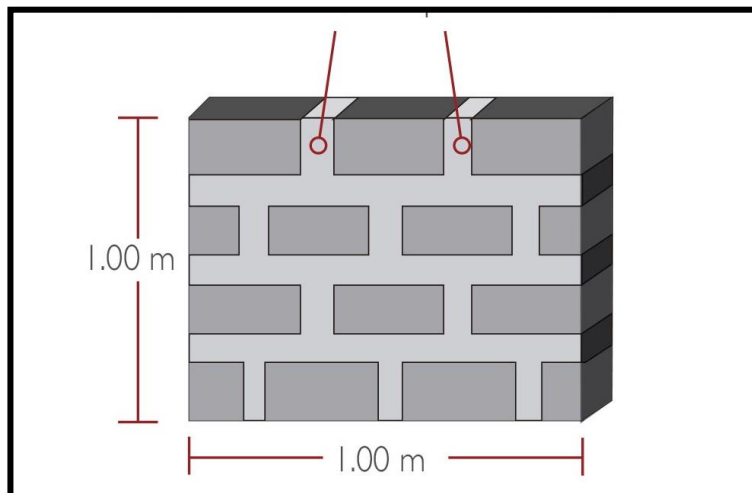


Figura 19: Muro para el cálculo del volumen de mortero por m<sup>2</sup>

Ladrillo de soga = alto x ancho x largo = 9 cm x 12.5 cm x 23 cm

Junta = 1.5 cm

$$\text{Cantidad de ladrillo} = \frac{1}{(L + Jh) \times (H + Jv)} = \frac{1}{(0.23 + 0.015) \times (0.09 + 0.015)}$$

$$= 38.873 \text{ und.}$$

Volumen que ocupa = 38.873 x 0.09 x 0.23 x 0.125 = 0.1006 m<sup>3</sup> de ladrillo

Vmortero = Vmuro – Vladrillo = (1 x 0.125) – 0.1006 = 0.0244 m<sup>3</sup>

**Cálculo de la cantidad de materiales para los morteros**

**Mortero de cal: arena**

Para un cubo de mortero cal: arena según sus dosificaciones necesitamos:

Tabla 82: Cantidad de material para un cubo de mortero

Dosificación	Cal (gr)	Arena (gr)	Agua (gr)
100-0	300	0	75
90-10	270	30	75
80-20	240	60	75
70-30	210	90	75
60-40	180	120	75

Desperdiciando aproximadamente un cuarto de la mezcla es decir en total de mezcla es 1.25. Cada bolsa de cal formal contiene 20 kg y la cal informal 8 kg. Para el cálculo cuanto de cal, arena y agua entraría por m<sup>2</sup> tenemos:

$$\text{volumen del cubo} = \text{largo} \times \text{ancho} \times \text{alto} = 0.05 \times 0.05 \times 0.05 = 1.25 \times 10^{-4}$$

Cal	Agua
300 g $1.5625 \times 10^{-4}$	75g $1.5625 \times 10^{-4}$
X        0.0244	X        0.0244
X= 46.85 kg	X= 11.73 kg= 0.012 m <sup>3</sup>
Cal formal = 2.34 bls	
Cal informal = 5.86 bls	

Cal	Arena	Agua
270g $1.5625 \times 10^{-4}$	30g $1.5625 \times 10^{-4}$	75g $1.5625 \times 10^{-4}$
X        0.0244	X        0.0244	X        0.0244
X= 42.23 kg	X = 4.69 kg=0.005 m <sup>3</sup>	X= 11.73 kg= 0.012 m <sup>3</sup>
Cal formal = 2.11 bls		
Cal informal = 5.27 bls		

Cal	Arena	Agua
240 g $1.5625 \times 10^{-4}$	60 g $1.5625 \times 10^{-4}$	75g $1.5625 \times 10^{-4}$
X        0.0244	X        0.0244	X        0.0244
X= 37.47 kg	X = 9.36 kg=0.009 m <sup>3</sup>	X= 11.73 kg= 0.012 m <sup>3</sup>
Cal formal = 1.87 bls		
Cal informal = 4.68 bls		

Cal	Arena	Agua
210g $1.5625 \times 10^{-4}$	90g $1.5625 \times 10^{-4}$	75g $1.5625 \times 10^{-4}$
X        0.0244	X        0.0244	X        0.0244
X= 32.79 kg	X = 14.05 kg=0.014 m <sup>3</sup>	X= 11.73 kg= 0.012 m <sup>3</sup>
Cal formal = 1.64 bls		
Cal informal = 4.10 bls		

Cal	Arena	Agua
180g $1.5625 \times 10^{-4}$	120g $1.5625 \times 10^{-4}$	75g $1.5625 \times 10^{-4}$
X        0.0244	X        0.0244	X        0.0244
X= 28.11 kg	X = 18.74 kg=0.018 m <sup>3</sup>	X= 11.73 kg= 0.012 m <sup>3</sup>
Cal formal = 1.41 bls		
Cal informal = 3.51 bls		

### Mortero de cemento: arena

Según CAPECO, por m<sup>3</sup> de mortero para una dosificación cemento: arena de 1:5 y una relación agua: cemento de 0.85 se requiere 7.4 bolsas de cemento, 1.05 m<sup>3</sup> de arena y 268 litros de agua.

Cemento	Arena	Agua
7.4bol    1 m <sup>3</sup>	1.05    1 m <sup>3</sup>	268    1 m <sup>3</sup>
X    0.13	X    0.13	X    0.13
X= 0.96 bol = 1 bls	X= 0.1365 x 1500= 204.75 kg	X= 34.84 x 10 <sup>-3</sup> = 0.03484 m <sup>3</sup>

#### Apéndice 4. Procedimiento estadístico de los datos

Se empleara el programa SPSS para probar la normalidad de los datos.

Para la elección de la prueba estadística de la validación de hipótesis, se toma en cuenta que el estudio es transversal porque se está evaluando a dos grupos en un mismo momento en donde dentro de estas variables independientes hay más de dos grupos.

La variable aleatoria es numérica estando dentro de pruebas paramétricas por lo tanto se realizara el ANOVA.

#### ANOVA

##### Grados de Libertad (G.L)

##### G.L de las variables independientes

##### Tipos de cal (A)

$$G.L = a - 1$$

$$G.L = 6 - 1$$

$$G.L = 5$$

##### Porcentaje de reemplazo (B)

$$G.L = b - 1$$

$$G.L = 5 - 1$$

$$G.L = 4$$

##### G.L de las variables conjugadas (A x B)

$$G.L = (a - 1) \times (b - 1)$$

$$G.L = (6 - 1) \times (5 - 1)$$

$$G.L = 20$$

##### G.L del error

$$G.L = a \times b \times (n - 1)$$

$$G.L = 6 \times 5 \times (3 - 1)$$

G.L = 60

### **Nivel de significancia**

En ingeniería se trabaja con un 95% de confianza ( $\alpha=0.05$ )

### **Criterio de rechazo**

Se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) si  $F_0 > F_{\alpha, v_1, v_2}$ , donde:

$F_0$  se obtiene experimentalmente.

$F_{\alpha, v_1, v_2}$  se obtiene de tablas (Tabla 33).

Asimismo,  $v_1 = a - 1$ ,  $v_2 = a(n - 1)$ , donde "a" es el número de niveles, y "n" el número de réplicas.



Tabla 83: Puntos porcentuales de la distribución  $F_{0.05, v1, v2}$

$V_2 \backslash V_1$	Grados de libertad del numerador ( $V_1$ )																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	inf.
2	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3
3	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
4	10.73	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
5	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
6	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
7	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
8	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
9	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
10	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
11	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
12	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.52	2.49	2.45	2.40
13	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
14	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
15	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
16	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
17	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
18	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
19	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
20	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
21	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
22	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
23	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
24	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
25	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
26	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
27	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
28	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
29	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
30	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
40	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
60	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
120	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
Inf.	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.55	1.43	1.35	1.25
Inf.	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.85	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

**Calculo del F teórico:**

Grados de Libertad de A = 5

Grados de Libertad de B = 4

Grados de Libertad de A x B = 20

Grados de Libertad del Error = 60

F <sub>TEORICO</sub>	Valor
A	2.53
B	2.37
AxB	1.75

➤ **Absorción**

**HIPOTESIS**

H1: Los tipos de cal y proporción en morteros influyen en la compresión para la conservación, Trujillo 2018.

H0: Los tipos de cal y proporción en morteros no influyen en la compresión para la conservación, Trujillo 2018.

**DATOS PREVIOS:**

Hipótesis Nula → H0

Hipótesis Alterna → H1

**SPSS- SHAPIRO WILK**

*Tabla 84: Normalidad para la absorción en cales*

Informal I = 0.811	>	α= 0.05
Informal II= 0.756	>	α= 0.05
Informal III= 0.962	>	α= 0.05
Informal IV= 0.762	>	α= 0.05
Hades= 0.264	>	α= 0.05
Martell= -	-	-
Conclusión :		
Las variables se comportan normalmente		

*Tabla 85: Normalidad para la absorción en proporciones*

100 - 10 = 0.062	>	α= 0.05
90 - 10 = 0.066	>	α= 0.05
80 - 20 = 0.057	>	α= 0.05
70 - 30 = 0.073	>	α= 0.05
60 - 40 = 0.056	>	α= 0.05
Conclusión :		
Las variables se comportan normalmente		

Calculo de la F experimental para los valores de absorción:

*Tabla 86: F experimental para la absorción*

Cal	Dosificaciones (%)	Absorción (%)			
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Cal Informal I	100 - 0	61.4	60.3	58.3	60.0
	90 - 10	56.8	58.0	53.9	56.2
	80 - 20	49.2	49.0	49.3	49.2
	70 - 30	41.1	41.6	41.1	41.3
	60 - 40	34.0	35.4	33.9	34.4
Cal Informal II	100 - 0	55.0	58.4	58.5	57.3
	90 - 10	54.5	50.9	52.3	52.6
	80 - 20	46.8	43.2	44.0	44.7
	70 - 30	37.0	34.2	37.0	36.1
	60 - 40	32.5	29.3	32.3	31.4
Cal Informal III	100 - 0	56.9	57.7	59.8	58.1
	90 - 10	49.1	51.3	51.9	50.8
	80 - 20	47.0	49.2	47.2	47.8
	70 - 30	39.0	42.0	39.5	40.2
	60 - 40	32.9	35.0	33.8	33.9
Cal Informal IV	100 - 0	56.3	54.4	57.3	56.0
	90 - 10	49.3	52.0	52.3	51.2
	80 - 20	46.0	47.9	48.6	47.5
	70 - 30	40.2	40.9	42.7	41.3
	60 - 40	34.8	35.8	37.4	36.0
Cal Hades	100 - 0	21.8	22.2	21.6	21.9
	90 - 10	22.4	22.1	21.4	22.0
	80 - 20	22.7	22.4	21.5	22.2
	70 - 30	0.0	0.0	0.0	0.0
	60 - 40	0.0	0.0	0.0	0.0
Cal Martell	100 - 0	0.0	0.0	0.0	0.0
	90 - 10	0.0	0.0	0.0	0.0
	80 - 20	0.0	0.0	0.0	0.0
	70 - 30	0.0	0.0	0.0	0.0
	60 - 40	0.0	0.0	0.0	0.0

## ANÁLISIS DE VARIANZA

Tabla 87: Estimación de  $Y_j$  y  $Y_i$  para la absorción

Cales	Dosificación (%)					$Y_j$
	100 - 0	90 - 10	80 - 20	70 - 30	60 - 40	
Informal I	180.0	168.7	147.5	123.8	103.3	723.3
Informal II	171.9	157.7	134.0	108.2	94.1	665.9
Informal III	174.4	152.3	143.4	120.5	101.7	692.3
Informal IV	168.0	153.6	142.5	123.8	108.0	695.9
Hades	65.6	65.9	66.6	0.0	0.0	198.1
Martell	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
$Y_i$	759.9	698.2	634.0	476.3	407.1	2975.5

### SUMA DE CUADRADOS

Suma de cuadrados para el factor A.

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_i^2}{bxn} - \frac{Y_T^2}{axbxn}$$

$$SS_A = \frac{(759.9^2 + 698.2^2 + 634.0^2 + 476.3^2 + 407.1^2)}{5 \times 3} - \frac{2975.5^2}{6 \times 5 \times 3}$$

$$SS_A = 123965.29 - 98373.34$$

$$SS_A = 25591.95$$

Suma de cuadrados para el factor B

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_j^2}{axn} - \frac{Y_T^2}{axbxn}$$

$$SS_B = \frac{(723.3^2 + 665.9^2 + 692.3^2 + 695.9^2 + 198.1^2)}{5 \times 3} - \frac{78.4^2}{5 \times 4 \times 3}$$

$$SS_B = 109410.30 - 98373.34$$

$$SS_B = 11036.96$$

Suma de cuadrados subtotales

$$SS_{SUBTOTAL} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n \frac{Y_{ijk}^2}{n} - \frac{Y_T^2}{axbxn}$$

$$SS_{SUBTOTAL} = \frac{(180.0^2 + 168.7^2 + 147.5^2 + \dots + 65.9^2 + 66.6^2)}{3} - \frac{2975.5^2}{6 \times 5 \times 3}$$

$$SS_{SUBTOTAL} = 137594.32 - 98373.34$$

$$SS_{SUBTOTAL} = 39220.98$$

### Suma de cuadrados de la interacción de factores (AxB)

$$SS_{AxB} = SS_{SUBTOTAL} - SS_A - SS_B$$

$$SS_{AxB} = 39220.98 - 25591.95 - 11036.96$$

$$SS_{AxB} = 2592.06$$

### Suma de cuadrados totales

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \frac{Y_T^2}{axb \times n}$$

$$SS_T = (61.4^2 + 60.3^2 + 58.3^2 \dots + 22.4^2 + 21.5^2) - \frac{2975.5^2}{6 \times 5 \times 3}$$

$$SS_T = 137683.95 - 98373.34$$

$$SS_T = 39310.61$$

### Suma de cuadrados del error

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AxB}$$

$$SS_E = 39310.61 - 25591.95 - 11036.96 - 2592.06$$

$$SS_E = 89.63$$

### MEDIA DE CUADRADOS

#### Media de los cuadrados del factor A

$$MS_A = \frac{SS_A}{a - 1}$$

$$MS_A = \frac{25591.95}{5}$$

$$MS_A = 6397.99$$

#### Media de los cuadrados del factor B

$$MS_B = \frac{SS_B}{b - 1}$$

$$MS_B = \frac{11036.96}{4}$$

$$MS_B = 2207.39$$

#### Media de la interacción de factores AxB

$$MS_{AxB} = \frac{SS_{AxB}}{(a - 1) \times (b - 1)}$$

$$MS_{AxB} = \frac{2592.06}{(5 \times 4)}$$

$$MS_{AxB} = 129.60$$

### Media de los cuadrados del error

$$MS_E = \frac{SS_E}{(ab)x(n-1)}$$

$$MS_E = \frac{89.63}{(6x5x2)}$$

$$MS_E = 5.98$$

### F<sub>0</sub> EXPERIMENTAL

#### Cálculo del F<sub>0</sub> (A)

$$F_0(A) = \frac{MS_A}{MS_E}$$

$$F_0(A) = \frac{6397.99}{5.98}$$

$$F_0(A) = 1010.69$$

#### Cálculo del F<sub>0</sub> (B)

$$F_0(B) = \frac{MS_B}{MS_E}$$

$$F_0(B) = \frac{2207.39}{5.98}$$

$$F_0(B) = 369.40$$

#### Cálculo del F<sub>0</sub> (AxB)

$$F_0(AxB) = \frac{MS_{Axb}}{MS_E}$$

$$F_0(AxB) = \frac{129.60}{5.98}$$

$$F_0(AxB) = 21.69$$

Tabla 88: Resumen del análisis ANAVA para los resultados de absorción.

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Media de Cuadrados	F (Exp.)	F Teórico
A	4	25591.95	6397.99	1070.69	2.53
B	5	11036.96	2207.39	369.40	2.37
A X B	20	2592.06	129.60	21.69	1.75
Error	60	89.63	5.98		

Como el F<sub>EXPERIMENTAL</sub> > F<sub>TEORICO</sub>

Se acepta: H1: Los tipos de cal y proporción en morteros influyen en la absorción para la conservación, Trujillo 2018.

Y se rechaza H0: Los tipos de cal y proporción en morteros no influyen en la absorción para la conservación, Trujillo 2018.

➤ **Densidad**

**HIPOTESIS**

H1: Los tipos de cal y proporción en morteros influyen en la densidad para la conservación, Trujillo 2018.

H0: Los tipos de cal y proporción en morteros no influyen en la densidad para la conservación, Trujillo 2018.

**DATOS PREVIOS:**

Hipótesis Nula → H0

Hipótesis Alterna → H1

**SPSS- SHAPIRO WILK**

*Tabla 89: Normalidad para la densidad en cales*

Informal I = 0.673	>	$\alpha = 0.05$
Informal II = 0.944	>	$\alpha = 0.05$
Informal III = 0.953	>	$\alpha = 0.05$
Informal IV = 0.519	>	$\alpha = 0.05$
Hades = 0.063	>	$\alpha = 0.05$
Martell = -	-	-
Conclusión :		
Las variables se comportan normalmente		

*Tabla 90: Normalidad para la densidad en proporciones*

100 - 10 = 0.082	>	$\alpha = 0.05$
90 - 10 = 0.086	>	$\alpha = 0.05$
80 - 20 = 0.061	>	$\alpha = 0.05$
70 - 30 = 0.063	>	$\alpha = 0.05$
60 - 40 = 0.076	>	$\alpha = 0.05$
Conclusión :		
Las variables se comportan normalmente		

Calculo de la F experimental para los valores de densidad:

*Tabla 91: F experimental para la densidad*

Cal	Dosificaciones (%)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )			
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Cal Informal I	100 - 0	916.2	915.3	916.6	916.0
	90 - 10	987.1	988.3	987.1	987.5
	80 - 20	999.3	998.1	999.3	998.9
	70 - 30	1109.3	1108.3	1109.3	1109.0
	60 - 40	1225.5	1223.7	1225.1	1224.7
Cal Informal II	100 - 0	907.3	906.3	907.5	907.1
	90 - 10	958.0	961.8	963.5	961.1
	80 - 20	1044.5	1042.3	1044.4	1043.7
	70 - 30	1080.3	1079.1	1080.1	1079.8
	60 - 40	1160.3	1158.7	1160.5	1159.8
Cal Informal III	100 - 0	881.1	880.5	881.4	881.0
	90 - 10	929.5	928.3	929.5	929.1
	80 - 20	988.6	986.5	990.0	988.3
	70 - 30	1035.2	1034.2	1035.4	1035.0
	60 - 40	1088.6	1086.5	1088.3	1087.8
Cal Informal IV	100 - 0	930.1	929.3	930.6	930.0
	90 - 10	945.2	944.3	945.4	945.0
	80 - 20	1029.3	1027.4	1029.1	1028.6
	70 - 30	1100.3	1099.3	1100.2	1099.9
	60 - 40	1143.4	1142.3	1143.6	1143.1
Cal Hades	100 - 0	1448.1	1447.3	1448.3	1447.9
	90 - 10	1516.2	1514.3	1516.1	1515.6
	80 - 20	1540.5	1539.3	1540.4	1540.1
	70 - 30	0.0	0.0	0.0	0.0
	60 - 40	0.0	0.0	0.0	0.0
Cal Martell	100 - 0	0.0	0.0	0.0	0.0
	90 - 10	0.0	0.0	0.0	0.0
	80 - 20	0.0	0.0	0.0	0.0
	70 - 30	0.0	0.0	0.0	0.0
	60 - 40	0.0	0.0	0.0	0.0



## ANÁLISIS DE VARIANZA

Tabla 92: Estimación de  $Y_j$  y  $Y_i$  para los datos de densidad

Cales	Dosificación (%)					$Y_j$
	100 - 0	90 - 10	80 - 20	70 - 30	60 - 40	
Informal I	2748.1	2962.5	2996.7	3326.9	3674.2	15708.4
Informal II	2721.2	2883.2	3131.2	3239.5	3479.4	15454.4
Informal III	2643.0	2787.3	2965.0	3104.9	3263.3	14763.4
Informal IV	2790.0	2835.0	3085.8	3299.8	3429.3	15440.0
Hades	4343.8	4546.7	4620.2	0.0	0.0	13510.7
Martell	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
$Y_i$	15246.1	16014.6	16798.9	12971.1	13846.3	74876.9

### SUMA DE CUADRADOS

Suma de cuadrados para el factor A.

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_i^2}{bxn} - \frac{Y_T^2}{axbxn}$$

$$SS_A = 75405311.22 - 62294951.79$$

$$SS_A = 13110359.43$$

Suma de cuadrados para el factor B

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_j^2}{axn} - \frac{Y_T^2}{axbxn}$$

$$SS_B = 62471225.68 - 62294951.79$$

$$SS_B = 176273.89$$

Suma de cuadrados subtotales

$$SS_{SUBTOTAL} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n \frac{Y_{ijk}^2}{n} - \frac{Y_T^2}{axbxn}$$

$$SS_{SUBTOTAL} = 83571139.62 - 62294951.79$$

$$SS_{SUBTOTAL} = 21276187.83$$

Suma de cuadrados de la interacción de factores (AxB)

$$SS_{AxB} = SS_{SUBTOTAL} - SS_A - SS_B$$

$$SS_{AxB} = 21276187.83 - 13110359.43 - 176273.89$$

$$SS_{AxB} = 7989554.50$$

### Suma de cuadrados totales

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \frac{Y_T^2}{abxn}$$

$$SS_T = 83571186.91 - 62294951.79$$

$$SS_T = 21276235.12$$

### Suma de cuadrados del error

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AxB}$$

$$SS_E = 21276235.12 - 13110359.43 - 176273.89 - 7989554.50$$

$$SS_E = 47.29$$

### MEDIA DE CUADRADOS

#### Media de los cuadrados del factor A

$$MS_A = \frac{SS_A}{a - 1}$$

$$MS_A = \frac{13110359.43}{5}$$

$$MS_A = 3277589.86$$

#### Media de los cuadrados del factor B

$$MS_B = \frac{SS_B}{b - 1}$$

$$MS_B = \frac{176273.89}{4}$$

$$MS_B = 35254.78$$

#### Media de la interacción de factores AxB

$$MS_{AxB} = \frac{SS_{AxB}}{(a - 1)(b - 1)}$$

$$MS_{AxB} = \frac{7989554.50}{(5 \times 4)}$$

$$MS_{AxB} = 399477.73$$

#### Media de los cuadrados del error

$$MS_E = \frac{SS_E}{(ab)(n - 1)}$$

$$MS_E = \frac{47.29}{(6 \times 5 \times 2)}$$

$$MS_E = 3.15$$

### F<sub>0</sub> EXPERIMENTAL

#### Cálculo del F<sub>0</sub> (A)

$$F_0(A) = \frac{MS_A}{MS_E}$$

$$F_0(A) = \frac{3277589.86}{3.15}$$

$$F_0(A) = 1039617.28$$

#### Cálculo del F<sub>0</sub> (B)

$$F_0(B) = \frac{MS_B}{MS_E}$$

$$F_0(B) = \frac{35254.78}{3.15}$$

$$F_0(B) = 11182.45$$

#### Cálculo del F<sub>0</sub> (AxB)

$$F_0(AxB) = \frac{MS_{Axb}}{MS_E}$$

$$F_0(AxB) = \frac{399477.73}{3.15}$$

$$F_0(AxB) = 126710.16$$

Tabla 93: Resumen del análisis ANAVA para los resultados de densidad.

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Media de Cuadrados	F (Exp.)	F Teórico
A	4	13110359.43	3277589.86	1039617.28	2.53
B	5	176273.89	35254.78	11182.45	2.37
A X B	20	7989554.50	399477.73	126710.16	1.75
ERROR	60	47.29	3.15		

Como el FEXPERIMENTAL > FTEORICO

Se acepta: H1: Los tipos de cal y proporción en morteros influyen en la densidad para la conservación, Trujillo 2018.

Y se rechaza H0: Los tipos de cal y proporción en morteros no influyen en la densidad para la conservación, Trujillo 2018

➤ **Compresión**

**HIPOTESIS**

H1: Los tipos de cal y proporción en morteros influyen en la compresión para la conservación, Trujillo 2018.

H0: Los tipos de cal y proporción en morteros no influyen en la compresión para la conservación, Trujillo 2018.

**DATOS PREVIOS:**

Hipótesis Nula → H0

Hipótesis Alterna → H1

**SPSS- SHAPIRO WILK**

*Tabla 94: Normalidad para la compresión en cales*

Informal I =0.338	>	$\alpha= 0.05$
Informal II=0.526	>	$\alpha= 0.05$
Informal III=0.245	>	$\alpha= 0.05$
Informal IV=0.404	>	$\alpha= 0.05$
Hades=0.750	>	$\alpha= 0.05$
Martell= 0.458	>	$\alpha= 0.05$
Conclusión :		
Las variables se comportan normalmente		

*Tabla 95: Normalidad para la compresión en proporciones*

100 - 10 = 0.192	>	$\alpha= 0.05$
90 - 10 = 0.213	>	$\alpha= 0.05$
80 - 20 = 0.251	>	$\alpha= 0.05$
70 - 30 = 0.541	>	$\alpha= 0.05$
60 - 40 = 0.451	>	$\alpha= 0.05$
Conclusión :		
Las variables se comportan normalmente		

Calculo de la F experimental para los valores de compresión:

*Tabla 96: F experimental para la compresión*

Cal	Dosificaciones (%)	Resultados			
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio( kg/cm <sup>2</sup> )
Cal Informal I	100 - 0	2.4	3.1	2.7	2.7
	90 - 10	2.7	2.7	3.0	2.8
	80 - 20	4.2	2.7	3.5	3.5
	70 - 30	5.0	3.9	4.2	4.4
	60 - 40	8.0	5.7	4.5	6.1
Cal Informal II	100 - 0	3.1	4.0	3.6	3.6
	90 - 10	3.1	4.2	5.1	4.1
	80 - 20	3.1	4.6	4.6	4.1
	70 - 30	4.6	5.5	4.6	4.9
	60 - 40	6.6	5.0	5.8	5.8
Cal Informal III	100 - 0	9.1	8.7	7.7	8.5
	90 - 10	8.7	8.0	8.7	8.5
	80 - 20	7.9	7.7	7.3	7.7
	70 - 30	7.2	5.4	5.0	5.9
	60 - 40	3.9	4.3	4.2	4.1
Cal Informal IV	100 - 0	8.1	7.2	6.8	7.4
	90 - 10	5.1	4.3	4.6	4.6
	80 - 20	4.3	3.8	3.4	3.8
	70 - 30	1.5	1.5	1.9	1.7
	60 - 40	1.9	2.0	1.2	1.7
Cal Hades	100 - 0	22.4	20.5	23.0	22.0
	90 - 10	18.8	17.8	15.4	17.3
	80 - 20	10.3	10.2	13.9	11.4
	70 - 30	10.2	11.9	11.5	11.2
	60 - 40	7.1	5.2	7.7	6.7
Cal Martell	100 - 0	17.3	18.6	22.4	19.4
	90 - 10	15.5	13.5	16.2	15.1
	80 - 20	6.0	8.0	11.5	8.5
	70 - 30	5.0	6.9	6.9	6.3
	60 - 40	4.7	4.7	5.1	4.8

## ANÁLISIS DE VARIANZA

Tabla 97: Estimación de  $Y_j$  y  $Y_i$  para los datos de compresión

Cales	Dosificación (%)					$Y_j$
	100 - 0	90 - 10	80 - 20	70 - 30	60 - 40	
Informal I	8.1	8.3	10.4	13.1	18.2	58.1
Informal II	10.7	12.3	12.3	14.6	17.4	67.3
Informal III	25.5	25.4	23.0	17.6	12.3	103.7
Informal IV	22.1	13.9	11.5	5.0	5.1	57.5
Hades	65.9	52.0	34.3	33.6	20.1	205.9
Martell	58.3	45.3	25.5	18.8	14.5	162.3
$Y_i$	190.6	157.2	116.9	102.6	87.5	654.8

### SUMA DE CUADRADOS

Suma de cuadrados para el factor A.

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_i^2}{bxn} - \frac{Y_T^2}{axbxn}$$

$$SS_A = 6192.80 - 4764.18$$

$$SS_A = 1428.62$$

Suma de cuadrados para el factor B

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_j^2}{axn} - \frac{Y_T^2}{axbxn}$$

$$SS_B = 5038.63 - 4764.18$$

$$SS_B = 274.46$$

Suma de cuadrados subtotales

$$SS_{SUBTOTAL} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n \frac{Y_{ijk}^2}{n} - \frac{Y_T^2}{axbxn}$$

$$SS_{SUBTOTAL} = 7080.34 - 4764.18$$

$$SS_{SUBTOTAL} = 2316.16$$

Suma de cuadrados de la interacción de factores (AxB)

$$SS_{AxB} = SS_{SUBTOTAL} - SS_A - SS_B$$

$$SS_{AxB} = 2316.16 - 1428.62 - 274.46$$

$$SS_{AxB} = 613.08$$

### Suma de cuadrados totales

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \frac{Y_T^2}{abxn}$$

$$SS_T = 7160.21 - 4764.18$$

$$SS_T = 2396.03$$

### Suma de cuadrados del error

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AxB}$$

$$SS_E = 2396.03 - 1428.62 - 274.46 - 613.08$$

$$SS_E = 79.87$$

### MEDIA DE CUADRADOS

#### Media de los cuadrados del factor A

$$MS_A = \frac{SS_A}{a - 1}$$

$$MS_A = \frac{1428.62}{5}$$

$$MS_A = 357.16$$

#### Media de los cuadrados del factor B

$$MS_B = \frac{SS_B}{b - 1}$$

$$MS_B = \frac{274.46}{4}$$

$$MS_B = 54.89$$

#### Media de la interacción de factores AxB

$$MS_{AxB} = \frac{SS_{AxB}}{(a - 1)(b - 1)}$$

$$MS_{AxB} = \frac{613.08}{(5 \times 4)}$$

$$MS_{AxB} = 30.65$$

#### Media de los cuadrados del error

$$MS_E = \frac{SS_E}{(ab)(n - 1)}$$

$$MS_E = \frac{79.87}{(6 \times 5 \times 2)}$$

$$MS_E = 5.32$$

### F<sub>0</sub> EXPERIMENTAL

#### Cálculo del F<sub>0</sub> (A)

$$F_0(A) = \frac{MS_A}{MS_E}$$

$$F_0(A) = \frac{357.16}{5.32}$$

$$F_0(A) = 67.08$$

#### Cálculo del F<sub>0</sub> (B)

$$F_0(B) = \frac{MS_B}{MS_E}$$

$$F_0(B) = \frac{54.89}{5.32}$$

$$F_0(B) = 10.31$$

#### Cálculo del F<sub>0</sub> (AxB)

$$F_0(AxB) = \frac{MS_{Axb}}{MS_E}$$

$$F_0(AxB) = \frac{30.65}{5.32}$$

$$F_0(AxB) = 5.76$$

Tabla 98: Resumen del análisis ANAVA para los resultados de densidad.

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F (Exp.)	F Teórico
A	4	1428.62	357.16	67.08	2.53
B	5	274.46	54.89	10.31	2.37
A X B	20	613.08	30.65	5.76	1.75
ERROR	60	79.87	5.32		

Como el FEXPERIMENTAL > FTEORICO

Se acepta: H1: Los tipos de cal y proporción en morteros influyen en la compresión para la conservación, Trujillo 2018.

Y se rechaza H0: Los tipos de cal y proporción en morteros no influyen en la compresión para la conservación, Trujillo 2018.



➤ **Contracción**

**HIPOTESIS**

H1: Los tipos de cal y proporción en morteros influyen en la contracción para la conservación, Trujillo 2018.

H0: Los tipos de cal y proporción en morteros no influyen en la contracción para la conservación, Trujillo 2018.

**DATOS PREVIOS:**

Hipótesis Nula → H0

Hipótesis Alterna → H1

**SPSS-SHAPIRO WILK**

*Tabla 99: Normalidad para la contracción en cales*

Informal I =0.506	>	$\alpha= 0.05$
Informal II=0.229	>	$\alpha= 0.05$
Informal III=0.073	>	$\alpha= 0.05$
Informal IV=0.220	>	$\alpha= 0.05$
Hades=0.745	>	$\alpha= 0.05$
Martell= 0.280	>	$\alpha= 0.05$
Conclusión :		
Las variables se comportan normalmente		

*Tabla 100: Normalidad para la contracción en proporciones*

100 - 10 = 0.062	>	$\alpha= 0.05$
90 - 10 = 0.066	>	$\alpha= 0.05$
80 - 20 = 0.057	>	$\alpha= 0.05$
70 - 30 = 0.073	>	$\alpha= 0.05$
60 - 40 = 0.056	>	$\alpha= 0.05$
Conclusión :		
Las variables se comportan normalmente		

Calculo de la F experimental para los valores de contracción:

*Tabla 101: F experimental para la contracción*

Cal	Dosificaciones (%)	Contracción (%)			
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Cal Informal I	100 - 0	1.6	3.7	1.5	2.3
	90 - 10	1.2	-1.3	0.5	0.2
	80 - 20	10.4	9.1	8.1	9.2
	70 - 30	7.5	3.0	3.9	4.8
	60 - 40	0.8	2.7	3.6	2.4
Cal Informal II	100 - 0	1.9	4.8	1.4	2.7
	90 - 10	7.1	-0.6	-1.6	1.6
	80 - 20	6.9	6.2	4.4	5.8
	70 - 30	5.0	0.5	3.6	3.0
	60 - 40	10.7	10.7	10.8	10.7
Cal Informal III	100 - 0	1.0	3.6	0.3	1.6
	90 - 10	6.2	-0.6	-1.9	1.3
	80 - 20	7.5	7.4	5.6	6.8
	70 - 30	7.4	1.1	-3.2	1.8
	60 - 40	3.2	4.5	2.2	3.3
Cal Informal IV	100 - 0	0.3	3.3	0.0	1.2
	90 - 10	4.6	0.6	-1.8	1.1
	80 - 20	12.0	5.1	1.4	6.2
	70 - 30	3.9	3.6	1.3	2.9
	60 - 40	10.1	4.2	6.9	7.1
Cal Martell	100 - 0	0.1	-0.7	-2.8	-1.2
	90 - 10	-0.5	-2.5	-0.2	-1.0
	80 - 20	-1.8	-2.3	-4.0	-2.7
	70 - 30	0.5	0.7	3.6	1.6
	60 - 40	-0.3	-4.2	-1.7	-2.1
Cal Hades	100 - 0	-2.2	-2.3	-2.9	-2.4
	90 - 10	2.8	-3.3	-7.1	-2.5
	80 - 20	3.4	0.5	-5.9	-0.7
	70 - 30	-7.3	-2.6	-3.3	-4.4
	60 - 40	-8.4	-10.6	-9.1	-9.4

## ANÁLISIS DE VARIANZA

Tabla 102: Estimación de  $Y_j$  y  $Y_i$  para los datos de contracción

Cales	Dosificación (%)					$Y_j$
	100 - 0	90 - 10	80 - 20	70 - 30	60 - 40	
Informal I	6.8	0.5	27.6	14.4	7.1	56.3
Informal II	8.1	4.8	17.5	9.1	32.2	71.8
Informal III	4.9	3.8	20.5	5.3	9.9	44.3
Informal IV	3.5	3.4	18.5	8.8	21.3	55.6
Hades	-3.5	-3.1	-8.1	4.7	-6.2	-16.2
Martell	-7.3	-7.6	-2.0	-13.2	-28.1	-58.2
$Y_i$	12.6	1.7	74.0	29.2	36.2	153.6

### SUMA DE CUADRADOS

Suma de cuadrados para el factor A.

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_i^2}{bxn} - \frac{Y_T^2}{axbxn}$$

$$SS_A = 1134.25 - 262.04$$

$$SS_A = 872.21$$

Suma de cuadrados para el factor B

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_j^2}{axn} - \frac{Y_T^2}{axbxn}$$

$$SS_B = 432.70 - 262.04$$

$$SS_B = 170.65$$

Suma de cuadrados subtotales

$$SS_{SUBTOTAL} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n \frac{Y_{ijk}^2}{n} - \frac{Y_T^2}{axbxn}$$

$$SS_{SUBTOTAL} = 1761.81 - 262.04$$

$$SS_{SUBTOTAL} = 1499.77$$

Suma de cuadrados de la interacción de factores (AxB)

$$SS_{AxB} = SS_{SUBTOTAL} - SS_A - SS_B$$

$$SS_{AxB} = 1499.77 - 872.21 - 170.65$$

$$SS_{AxB} = 456.91$$

### Suma de cuadrados totales

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \frac{Y_T^2}{abxn}$$

$$SS_T = 2200.62 - 262.04$$

$$SS_T = 1938.58$$

### Suma de cuadrados del error

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AxB}$$

$$SS_E = 1938.58 - 872.21 - 170.65 - 456.91$$

$$SS_E = 438.81$$

### MEDIA DE CUADRADOS

#### Media de los cuadrados del factor A

$$MS_A = \frac{SS_A}{a - 1}$$

$$MS_A = \frac{872.21}{5}$$

$$MS_A = 218.05$$

#### Media de los cuadrados del factor B

$$MS_B = \frac{SS_B}{b - 1}$$

$$MS_B = \frac{170.65}{4}$$

$$MS_B = 34.13$$

#### Media de la interacción de factores AxB

$$MS_{AxB} = \frac{SS_{AxB}}{(a - 1)(b - 1)}$$

$$MS_{AxB} = \frac{456.91}{(5 \times 4)}$$

$$MS_{AxB} = 22.85$$

#### Media de los cuadrados del error

$$MS_E = \frac{SS_E}{(ab)(n - 1)}$$

$$MS_E = \frac{438.81}{(6 \times 5 \times 2)}$$

$$MS_E = 29.25$$

### F<sub>0</sub> EXPERIMENTAL

#### Cálculo del F<sub>0</sub> (A)

$$F_0(A) = \frac{MS_A}{MS_E}$$

$$F_0(A) = \frac{218.05}{29.25}$$

$$F_0(A) = 7.45$$

#### Cálculo del F<sub>0</sub> (B)

$$F_0(B) = \frac{MS_B}{MS_E}$$

$$F_0(B) = \frac{34.13}{29.25}$$

$$F_0(B) = 2.47$$

#### Cálculo del F<sub>0</sub> (AxB)

$$F_0(AxB) = \frac{MS_{Axb}}{MS_E}$$

$$F_0(AxB) = \frac{22.85}{29.25}$$

$$F_0(AxB) = 1.78$$

Tabla 103: Resumen del análisis ANAVA para los resultados de contracción.

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Media de Cuadrados	F (Exp.)	F Teórico
A	4	872.21	218.05	7.45	2.53
B	5	170.65	34.13	2.47	2.37
A X B	20	456.91	22.85	1.78	1.75
ERROR	60	438.81	29.25		

Como el FEXPERIMENTAL > FTEORICO

Se acepta: H1: Los tipos de cal y proporción en morteros influyen en la contracción para la conservación, Trujillo 2018.

Y se rechaza H0: Los tipos de cal y proporción en morteros no influyen en la contracción para la conservación, Trujillo 2018.

## ANEXOS

ANEXO 1. Panel fotográfico.

### Materiales empleados en la investigación



Figura 20: Arena gruesa



Figura 21: Tipos de cales

### Caracterización de la arena gruesa y la cal



a)



b)

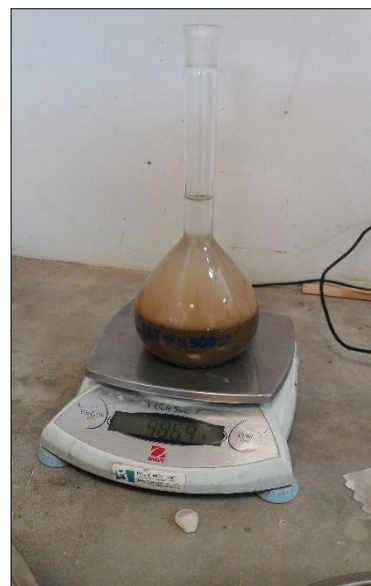
Figura 22: a). Tamices, b). Lavado de muestra



*Figura 23: Peso de la humedad de la cal*



a)



b)

*Figura 24: a) secado de muestra, b) pesado de muestra en fiola*



*Figura 25: Determinación del peso unitario suelto y compacto de la arena*

### Conformación de las probetas de mortero



*Figura 26: Conformación y desmolde de probetas*



*Figura 27: Almacenamiento de probetas*



**Ensayos físicos**



*Figura 28: Medida de contracción del mortero*



*Figura 29: Aguja de Vicat para el fraguado*



*Figura 30: Probetas sumergidas en agua para el ensayo de densidad y absorción*





a)



b)

Figura 31: a) Arquímedes, b) horno de secado

### Ensayos mecánicos



Figura 32: Ensayo de resistencia a la compresión

### Medición de la conductividad y el pH



Figura 33: Medición de la conductividad



Figura 34: Medición del pH

ANEXO 2. Ficha técnica de la cal Martell



---

**FICHA TÉCNICA “CAL DE OBRA”**

---

**DESCRIPCIÓN:**

Como elemento usado en la construcción se obtiene mediante la descomposición de las rocas calizas a altas temperaturas añadiéndole agua. Se utiliza principalmente para el pintado de paredes y fachadas en exteriores debido a su alta blancura.

Estabilización de arcillas, vías, terraplenes, patios, vías férreas, puertos. Suelos inestables y expansivos.

Cal hidráulica puzolánica que se utiliza para preparación de morteros mejora la trabajabilidad, aumenta la plasticidad de la masa Incrementa la inercia térmica mejora la hidratación de los cementos

**CARACTERÍSTICAS:**

Aspecto : Polvo.  
Color : Blanco  
Olor : Inodoro.

**PRECAUCIONES:**

Almacenar en lugares libre de humedad. Es tóxico por ingestión.  
Mantener fuera del alcance de los niños.

**PRESENTACIÓN:**

Saco x 17 kg

ANEXO 3. Ficha técnica de la cal Hades



**Cal de obra en bolsa 20 kilos**

Ares 16863

**DESCRIPCIÓN**

Para construir tu casa de ensueño, necesitarás de los mejores elementos. La cal de obra es un complemento de cemento, muy útil para trabajos de construcción u otros similares. Es un producto alcalino, sustraído mediante la descomposición de rocas calizas. Otra de sus cualidades, es la buena adherencia, lo que permite un fácil pintado en la superficie.

**FICHA TÉCNICA**

Marca Ares	Tipo Yesos
Usos Construcción	Resistencia Alta
¿Dónde usarlo? Ideal para construir, pintar, trazar, decorar, tratar suelos y mejorar mezclas asfálticas.	¿Cómo usarlo? Aplicar una o varias capas de cal en la construcción.
Recomendaciones de uso De haber contacto con la piel, lavar de inmediato con agua. Manténgase fuera del alcance de los niños.	

ANEXO 4. Certificado de ensayos realizados en la Universidad Nacional de Trujillo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO  
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA  
Laboratorio de Concreto y Reciclado

INFORME N°26/ABRIL18

**CERTIFICADO DE ENSAYOS EN LABORATORIO**

**Solicitante / DNI:** Geiby Natieli Varas Bermudez / 70509871

**Institución:** Universidad Privada del Norte / Sede Trujillo

**Investigación:** "Evaluación de los tipos de cal y proporción en morteros para la conservación sobre la compresión, contracción, densidad, absorción y tiempo de fraguado, Trujillo 2018"

I. **MUESTRA:**

**Especímenes:** Morteros de cal: arena con una cantidad de 350 cubos de 5 cm x 5 cm x 5 cm de largo, ancho, y alto respectivamente, realizados del 25 de setiembre al 07 de noviembre.

**Muestreo:** Realizado por tesista.

II. **ENSAYOS A APLICAR**

- NTP 334.007: Ensayo de tiempo de fraguado (ASTM C 191 )
- Ensayo de densidad y absorción ( ASTM C 373 )
- NTP 339.051: Ensayo de resistencia a compresión (ASTM C 109)
- NTG 41003 h 11: Ensayo de contracción en morteros ( UNE 80-112-89)

III. **PARÁMETROS DEL EQUIPO:** Se considera un error de  $\pm 0.5\%$

Marca	Modo	Unidades	Velocidad de carga	Capacidad máxima
Ele International	Mode I: compresión	SI	0.05 KN/seg	2000 KN

*Iván E. Vásquez Alfaro*  
ING. MATERIALES  
R. CIP 123509

**Jefe de Laboratorio de concreto y reciclado:**

Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro

Trujillo, 04 de abril del 2018

ANEXO 5. Certificado de ensayos realizados en la Universidad Privada del Norte



**CERTIFICADO**  
**DE ENSAYOS EN LABORATORIOS**

El que suscribe, Wesley John Leonardo Carrasco, hace constar por medio de la presente que la Srta. Geiby Natieli Varas Bermudez, identificada con D.N.I N° 70509871, ha realizado los ensayos de granulometría, contenido de humedad, peso unitario, peso específico, absorción, y resistencia al fuego de cubos de cal en las instalaciones del **Laboratorio de Concreto y Estructuras** de esta universidad, requeridos para la tesis ***“Evaluación de los Tipos de Cal y Proporción en morteros Para la Conservación sobre la Compresión, Contracción, Densidad, Absorción y Tiempo de Fraguado, Trujillo 2018”***; los resultados obtenidos se encuentran registrados en nuestro archivo.

Se expide esta certificación a solicitud del interesado, para los fines que estime conveniente.

Trujillo, 27 de febrero del 2018



Wesley J. Leonardo Carrasco  
Supervisor de Laboratorio

## ANEXO 6. Normativa para el procedimiento experimental

<b>NORMA TÉCNICA PERUANA</b>	<b>NTP 400.012</b>
Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145	
Lima, Perú	

**AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global**

AGGREGATES. Standard test method for sieve analysis of fine, coarse and global aggregates

R.0071-2001/INDECOPI-CRT. Publicada el 2001-06-17      Precio basado en 14 páginas  
I.C.S.: 91.100.30      **ESTA NORMA ES RECOMENDABLE**  
Descriptor: Agregado, agregado grueso, agregado fino, serie, gradación, análisis por tamizado, análisis granulométrico

<b>NORMA TÉCNICA PERUANA</b>	<b>NTP 339.185</b>
Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145	
Lima, Perú	

**AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado**

AGGREGATES. Standard test method for total evaporable moisture content of aggregate by drying

R.0048-2002/INDECOPI-CRT. Publicada el 2002-05-30      Precio basado en 08 páginas  
I.C.S.: 91.100.30      **ESTA NORMA ES RECOMENDABLE**  
Descriptor: Agregados, secado, contenido de humedad

PARA USO EXCLUSIVO DE CONSTRUCCIONES E COMERCIO CALAFRUTO DORREA S.A. SUCURSAL PERU



<b>NORMA TÉCNICA PERUANA</b>	<b>NTP 400.017</b>
<small>Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI Calle De La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145</small>	
<b>AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado</b>	
<small>AGGREGATE Standard Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregate</small>	
<small>R.0021-99/INDECOPI-CRT Publicada el 99-04-29 Precio basado en 10 páginas I.C.S.: 91.100.30 <b>ESTA NORMA ES RECOMENDABLE</b> Descriptor: Hormigón, Método de ensayo, Pruebas cilíndricas, curado de la probeta</small>	

<b>NORMA TÉCNICA PERUANA</b>	<b>NTP 400.022</b>
<small>Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145</small>	
<b>AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino</b>	
<small>AGGREGATES. Standard test method for specific gravity and absorption of fine aggregate</small>	
<small>R.0048-2002/INDECOPI-CRT Publicada el 2002-05-30 Precio basado en 05 páginas I.C.S.: 91.100.30 <b>ESTA NORMA ES RECOMENDABLE</b> Descriptor: Absorción, agregado, agregado fino, peso específico</small>	
<small>PARA USO EXCLUSIVO DE CONSTRUCTORES Y COMERCIO GANADERO Y RUSA S.A. SUCURSAL PERU</small>	

## ANEXO 7. Informe de análisis por difracción de rayos x



### INFORME DE RESULTADOS

Para:

**Srta. Geiby Natieli Varas Bermudez**

### ANÁLISIS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)

Los Resultados y Difractogramas presentados, corresponde a las muestras:

- CAL HADES
- CAL INFORMAL 4

#### Observaciones:

1. En el análisis mineralógico por DRX se realizó la determinación semicuantitativa de las fases cristalinas presentes en la muestra. El límite de detección de la técnica es aproximadamente 1%, sin embargo para muestras con alto contenido de hierro éste se incrementa a 3%. La cuantificación de fases amorfas se evalúa a partir del 20% de contenido en la muestra. La identificación y cuantificación de fases de silicatos de cobre es limitada debido a que éstas carecen de ordenamiento estructural (baja cristalinidad). El método de preparación aplicado a las muestras fue de polvo aleatorio

2. Las fases encontradas se presentan en las siguientes tablas:

#### Muestra CAL HADES

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Calcita	CaCO <sub>3</sub>	29
Plagioclasa (Oligoclasa)	(Ca,Na)(Al,Si) <sub>4</sub> O <sub>8</sub>	22
Feldespato - K (Ortoclasa)	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	12
Dolomita	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	9
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	8
Clorita (Clinocloro)	(Mg,Fe) <sub>5</sub> Al(Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>	4
Barita	BaSO <sub>4</sub>	4
Anfíbol (Actinolita)	Ca <sub>2</sub> (Mg,Fe) <sub>5</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>	3
Talco	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	2
Caolinita	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	2
Yeso	CaSO <sub>4</sub> · 2(H <sub>2</sub> O)	< L. D.
Mica (Muscovita)	KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH,F) <sub>2</sub>	< L. D.

( ) Mineral de la familia que se encuentra con mayor grado de certeza.



**Muestras CAL INFORMAL 4**

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Portlandita	$\text{Ca(OH)}_2$	66
Calcita	$\text{CaCO}_3$	27
Cuarzo	$\text{SiO}_2$	3
Rutilo	$\text{TiO}_2$	< L. D.
Ankerita	$\text{Ca(Fe,Mg)(CO}_3)_2$	< L. D.
Yeso	$\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$	< L. D.

( ) Mineral de la familia que se encuentra con mayor grado de certeza.

**Condiciones de operación y análisis:**

Equipo: Difractometro

Tubo Cu (40kV, 40mA): KAlfa1: 1.54060 Å

KAlfa2: 1.54439 Å

Filtro: Kbeta: Ni

Detector: LynxEye

Rango de medida desde  $2\theta = 5^\circ$  hasta  $2\theta = 70^\circ$

Identificación: Base de datos del Centro Internacional de Datos para Difracción (ICDD).

Cuantificación: Método Refinamiento Rietveld (TOPAS Structure Database y Fiz Karlsruhe ICSD).

Figura 1. Difractograma de la MUESTRA CAL HADES con los respectivos minerales identificados.

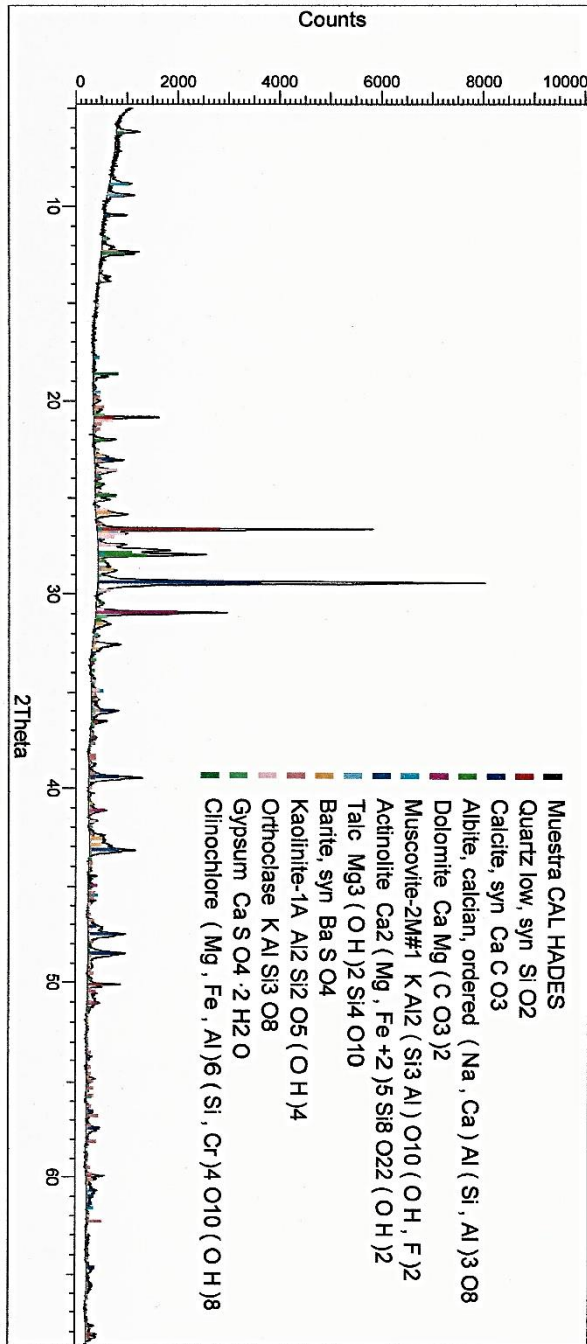
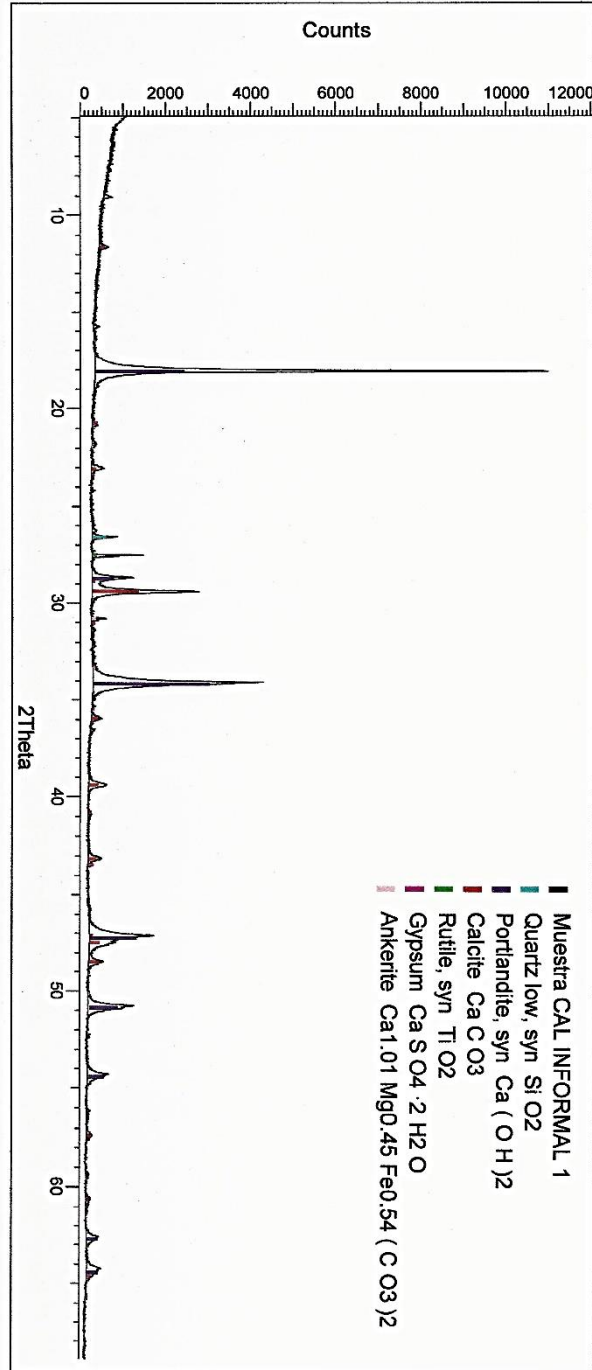


Figura 2. Difractograma de la MUESTRA CAL INFORMAL 4 con los respectivos minerales identificados.



## CAL HIDRÁULICA

### DEFINICIÓN

Las calés hidráulica HL, fabricadas por GORDILLO'S CAL DE MORÓN, son calés principalmente constituidas por Hidróxido de Calcio, silicatos de calcio y aluminatos de calcio producidos por la mezcla de constituyentes adecuados. Tiene la propiedad de fraguar y endurecer con el agua.

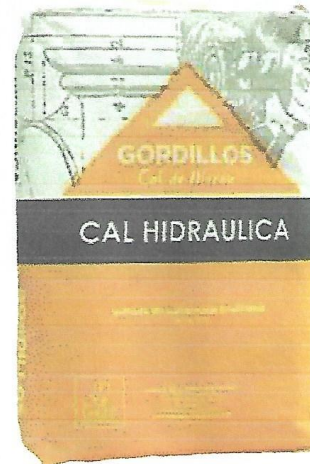
El dióxido de carbono presente en el aire contribuye igualmente al proceso de endurecimiento.

Al fraguado sigue la carbonatación de la "cal libre". Esta reacción es aérea (no hidráulica), precisa agua, humedad ambiental y gas carbónico del aire y es responsable para la resistencia progresiva de la cal hidráulica. Estos valores varían según su índice de hidráulicidad.

### PROPIEDADES ESPECIALES PARA MORTEROS ELABORADOS CON CAL HIDRÁULICA NATURAL, FAVORABLES PARA LA RESTAURACIÓN Y BIOCONSTRUCCIÓN:

Gran plasticidad y elevada trabajabilidad, fuerte adherencia en diversos materiales y superficies, gran poder de retención de agua, poca tendencia a fisuración, buena durabilidad, buena impermeabilidad frente al agua, permeabilidad al vapor de agua, transpirabilidad y buen aspecto. Los morteros son hasta un 34% más aislantes que aquellos de cemento.

Ausencia de aditivos e índice de radiación mucho más bajo que en el cemento.



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS (UNE-EN-459-1-02)	HL 5 (alta hidráulicidad)	HL 3,5 blanca (hidráulicidad mediana)
--	---------------------------	---------------------------------------

### CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Resistencia compresión 7 días	>=2	-----
Resistencia compresión 28 días	>=5 a <=15 MPa	>=3,5 a <=10 MPa
Resistencia flexión 7 días	<=0,9 MPa	
Resistencia flexión 28 días	<=1,3 MPa	
Inicio del fraguado minutos	>= 1 Hora <= 15	>= 1 Hora <= 15
Residuo	<15%	<15%

### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Rechazo a 90µ en %	<=15	<=15
Expansión	<0,3 mm	<0,1 mm
Densidad aparente	0,006 kg/dm <sup>3</sup>	0,005 kg/dm <sup>3</sup>
Peso específico	0,6 g/cm <sup>3</sup>	0,5 g/cm <sup>3</sup>
Agua libre	<=2	<=2

### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

SO3	<=3	<=3
Cal libre	<=2	<=2

### PRECAUCIONES EN SU APLICACIÓN:

- Buena dosificación en relación agua aglomerante.
- Evitar el secado rápido en tiempo caluroso (sombrear y humedecer en las primeras 72 horas).
- Humedecer paramentos a montar y enfoscar.

### CONTRAINDICACIONES:

- Trabajos en tiempo muy frío (<5 °C) o muy caluroso (>35 °C).
- Ambientes agresivos.

### ÁRIDOS:

Son preferibles las arenas silíceas y calizas de trituración artificial de rocas o de río. Estas últimas deben ser suficientemente angulosas, evitando aquellas que contengan arcilla. También deben evitarse las arenas de playa porque son finas de grano y con escasas aristas y pudieran contener sales alcalinas.



ANEXO 9. Ficha técnica de la cal viva Gordillos

CAL VIVA

**ANÁLISIS QUÍMICO DE CALES**  
UNE EN 459-2:11

laboratorio de: MADRID  
Ensayo n.º: 20372/Rc-1  
Hoja: 1 de 1  
Fecha: 09.02.2012

PETICIONARIO: CALES GORDILLO (MORÓN)  
CONTRATISTA: CALES GORDILLO  
OBRA: SUS OBRAS  
FECHA Y SITIO DE LA TOMA DE MUESTRA: 12.1.2012. Entregada en nuestro laboratorio el 30/01/12 Con Ref.: Cal Viva Piedra  
MUESTRA: ROCA  
RESULTADOS OBTENIDOS:

DETERMINACIONES	EXPRESIÓN DE RESULTADOS	RESULTADOS OBTENIDOS
ÓXIDO DE CALCIO (CaO)	%	100.00
* ÓXIDO DE MAGNESIO (MgO)	%	2.00
ÓXIDO DE MAGNESIO (MgO)	%	< 1
SULFATOS(SO <sub>4</sub> )	%	< 0.5
SiO <sub>2</sub>	%	< 0.5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	< 0.5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	< 0.5
MnO	%	< 0.5
BaO	%	< 0.5
Na <sub>2</sub> O	%	< 0.5
K <sub>2</sub> O	%	< 0.5
Agua	%	< 1
Cal útil	%	93.5

OBSERVACIONES:  
JEFE DE ÁREA Luis AMOR CABBÓN  
DIRECTOR DE LABORATORIO José A. HERGÜETA LÁZARO



**DEFINICIÓN**

Cal aérea grasa, obtenida del proceso de cocción de la piedra caliza en horno milenario de leña de calidad (CL90). La Cal Viva GORDILLO'S, en forma de roca, es el resultado de la cocción de piedra caliza de una pureza de hasta el 99% en carbonato cálcico, seleccionada en cantera, a temperatura constante entre 900 °C y 1.000 °C, durante unos 15 días de forma ininterumpida, en hornos de origen árabe, utilizando como combustible madera de olivo, pino, encina...

Todo este proceso se desarrolla de forma tradicional y artesanal respetando el medio ambiente.

A las propiedades inherentes a la cal, hemos de añadir las aportadas por nuestro sistema de cocción y elaboración, que dota a nuestro producto de gran untuosidad, maleabilidad y suavidad, rapidez de fraguado e hidráulica, sin restar por ello resistencia.



**PRODUCTO IRRITANTE DE LA PIEL, LOS OJOS Y LAS VÍAS RESPIRATORIAS, SE RECOMIENDA USAR MEDIDAS DE PROTECCIÓN TALES COMO GUANTES, GAFAS Y MASCARILLAS. MANTENER FUERA DEL ALCANCE DE LOS NIÑOS.** La temperatura ambiente y del soporte no debe ser inferior a 5 °C ni superiores a 35 °C, y el soporte ha de estar seco.

**ADVERTENCIA:** Las indicaciones y prescripciones dadas son fruto de la experiencia, ensayos internos y nuestro buen hacer. Luego antes de usar el producto, quien lo vaya a hacer, deberá determinar si es apropiado o no para el uso previsto y asumirá toda responsabilidad que pudiera derivar de su empleo. Estas recomendaciones no implican garantía alguna. Las garantías de producto se resumen sólo y exclusivamente a defectos de fabricación.

ANEXO 10. Certificado de calibración de equipos

<b>METROTEC</b>		<b>METROLOGÍA &amp; TÉCNICAS S.A.C.</b> <small>Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio</small>
<i>Área de Metrología</i> <i>Laboratorio de Masas</i>		<b>CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN</b> <b>MT - LM - 203 - 2017</b>
		Página 1 de 4
<b>1. Expediente</b>	<b>17086</b>	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
<b>2. Solicitante</b>	<b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b>	
<b>3. Dirección</b>	Av. Del Ejercito Nro. 920 Urb. El Molino - Trujillo - Trujillo - LA LIBERTAD.	
<b>4. Equipo de medición</b>	<b>BALANZA ELECTRÓNICA</b>	Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.  METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.  Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.  El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
Capacidad Máxima	4100 g	
División de escala (d)	0,01 g	
Div. de verificación (e)	0,1 g	
Clase de exactitud	II	
Marca	OHAUS	
Modelo	PAJ4102	
Número de Serie	8332050515	
Capacidad mínima	0,50 g	
Procedencia	U.S.A.	
Identificación	1-011843 (*)	
Ubicación	LABORATORIO DE CONCRETO PABELLON C. INGENIERIA CIVIL.	
<b>5. Fecha de Calibración</b>	<b>2017-04-26</b>	
Fecha de Emisión	Jefe del Laboratorio de Metrología	Sello
2017-04-28		
	 JUAN C. QUISPE MORALES	
<b>Metrología &amp; Técnicas S.A.C.</b> Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24, Urb. San Diego - LIMA - PERÚ Telf.: (511) 540-0642 Cel.: (511) 971 439 272 / 971 439 282 RPM: *849272 / #971439282 / #942635342		email: metrologia@metrologiatecnicas.com ventas@metrologiatecnicas.com WEB: www.metrologiatecnicas.com



**METROTEC**

**METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.**

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
MT - LM - 201 - 2017**

Área de Metrología  
Laboratorio de Masas

Página 1 de 4

<b>1. Expediente</b>	<b>17086</b>
<b>2. Solicitante</b>	<b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE S.A.C.</b>
<b>3. Dirección</b>	Av. Del Ejercito Nro. 920 Urb. El Molino - Trujillo - Trujillo - LA LIBERTAD
<b>4. Equipo de medición</b>	<b>BALANZA ELECTRÓNICA</b>
<b>Capacidad Máxima</b>	<b>15000 g</b>
<b>División de escala (d)</b>	<b>0,5 g</b>
<b>Div. de verificación (e)</b>	<b>5,0 g</b>
<b>Clase de exactitud</b>	<b>III</b>
<b>Marca</b>	<b>OHAUS</b>
<b>Modelo</b>	<b>R31P15</b>
<b>Número de Serie</b>	<b>8336420544</b>
<b>Capacidad mínima</b>	<b>10,0 g</b>
<b>Procedencia</b>	<b>U.S.A.</b>
<b>Identificación</b>	<b>1-020409 (*)</b>
<b>Ubicación</b>	<b>LABORATORIO DE CONCRETO PABELLON C. INGENIERIA CIVIL.</b>
<b>5. Fecha de Calibración</b>	<b>2017-04-25</b>

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.

METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

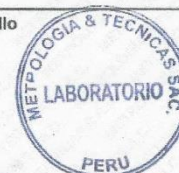
Fecha de Emisión

Jefe del Laboratorio de Metrología

Sello

2017-04-28

JUAN C. QUISPE MORALES



Metrología & Técnicas S.A.C.  
Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24, Urb. San Diego - LIMA - PERÚ  
Telf.: (511) 540-0642  
Cel.: (511) 971 439 272 / 971 439 282  
RPM: \*849272 / #971439282 / #942635342

email: metrologia@metrologiatecnicas.com  
ventas@metrologiatecnicas.com  
WEB: www.metrologiatecnicas.com

ANEXO 11. Fichas de observación

GUÍA DE OBSERVACIÓN DE MORTEROS DE CAL: ARENA, TRUJILLO 2018

Autor:

- Varas Bermudez, Geiby Natieli

**1. DATOS INFORMATIVOS:**

- 1.1. Nombre del investigador:  
Natieli Varas
- 1.2. Ubicación: Trujillo
- 1.3. Fecha de la Observación: N°9
- 1.4. Hora de la observación: 9:20  
am

**2. DATOS ESPECÍFICOS:**

**2.1. Dosificación del mortero:**

- a) 100-0
- b) 90-10
- c) 80-20
- d) 70-30
- ~~e) 60-40~~

**2.2. Tipo de cal:**

- ~~a) Martell~~
- b) Hades
- c) Informal I
- d) Informal II
- e) Informal III
- f) Informal IV

**2.3. Tipo de deterioro:**

- a) Grietas
- ~~b) Fisuras~~
- c) Desmoronamiento
- e) otros deterioros

**2.4. Relación agua/cal**

- a) 0.25
- ~~b) 0.20~~
- ~~c) 0.30~~

**2.5. Relación cal: arena**

- a) 1:0
- ~~b) 1:1~~

**2.6. Peso:**

- a) Ligero
- ~~b) Pesado~~

**2.7. Medidas:**

- ~~a) Se contrae~~
- b) Se expande

**2.8. ¿Cuánto afecta los deterioros al mortero?:**

- ~~a) Mucho~~
- b) Poco
- c) Nada

**2.9. Causas de los deterioros:**

- ~~a) Poca dosificación de cal~~
- b) Mucha dosificación de arena
- c) mala compactación
- d) Otros

GUÍA DE OBSERVACIÓN DE MORTEROS DE CAL: ARENA, TRUJILLO 2018

Autor:

- Varas Bermudez, Geiby Natieli

**1. DATOS INFORMATIVOS:**

- 1.1. Nombre del investigador:  
Natieli Varas
- 1.2. Ubicación: Trujillo
- 1.3. Fecha de la Observación: N° 1
- 1.4. Hora de la observación: 9:20  
am

**2. DATOS ESPECÍFICOS:**

**2.1. Dosificación del mortero:**

- a) 100-0
- b) 90-10
- c) 80-20
- d) 70-30
- e) 60-40

**2.2. Tipo de cal:**

- a) Martell
- b) Hades
- c) Informal I
- d) Informal II
- e) Informal III
- f) Informal IV

**2.3. Tipo de deterioro:**

- a) Grietas
- b) Fisuras
- c) Desmoronamiento
- d) otros deterioros

**2.4. Relación agua/cal**

- a) 0.25
- b) 0.20
- c) 0.30

**2.5. Relación cal: arena**

- a) 1:0
- b) 1:1

**2.6. Peso:**

- a) Ligero
- b) Pesado

**2.7. Medidas:**

- a) Se contrae
- b) Se expande

**2.8. ¿Cuánto afecta los deterioros al mortero?:**

- a) Mucho
- b) Poco
- c) Nada

**2.9. Causas de los deterioros:**

- a) Poca dosificación de cal
- b) Mucha dosificación de arena
- c) mala compactación
- d) Otros

GUÍA DE OBSERVACIÓN DE MORTEROS DE CAL: ARENA, TRUJILLO 2018

Autor:

- Varas Bermudez, Geiby Natieli

**1. DATOS INFORMATIVOS:**

- 1.1. Nombre del investigador:  
Natieli Varas
- 1.2. Ubicación: Trujillo
- 1.3. Fecha de la Observación: N° 2
- 1.4. Hora de la observación: 9:20  
am

**2. DATOS ESPECÍFICOS:**

**2.1. Dosificación del mortero:**

- a) 100-0
- b) 90-10
- c) 80-20
- d) 70-30
- e) 60-40

**2.2. Tipo de cal:**

- a) Martell
- b) Hades
- c) Informal I
- d) Informal II
- e) Informal III
- f) Informal IV

**2.3. Tipo de deterioro:**

- a) Grietas
- b) Fisuras
- c) Desmoronamiento
- e) otros deterioros

**2.4. Relación agua/cal**

- a) 0.25
- b) 0.20
- c) 0.30

**2.5. Relación cal: arena**

- a) 1:0
- b) 1:1

**2.6. Peso:**

- a) Ligero
- b) Pesado

**2.7. Medidas:**

- a) Se contrae
- b) Se expande

**2.8. ¿Cuánto afecta los deterioros al mortero?:**

- a) Mucho
- b) Poco
- c) Nada

**2.9. Causas de los deterioros:**

- a) Poca dosificación de cal
- b) Mucha dosificación de arena
- c) mala compactación
- d) Otros

GUÍA DE OBSERVACIÓN DE MORTEROS DE CAL: ARENA, TRUJILLO 2018

Autor:

- Varas Bermudez, Geiby Natieli

**1. DATOS INFORMATIVOS:**

- 1.1. Nombre del investigador:  
Natieli Varas
- 1.2. Ubicación: Trujillo
- 1.3. Fecha de la Observación: N° 7
- 1.4. Hora de la observación: 9:20  
am

**2. DATOS ESPECÍFICOS:**

**2.1. Dosificación del mortero:**

- a) 100-0
- b) 90-10
- c) 80-20
- d) 70-30
- e) 60-40

**2.2. Tipo de cal:**

- a) Martell
- b) Hades
- c) Informal I
- d) Informal II
- e) Informal III
- f) Informal IV

**2.3. Tipo de deterioro:**

- a) Grietas
- b) Fisuras
- c) Desmoronamiento
- e) otros deterioros

**2.4. Relación agua/cal**

- a) 0.25
- b) 0.20
- c) 0.30

**2.5. Relación cal: arena**

- a) 1:0
- b) 1:1

**2.6. Peso:**

- a) Ligero
- b) Pesado

**2.7. Medidas:**

- a) Se contrae
- b) Se expande

**2.8. ¿Cuánto afecta los deterioros al mortero?:**

- a) Mucho
- b) Poco
- c) Nada

**2.9. Causas de los deterioros:**

- a) Poca dosificación de cal
- b) Mucha dosificación de arena
- c) mala compactación
- d) Otros