



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“UTILIZACIÓN DE LA ARGAMASA PARA CONSTRUCCIÓN DE
VIVIENDAS ECONOMICAS”**

PROYECTO DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentado por:

WILFORD ALBERTO PINOS GARCIA

JAVIER ANDRES SANCHEZ TAPIA

GUAYAQUIL-ECUADOR

2018

DEDICATORIA

Al Gran Dios eterno, que desde antes de la creación del universo, ya me había seleccionado al servicio de mi prójimo mediante la noble carrera de Ingeniería Civil; y que durante todo el tiempo de mi preparación, me dio grandes enseñanzas de vida. A mi padre Wilford Alberto Pinos Paredes, que siempre creyó en mis capacidades; y cada día se esforzaba por ayudarme en lo que más podía.

A mi madre Violeta Isabel García Naranjo, por sus sabios consejos que desde niño supieron alejarme de los malos caminos de la vida, A mi hermano Edison Jaime Pinos García, por su cuidado y protección desde que yo era un niño.

Wilford Alberto Pinos García

DEDICATORIA

A Dios por la vida que me da y por la oportunidad de haberme dado fuerzas de llegar donde estoy. A mi familia por sus enseñanzas y consejos que me sirvieron en mi crecimiento como estudiante que todo se puede lograr si uno desea alcanzar sus metas. A mis amigos, que me acompañaron en este largo camino estudiantil y que supimos salir a delante pese a las dificultades; y en especial a mi amigo Wilford Pinos que con su cordialidad, bondad y respeto, fue enseñándome de como la vida te da regalos inesperados, cultivar la verdadera amistad.

Javier Andrés Sánchez Tapia

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica del Litoral, a todos los docentes de la Facultad de Ciencias de la Tierra que han contribuido en nuestra formación académica, a todo el personal administrativo de la Facultad de Ciencias de la tierra que siempre fueron muy amables con nosotros y estuvieron dispuestos a ayudarnos incondicionalmente.

A nuestros amigos y compañeros que con su carisma diario hicieron que los días de esfuerzo y sacrificio sean más llevaderos.

Wilford Alberto Pinos García

Javier Andrés Sánchez Tapia

TRIBUNAL DE PROYECTO

**Ph.D. Hugo Egüez Álava
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

**Ph.D. Miguel Ángel Chávez Moncayo
DIRECTOR DE MATERIA INTEGRADORA**

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la
ESPOL)

Wilford Alberto Pinos García

Javier Andrés Sánchez Tapia

RESUMEN

Los habitantes de nuestro país necesitan un hogar cómodo y seguro donde vivir, sin embargo muchas veces la condición económica impide que esta necesidad sea satisfecha. En algunas ocasiones se improvisan casas, que son construidas con materiales de calidad reducida, que pueden comprometer la seguridad y bienestar de sus habitantes.

El presente proyecto pretende encontrar una dosificación de Argamasa, que esté compuesta por materiales de nuestro país, para así reemplazar el uso del cemento en la mampostería de una vivienda, generando una disminución en el costo de la misma. Sin embargo dicha Argamasa deberá soportar los esfuerzos a los que estarán sometidos los elementos de mampostería de una vivienda y comportarse adecuadamente frente a ellos.

Lo que se desea conseguir es un producto que pueda reemplazar al cemento en la construcción de la mampostería y además que reduzca el costo de la obra.

Palabras clave: dosificación, argamasa, mampostería, esfuerzos, cemento portland.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
TRIBUNAL DE PROYECTO	V
DECLARACIÓN EXPRESA	VI
RESUMEN	VII
INDICE GENERAL.....	VIII
ABREVIATURAS	XIII
SIMBOLOGÍA	XIV
INDICE DE FIGURAS.....	XVI
ÍNDICE DE TABLAS	XIX
CAPITULO 1.....	22
GENERALIDADES	22
1.1 Introducción	23
1.2 Antecedentes y Justificación	24
1.3 Objetivos	27
1.3.1 Objetivo General.....	27
1.3.2 Objetivos Específicos.....	27
CAPÍTULO 2.....	29
MARCO TEÓRICO	29
2.1 Argamasa.....	30
2.1.1 Historia de la Argamasa	30
2.1.2 Componentes de la Argamasa	32
2.1.2.1 Composición química de la cal aérea	32
2.1.2.2 Composición química de la Cal Hidráulica.....	33
2.1.3 Conglomerante.....	34

2.1.3.1 Cal	34
2.1.3.2 Cales Aéreas	34
2.1.3.3 Cal Hidráulica	35
2.1.3.4 Puzolanas	36
2.1.4 Elaboración	37
2.1.4.1 Extracción de la Caliza	37
2.1.4.2 Apagado de la cal Hidráulica	37
2.2.1.3 Cernido	38
2.1.5 Ensayos de las Cales	38
2.1.5.1 Toma de Muestras	38
2.1.5.2 Expansión	38
2.1.5.3 Finura.....	39
2.2.2.4 Resistencias Mecánicas	39
2.2 Ensayo a compresión	39
2.2.1 Procedimiento	40
2.3 Ensayo a tracción	42
2.3.1 Modulo de Elasticidad	43
2.3.2 Límite Elástico	43
2.3.3 Limite de Fluencia	43
2.3.4 Estricción.....	43
2.3.4.1 Procedimiento.....	44
2.4 Trabajabilidad	46
2.4.1 Procedimiento	46
2.5 Ensayo Ultrasonido.....	47
2.5.1 Procedimiento	50
CAPÍTULO 3.....	52
DESCRIPCION DE LOS MATERIALES	52
3.1 Caliza Meteorizada	53

3.1.1	Caracterización de la Cal (Meteorizada y Convencional)	53
3.2	Arena	54
3.2.1	Caracterización del Agregado	54
3.3	Agua	58
3.3.1	Agua de Mezcla	59
3.3.2	Agua de Curado	60
3.3.3	Control de la calidad de agua	60
3.4	Proceso de Elaboración	61
3.4.1	Cocción del Material	62
3.4.2	Trituración del Material	63
3.4.2.1	Trituradora de Martillo	63
3.4.2.2	Molino de Discos	64
3.4.2.3	Molino de Bolas	66
3.4.3	Dosificación del material por Volumen	68
3.4.4	Mezclado del Mortero	69
3.4.4.1	Elaboración de los cubos de mortero	70
3.4.4.2	Requerimientos del Equipo	70
3.4.4.3	Procedimiento	71
3.4.5	Curado del Material	72
	CAPÍTULO 4	74
	ENSAYOS DE LABORATORIO	74
4.1	Dosificación de la Argamasa	75
4.1.1	Dosificación por Volumen 1: Relación Cal-Arena 1:1	78
4.1.2	Dosificación por Volumen 2: Relación Cal-Arena 2:1	81
4.1.3	Dosificación por Volumen 3: Relación Cal-Arena 1:2	85
4.1.4	Dosificación por Volumen 4: Relación Cal-Arena 1:1	89
4.1.5	Dosificación por Volumen 5: Relación Cal-Arena 1:1	93
4.1.6	Dosificación por Volumen 6: Relación Cal-Arena 1:2	96

4.1.7 Dosificación por Volumen 7: Relación Cal-Arena 2:1	100
4.2 Dosificación Óptima.	103
CAPÍTULO 5.....	108
RESULTADOS OBTENIDOS	108
5.1 Comparación de la Dosificación C2 con sus similares, con Material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena y Cemento GU....	109
5.2 Comparación en ensayo de Compresión simple.....	112
5.3 Comparación en ensayo de Trabajabilidad.....	114
5.4 Comparación en ensayo de ultrasonido.....	115
5.5 Comparación en ensayo de Tracción Indirecta.....	117
5.5.1 Relación entre esfuerzo de compresión simple y tracción indirecta	121
5.6 Reducción de Volumen.....	122
5.7 Análisis.....	123
CAPÍTULO 6.....	130
APLICACIONES DE LOS MATERIALES INVESTIGADOS	130
6.1 Aplicaciones de la Argamasa.....	131
6.1.1 Muros sin carga.....	132
6.1.2 Enlucido de muros sin carga	132
6.1.3 Pegado en muros de Ladrillo.....	133
6.1.4 Pegado en muros de bloque	134
6.1.5 Rellenos para solado.....	135
6.2 Resumen de Usos.	136
6.3 Costos.....	137
CAPÍTULO 7.....	142
CONCLUSIONES.....	142
CAPÍTULO 8.....	147
RECOMENDACIONES.....	147
ANEXO	

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

GU	Uso General
a/c	Agua/cemento
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
ASTM	American Society for Testing Materials
Mpa	Mega Pascales
KN	Kilo Newton
CK	Clinker
CT	Cemento de Control
P.max	Fuerza máxima
d	Diámetro de la probeta
l	Longitud del cilindro

SIMBOLOGÍA

°C	Grados centígrados
Ca (OH) ₂	Hidróxido de calcio
CaCO ₃	Carbonato de calcio
Ca	Calcio
CaO	Óxido de Calcio
MgO	Óxido de Magnesio
Na(OH)	Hidróxido de Sodio
Ca O ₂	Dióxido de calcio
SO ₃	Oxido de azufre
Mg	Miligramos
Kg	kilogramos
MI	mililitros

Lt

Litro

g

Gramos

INDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Maquina de ensayo para resistencia a compresión	41
Figura 2. 2 Espécimen sometida a compresión	42
Figura 2. 3 Ensayo de tracción indirecta para la probeta cilíndrica	45
Figura 2. 4 Velocidad de pulso a través del espécimen	49
Figura 3. 1 Curva granulometría de la arena fina.....	58
Figura 3. 2 Horno manual para la cocción de la piedra caliza.....	63
Figura 3. 3 Trituradora de martillo	64
Figura 3. 4 Molino de disco usado para la trituración fina del material.....	65
Figura 3. 5 Molienda de bolas empleada para la obtención del material fino.....	67
Figura 3. 6 Extracción del material de la molienda.....	67
Figura 3. 7 Producto final - Material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elenal	68
Figura 3. 8 Tazón mezclador para la elaboración de especímenes	71
Figura 3. 9 Horno a una temperatura de 90°C para el curado de la mezcla	73
Figura 4. 1 Resistencia a la compresión de dosificación C1 curado a 90°C	80
Figura 4. 2 Resistencia a la compresión de dosificación C1 curado a 23°C	80
Figura 4. 3 Resistencia a la compresión de dosificación C2 curado a 90°C	84
Figura 4. 4 Resistencia de dosificación C2 curado a 23°C	84
Figura 4. 5 Resistencia a la compresión de dosificación C3 curado a 90°C	88
Figura 4. 6 Resistencia a la compresión de dosificación C3 curado a 23°C	88
Figura 4. 7 Resistencia a la compresión de dosificación C4 curado a 90°C	92
Figura 4. 8 Resistencia a la compresión de dosificación C4 curado 23°C ...	92
Figura 4. 9 Resistencia a la compresión de dosificación C5 curado a 90°C	95

Figura 4. 10 Resistencia a la compresión de dosificación C5 curado a 23°C	96
Figura 4. 11 Resistencia a la compresión de dosificación C6 curado a 90°C	99
Figura 4. 12 Resistencia a la compresión de dosificación C6 curado a 23°C	99
Figura 4. 13 Resistencia a la compresión de dosificación C7 curado a 90°C	102
Figura 4. 14 Resistencia a la compresión de dosificación C7 curado a 23°C	103
Figura 4. 15 Resistencia a la compresión de dosificación C1 curado 90°C	105
Figura 4. 16 Resistencia a la compresión de dosificación C2 curado a 23°C	106
Figura 5. 1 Resistencia a la compresión de muestras similares.....	113
Figura 5. 2 Porcentaje de fluidez de muestras similares.....	114
Figura 5. 3 Velocidad de onda en ensayo de ultrasonido - muestras similares	117
Figura 5. 4 Fuerza de tracción máxima (P.max) - muestras similares	119
Figura 5. 5 Tensión de rotura (S) - muestras similares	120
Figura 5. 6 Compresión de esfuerzos	122

Figura 6. 1 Muro sin carga	132
Figura 6. 2 Enlucido con cal.....	133
Figura 6. 3 Muro de ladrillos	133
Figura 6. 4 Construcción de muro con bloque.....	134
Figura 6. 5 Solado de interior de un local.....	136
Figura 6. 6 Rendimiento de mortero por unidad de superficie	138

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Componentes de la cal Romana	31
Tabla II. Composición química de la cal aérea	32
Tabla III. Composición química de la cal hidráulica.....	33
Tabla IV. Clasificación de la calidad del hormigón en función de la velocidad de pulso.	50
Tabla V. Ubicación del punto de muestreo.....	53
Tabla VI. Características de la caliza meteorizada.....	53
Tabla VII. Ubicación del punto de muestreo.....	55
Tabla VIII. Características de la Arena	56
Tabla IX. Análisis granulométrico de la arena sílice	57
Tabla X. Especificaciones para el uso del agua en el amasado del mortero	61
Tabla XI. Características de la molienda	65
Tabla XII. Características de la molienda de bolas.....	66
Tabla XIII. Características de la Dosificación 1	78
Tabla XIV. Resultado de ensayo a compresión de Dosificación 1.....	79
Tabla XV. Comparación de resistencias en los dos tipos de curado de Dosificación 1.....	81
Tabla XVI. Características de Dosificación 2.....	82
Tabla XVII. Resultado de ensayo a compresión de Dosificación 2.....	82
Tabla XVIII. Comparación de resistencias en los dos tipos de curado de Dosificación C2.....	84
Tabla XIX. Características de Dosificación 3.....	85
Tabla XX. Resultado de ensayo a compresión de Dosificación 3.....	86
Tabla XXI. Comparación de resistencias en los dos tipos de curado de Dosificación C3.....	88
Tabla XXII. Características de Dosificación 4.....	89

Tabla XXIII. Resultado de ensayo a compresión de Dosificación 4.....	90
Tabla XXIV. Comparación de resistencias en los dos tipos de curado de Dosificación 4.....	93
Tabla XXV. Características de Dosificación 5	94
Tabla XXVI. Resultado de ensayo a compresión de Dosificación 5	95
Tabla XXVII. Comparación de resistencias en los dos tipos de curado de Dosificación C5.....	96
Tabla XXVIII. Características de Dosificación 6	97
Tabla XXIX. Resultado de ensayo a compresión de Dosificación 6	98
Tabla XXX. Comparación de resistencias en los dos tipos de curado de Dosificación C6.....	100
Tabla XXXI. Características de Dosificación 7	101
Tabla XXXII. Resultado de ensayo a compresión de Dosificación 7	101
Tabla XXXIII. Comparación de resistencias en los dos tipos de curado de Dosificación C7	103
Tabla XXXIV. Características de la Dosificación optima C2.....	104
Tabla XXXV. Resultado de ensayo a compresión de Dosificación 1.....	104
Tabla XXXVI. Resultado de la comparación de los dos tipos de curado	106
Tabla XXXVII. Características de la Dosificación seleccionada	110
Tabla XXXVIII. Características de la dosificación similar a la seleccionada, variando en su contenido de material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elenal	111
Tabla XXXIX. Características de la dosificación similar a la seleccionada, variando en su contenido de cemento GU	111
Tabla XL. Resistencias a la compresión de muestras similares.....	112
Tabla XLI. Porcentaje de trabajabilidad en muestras similares	114
Tabla XLII. Velocidad de onda en ensayo de ultrasonido - muestras similares	116
Tabla XLIII. Fuerza de tracción máxima (P.max) - muestras similares	119
Tabla XLIV. Tensión de rotura (S) - muestras similares.....	120

Tabla XLV. Uso de las diferentes dosificaciones.....	137
Tabla XLVI. Precio calculado para la mampostería en base a los precios referenciales, empleando cemento GU.....	138
Tabla XLVII. Precio calculado para enlucido en base a los precios referenciales, empleando cemento GU.....	139
Tabla XLVIII. Precio calculado para empastado en base a los precios referenciales, empleando cemento GU.....	139
Tabla XLIX. Precio calculado para la mampostería en base a los precios referenciales, empleando argamasa.....	139
Tabla L. Precio calculado para enlucido en base a los precios referenciales, empleando argamasa	140
Tabla LI. Precio calculado para empastado en base a los precios referenciales, empleando argamasa.....	140

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 Introducción

Desde más de dos milenios se ha desarrollado en Europa el denominado Hormigón Romano, el cual ha servido para construir edificaciones que han durado desde cientos y hasta miles de años.

Se trata de la Argamasa, que es una mezcla humedecida que se obtiene de las calizas previamente quemadas y trituradas.

Es muy conocido el producto denominado Cal que contribuye la Cal apagada ya que los bloques de roca quemados son hidratados mediante agua y así se obtiene el producto final antes mencionado.

La presente investigación pretende realizar un estudio de las propiedades y comportamientos que tiene la Argamasa cuando es utilizada como un ligante de agregados pétreos. De acuerdo a las aplicaciones que se han dado en el pasado, dichos agregados pétreos son de diferente granulometría y llegan a ser hasta bloques fuera de las normas conocidas.

Se realizarán pruebas, mediante diferentes elemento ligados por la Argamasa con la finalidad de simular elementos estructurales de diferentes obras.

1.2 Antecedentes y Justificación

Las diversas etapas de la historia de la humanidad se han definido por actos muy representativos que constituyen una gran diferencia entre el que las condiciones que precede y las que se dan como consecuencia de estos actos. Cuando el ser humano dejó de ser nómada, y decidió asentarse en un solo sitio, entonces surgió la inmediata necesidad de la construcción. En un principio las herramientas fueron rústicas y las estructuras por consiguiente también lo fueron. De a poco los materiales fueron evolucionando, pasando de ser simples elementos tomados de la naturaleza que se los usaba tal y como se los obtenía de la misma, luego pasando por pequeños procesos industriales muy rústicos hasta llegar a la revolución tecnológica de nuestros días.

Existieron civilizaciones en la antigüedad que obtuvieron el calificativo de “Grandes civilizaciones”, debido a su poderío bélico y a sus grandes conquistas y epopeyas, sin embargo toda gran civilización de la antigüedad poseía grandes construcciones que la diferenciaban de las demás, estas “mega construcciones” de la época representaban la grandeza de aquel pueblo, en este caso la palabra grandeza si se relaciona con magnitud, dado que las edificaciones tenían grandes dimensiones que constituían verdaderas maravillas que hasta el día de hoy se conservan algunas. Desde las pirámides egipcias, el gran coliseo romano, los sistemas de alcantarillado romano, etc. son construcciones

que utilizaron materiales que hoy son considerados rústicos. Tanta es la intriga de los expertos del tema que hasta el día de hoy aún se preguntan cómo fueron construidas aquellas “maravillas”, además que de estas edificaciones se han especulado una serie de situaciones que van desde la existencia de gigantes hasta la intervención de seres ajenos a nuestro planeta.

Es entonces muy curioso que hasta el día de hoy estén en pie aquellas construcciones, y es un comportamiento normal que cualquier persona se plantee preguntas como: quién las construyó, cómo las construyeron, que tecnología usaron para construir, qué materiales usaron.

Dejando un lado las teorías de tecnologías ajenas a la tierra, y volviendo al ámbito científico, lo que realmente interesa es el material ligante que se usaba en la antigüedad, el cual fue la argamasa, que hasta el día de hoy es usada en algunas construcciones

Dada la situación económica del país, en la actualidad es necesario contar con un material ligante que tenga buenas propiedades técnicas y que al mismo tiempo su costo en el mercado sea el menor posible.

En el presente tiempo, nuestro país usa con mayor frecuencia como material ligante el cemento de uso general que tiene un costo relativamente accesible y con muy buenas propiedades mecánicas, sin embargo aún existen personas de bajos recursos que no pueden

construir sus viviendas con dicho material, porque su condición económica se los impide.

Para poder cumplir con este cometido el equipo de investigación se ha propuesto desarrollar el estudio de la Argamasa, que es un compuesto que ha sido usado desde tiempos muy antiguos, además de estudiar sus propiedades al mezclarse con otros componentes que pueden potenciar las mismas. Esperando poder obtener alguna dosificación óptima que cumpla las normas de nuestro país y que además tenga un costo menor al del componente que actualmente se usa con mayor frecuencia en el mismo, este proyecto se pone en marcha.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Investigar la Argamasa como una alternativa de cementante en la construcción de viviendas populares, para la época actual.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Encontrar materiales en el país que me generen una argamasa de buena calidad.
- Determinar la dosificación de argamasa que resista mayores esfuerzos a compresión con materiales de nuestro país.
- Elaborar diversos ensayos de la dosificación que mejor resistencia a la compresión se obtuvo, para poder conocer más de sus propiedades mecánicas.
- Comparar los resultados obtenidos de los ensayos de la Argamasa estudiada con los resultados de dosificaciones que solo varíen en el cementante.
- Identificar los posibles usos que se les puede dar a las diferentes dosificaciones de Argamasa.
- Determinar cómo puede beneficiar el uso de esta Argamasa en la construcción de viviendas económicas.

- Determinar si es factible económicamente emplear la Argamasa para la construcción.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Argamasa

2.1.1 Historia de la Argamasa

En el siglo I a C, el diseño y la construcción de las edificaciones romanas fueron influenciadas por los etruscos, años más tarde el gran imperio romano se liberaría de Etruria y empieza a recibir grandes influencias del imperio griego, imperio del cual se cree que los romanos obtuvieron los conocimientos más básicos para desarrollar su famoso material.

Se puede diferenciar varias fases en la transformación de este material.

Opus Caementicium. Era un mortero que solo contenía cal y arena puzolana, el conocimiento más básico del mortero de cal llegó a Roma probablemente desde Grecia, aunque su uso no se hizo común hasta la primera mitad del siglo III a C.

La siguiente transformación del material, fue cuando se le añadía una porción de material volcánico a la mezcla. Este material era la famosa puzolana, que tenía su origen en Puzzoli (Nápoles). De manera empírica o no se sabe hasta qué grado de conocimiento científico éste árido al juntarse con la cal y agua daba como resultado un cemento hidráulico natural y un mortero muy resistente.

La resistencia de un mortero de cal, por lo general depende del proceso químico que comienza con la deshidratación de la piedra calcárea debido al calor, luego mezclándola con arena y a continuación re hidratando la misma mezcla con agua y generando una roca calcárea artificial.

La cal romana y la cal hidráulica tienen su procedencia en la cocción de la marga, que es una roca sedimentaria compuesta principalmente por calcita y arcilla, para que el material final tenga las mejores propiedades, dichas rocas deben tener entre 10% y 30 % de arcilla.

Las propiedades hidráulicas se las obtiene por medio de la calcinación a una temperatura de 900°, donde se realiza la descomposición de los silicatos al desprenderse el anhídrido carbónico.

A continuación se muestra una tabla de la composición promedio de la cal romana.

Tabla I. Componentes de la cal Romana

Componentes de la cal Romana	
Cal	44 % - 60%
Sílice	22% - 40%

Alúmina	9% - 17%
---------	----------

Fuente: Arquitectura historia y construcción

histarcon.blogspot.com., 2014.

2.1.2 Componentes de la Argamasa

La Argamasa o también conocida como hormigón romano (Opus Caementicium), era un mortero elaborado con cal y arena puzolana.

En función de los componentes químicos y basándose en las normas europeas de los ensayos realizados sobre la cal para uso de construcción (EN 459-2:2001), obtenemos lo siguiente:

2.1.2.1 Composición química de la cal aérea

Tabla II. Composición química de la cal aérea

Tipo de Cal	Contenido de CaO + MgO	Contenido de MgO ^b	Contenido de Co ₂ ^c	Contenido de So ₃	Contenido de Cal libre
CI 90	≥90	≤5	≤4	≤2	≥80
CI80	≥80	≤5	≤7	≤2	≥65
CI70	≥70	≤5	≤12	≤2	≥55
DL 90-30	≥90	≥30	≤4	≤2	-

DL 90-5	≥90	≥5	≤4	≤2	-
DL 85	≥85	≥30	≤7	≤2	-
DL80	≥80	≥5	≤7	≤2	-

Fuente: Guía práctica para los morteros con cal – ANCADE., 2011.

2.1.2.2 Composición química de la Cal Hidráulica

Tabla III. Composición química de la cal hidráulica

Tipo de Cal	Contenido de So_3	Cal libre $Ca(OH)_2$
HL 2	≤ 3 ^b	≥10
HL 3,5	≤ 3 ^b	≥8
HL 5	≤ 3 ^b	≥4
NHL 1	≤2	≥50
NHL 2	≤2	≥40
NHL 3,5	≤2	≥25
NHL 5	≤2	≥15

Fuente: Guía práctica para los morteros con cal – ANCADE., 2011.

2.1.3 Conglomerante

2.1.3.1 Cal

La cal ha sido el principal ligante usado en la construcción de morteros y revestimientos, en el cual está clasificado en cal aérea e hidráulica.

2.1.3.2 Cales Aéreas

Es un producto que resulta de la calcinación de calizas, constituidas por óxido de calcio y magnesio. Carecen de propiedades hidráulicas y no son capaces de endurecer en presencia del agua. La cal aérea posee propiedades muy adecuadas, debido a su permeabilidad que dejan transpirar las paredes. Una vez que la cal se utiliza, empieza a carbonatarse, desde la superficie hacia adentro, de la cual adquiere elasticidad, comportándose de mejor forma que el cemento portland.

Las cales aéreas pueden ser:

Cales Vivas.- Constituidas por Óxido de calcio y magnesio; producidos por el efecto de la calcinación de la cal.

Cal Hidratada.- Es la cal hidratada o conocida como "apagado en polvo", que además de solidificarse o fraguar en el aire, lo hace en presencia del agua. Se obtiene añadiendo un porcentaje del 8-20% de arcilla en la caliza primitiva, el cual por medio del producto resultante de la cocción, reducido a polvo, se logra adquirir las propiedades hidráulicas.

2.1.3.3 Cal Hidráulica

Dentro de las cales hidráulicas existen las naturales, es decir que no poseen ningún tipo de aditivo y posee mucha más resistencia en comparación a la cal aérea. La resistencia de este tipo de cal hidráulica, depende de la adición de elementos puzolánicos durante el proceso de fraguado.

El otro tipo de cales hidráulicas, conocido como artificiales, que a diferencia de la natural, su resistencia se obtiene por la combinación de sílice durante el proceso de cocción de la cal.

Las cales hidráulicas se pueden clasificar según su densidad, detalladas a continuación:

Cales Débilmente Hidráulicas.- Densidad aparente entre 500 - 600 gr/l.

Cales Medianamente Hidráulicas.- Densidad aparente entre 600 - 800 gr/l.

Cales Eminentemente Hidráulicas.- Densidad aparente entre 800 - 900 gr/

2.1.3.4 Puzolanas

Son sustancias silíceas que al reducirse a polvo y amasados con cal, forman aglomerantes hidráulicos. Las puzolanas se pueden clasificar dependiendo si es natural o artificial, en el cual agrupándose entre sí pueden ser:

- ✓ Cenizas y tobas volcánicas
- ✓ Rocas silíceas sedimentarias
- ✓ Arcillas y pizarras calcinadas
- ✓ Subproductos industriales.

2.1.4 Elaboración

2.1.4.1 Extracción de la Caliza

Para la fabricación de la caliza, se lo realiza usualmente a cielo abierto, por grandes voladuras, con el fin de obtener piedras de composición homogéneas, siendo fragmentadas al tamaño conveniente para luego ser cocidas.

2.1.4.2 Apagado de la cal Hidráulica

Este proceso requiere de mucho cuidado, pues de este proceso depende que el producto alcance las propiedades que se precisen. Se lleva a cabo regando con pulverizadores de agua fría o caliente la cal viva extendida sobre vagonetas apilándolos en unos fosos, cuando todavía este caliente.

Sobre este montón se vierte el recién regado de la operación siguiente, el cual habrá absorbido agua por capilaridad, y el calor que se desprende al apagarse la cal en la capa inferior evapora el resto de agua no combinada de las capas superiores, produciendo una corriente ascendente de vapor, que acaba por apagar toda la cal viva.

Existen unos extintores, constituidos por cilindros de palastro, rotatorios, en los cuales se introduce la cal viva

recién obtenida llenándolas aproximadamente hasta la mitad, y por medio de unos pulverizadores se riega con 10% de agua y se logra la extinción.

2.2.1.3 Cernido

Este proceso consiste en separar la cal apagada de los trozos muy cocidos y que aun no se han pulverizado durante la extinción. Se hace pasar la cal por unos cedazos de 2 a 3 cm de malla, que retienen los trozos más gruesos.

2.1.5 Ensayos de las Cales

En base a las Normas UNE 41.067-8, establecen los siguientes ensayos:

2.1.5.1 Toma de Muestras

Se lo hace sobre el 5 % de los sacos y con un mínimo de 3 sacos. Cabe recalcar que para la toma de muestra no se seleccionara la capa superior.

2.1.5.2 Expansión

Con la aguja de LE CHATELIER, se procederá a la separación inferior a 10 mm para el ensayo en frio a los 7 días o en caliente a las 3 horas.

2.1.5.3 Finura

Los residuos máximos sobre el tamiz de 0,2 mm, será de 3% para los eminentemente hidráulicos y 10% para los normales y medianamente hidráulicos.

2.2.2.4 Resistencias Mecánicas

Se determinan por medio de probetas prismáticas de dimensiones 4x4 por 16 cm de mortero 1:3 a los 28 días, dando lugar a los siguientes valores:

- ✓ Cales Hidráulicas.- 80 Kg/cm²
- ✓ Cales Medianamente Hidráulicas.- 15 Kg/cm²
- ✓ Cales Eminentemente Hidráulicas.- 40 Kg/cm²

2.2 Ensayo a compresión

El ensayo a compresión, es uno de los más relevantes requerimientos de diseño de un proyecto, en el que se busca obtener una buena resistencia a la compresión de tal manera que adquiera una excelente propiedad mecánica y que sea durable.

Para medir la resistencia a la compresión, se lo realiza por medio de una maquina de ensayo a compresión en la que se colocan las probetas cilíndricas y así poder utilizarlas, para determinar que la mezcla del

mortero cumpla con las especificaciones de resistencia establecidas en el proyecto. Una de las pruebas que se realizan para estimar la resistencia de una probeta, es obtener el promedio de por lo menos dos pruebas de resistencia curadas de maneras estándar y sometidas a ensayos a la misma edad; en la mayoría de requerimientos de resistencia, se lo realiza a los 28 días.

2.2.1 Procedimiento

El ensayo se lo realizo con las diferentes dosificaciones empleadas para el mortero de estudio a los diferentes días de análisis. Para analizar el comportamiento de la resistencia del mortero, se lo sometió a temperatura de 90° C, con el fin de comparar la resistencia de los cubos de mortero a temperatura ambiente.

Este ensayo hace referencia a la norma (ASTM C109, 2007) Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars, using 50 mm Cube specimens.



Figura 2. 1 Maquina de ensayo para resistencia a compresión

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018.

El procedimiento consiste en introducir los cubos dentro de la maquina, asegurándose que la muestra este completamente ajustada a unos discos, con el fin de que sea comprimida por una prensa hidráulica, la cual será controlada por medio de un control manual, que regula la velocidad de compresión, y así en un determinado tiempo se podrá observar en el panel digital la resistencia a la compresión tras la ruptura de la muestra.



Figura 2. 2 Espécimen sometido a compresión

Fuente: Pinos, W.,
Sánchez, J., 2018.

A continuación se detalla las dosificaciones respectivas en relación a los diferentes días del ensayo a compresión.

2.3 Ensayo a tracción

El ensayo de tracción consiste en someter al material a una fuerza externa de tracción, con el fin de alargar el material y observar su alargamiento. Durante el ensayo se lo estira cada vez mas haciendo más fuerza sobre la muestra hasta llegar a su rotura.

Uno de los puntos más importantes de este ensayo, es que nos da a conocer ciertas características de los materiales elásticos que se detallan de la siguiente manera.

2.3.1 Modulo de Elasticidad

El modulo de elasticidad o modulo de Young, es una propiedad que posee cada material a la oposición de la deformación de los mismos, al ser sometidos a una fuerza externa. El modulo de Young depende de la característica de cada material.

2.3.2 Límite Elástico

Es la máxima fuerza que se puede aplicar al material sin que se produzcan deformaciones permanentes en el mismo.

2.3.3 Limite de Fluencia

En este punto se producen deformaciones irrecuperables en el material, del cual solo podrá recuperar su deformación respecto al límite elástico. Este punto es conocido como fluencia, que consiste en un incremento de la longitud de forma muy rápido sin que se experimente variación a la fuerza de tensión aplicada en el ensayo.

2.3.4 Estricción

La estricción es un punto del ensayo a tracción, en la que las deformaciones se concentran en la parte central de la probeta

disminuyendo la sección de la probeta provocando la rotura en el material.

2.3.4.1 Procedimiento

En este ensayo se emplean probetas, la cual estará sujeto a unos accesorios de agarre en un extremo, mientras en el otro extremo se le aplica una carga axial constante. Después de haberse aplicado más fuerza, la probeta sufrirá un alargamiento en su longitud y un acortamiento en su sección transversal.

Generalmente se realiza el ensayo a tracción indirecta para probetas de forma cilíndrica, sometiéndose a una fuerza de compresión que se ejerce en una banda en toda su longitud.

Para poder realizar el ensayo, hay que tomar en cuenta que el mortero este endurecido y curado con las especificaciones técnicas empleadas en laboratorio. La presión que se le ejerce a la fibras prensadas es de aproximadamente entre 4 - 6 MPa/s, de la cual procede a la rotura del material, registrando la carga total aplicada.

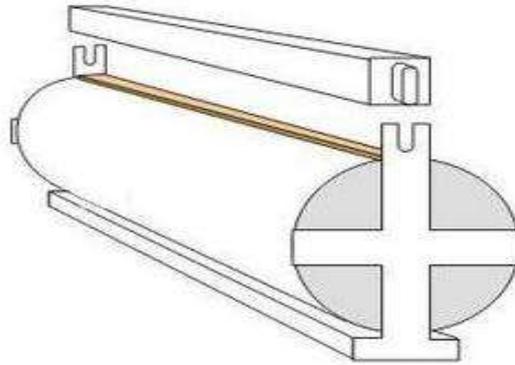


Figura 2. 3 Ensayo de tracción indirecta para la probeta cilíndrica

Fuente: Google – Construmática., 2012.

Según la norma ASTM C496 (2004), el esfuerzo máximo de tracción en el plano central del espécimen se lo puede expresar mediante la siguiente fórmula:

$$\sigma_t = \frac{\alpha * (2 * P)}{\pi * l * d}$$

Donde:

P: Carga rotura (N)

l: Longitud de la probeta (mm)

d: diámetro de la probeta cilíndrica (mm)

α : Factor de ajuste para las condiciones de borde

σ_t : Esfuerzo máximo de tracción en el plano central de la probeta (N/mm²)

2.4 Trabajabilidad

El ensayo consiste en obtener una mezcla tal cual sea fácil de manejar hasta convertirse en homogénea, a fin de que el material que se coloca en el molde no produzca segregación. El fin de este ensayo es determinar la fluidez del mortero y obtener la cantidad de agua que se requiere y medir la eficacia en la obra que se vaya a ejecutar. La trabajabilidad depende de múltiples factores, los cuales pueden ser:

- ✓ Tipo de Obra.
- ✓ Relación de agua.
- ✓ Condiciones de curado.

2.4.1 Procedimiento

En primer lugar se coloca una capa de mortero de 25 mm dentro del molde y se procede a apisonar la mezcla con 25 golpes para buscar uniformidad en el mismo. Luego se coloca otra capa de mortero y se repite el mismo procedimiento. Se enrasa la mezcla hasta obtener una superficie lisa en el molde y se procede a secar la superficie.

Luego de esperar un tiempo prudencial se procede a retirar el molde e inmediatamente se deja caer la mesa donde reposa la mezcla por medio de la manivela con 25 golpes en 15 segundos, según la norma (ASTM C1437, 2007) Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement method.

Finalmente se procede a medir el diámetro del mortero usando el calibrador tomando 3 medidas, para lograr obtener una medida representativa y posteriormente determinar la fluidez de la mezcla.

2.5 Ensayo Ultrasonido

La prueba del ultrasonido, es conocida como un método de ensayo no destructivo, debido a que no alteran las propiedades químicas y físicas del material. Existen múltiples tipos de ensayos de evaluación no destructiva en la inspección del hormigón, entre las cuales tenemos método de inspección visual, esclerómetro, radiografía con rayos X, ultrasonido y entre otras.

Una de las características principales de este método para su utilización en el hormigón son las siguientes:

Fracturas, de las cuales se puede obtener información acerca de su posición, tamaño y ancho.

Excesos de contenido de aire, que perjudica la resistencia del hormigón.

- ✓ Micro fisuras.
- ✓ Resistencia a la compresión, característica principal de un elemento para el diseño de una estructura.
- ✓ Modulo de Elasticidad.

Este método de ensayo ultrasónico esta normado por la ASTM C597, en el que comprende en determinar la velocidad de pulso a través del concreto, a partir de la generación de pulsos de ondas de tensión longitudinal que se emiten por un transductor electro- acústico, que mantiene contacto con la superficie del hormigón. Luego de ser receptados los pulsos, son convertidos en energía eléctrica por un segundo transductor ubicado a una longitud (L), para luego medir la velocidad del pulso ultrasónico.

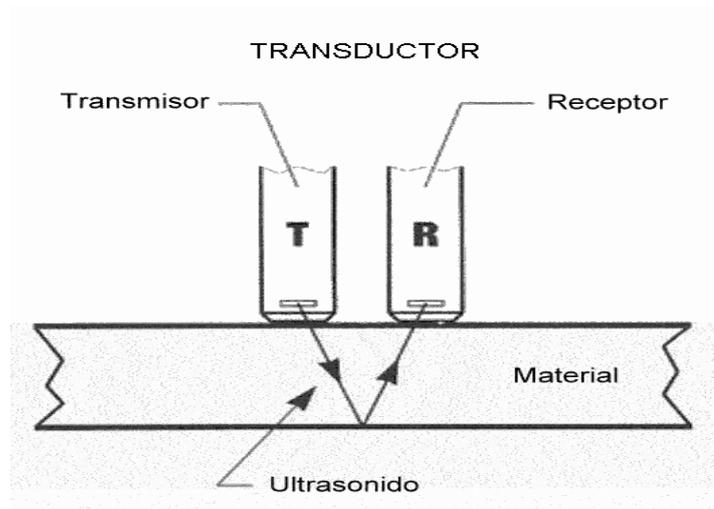


Figura 2. 4 Velocidad de pulso a través del espécimen

Fuente: Google - De Máquinas y Herramientas., 2014.

Antes de realizar el ensayo, se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos de criterio de selección de los puntos a evaluar:

Evaluar visualmente el espécimen a ensayar, con la finalidad de evaluar la rugosidad de la superficie y verificar si tiene fisuras.

Cuando la muestra presenta una superficie rugosa, se debe lijarla para evitar que los transductores recepten una señal errónea.

2.5.1 Procedimiento

El ensayo consiste en tomar tres lecturas como mínimo a la muestra, registrando el tiempo de propagación de la onda a través del concreto y la distancia de separación entre transductores.

Para medir la velocidad de pulso, se la puede obtener mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Velocidad de Pulso} = \frac{\text{Distancia entre transductores}}{\text{Tiempo de propagacion de onda}}$$

Al obtener la velocidad, se puede determinar la calidad del hormigón en función de la velocidad de pulso de la muestra, la cual se la puede clasificar de la siguiente manera:

Tabla IV. Clasificación de la calidad del hormigón en función de la velocidad de pulso.

Velocidad de Ultrasonidos (m/s)	Estado del Hormigón
> 4.500	Excelente
4.000 - 4.500	Muy Bueno
3.500 - 4.000	Bueno
3.000 - 3.500	Aceptable
2.500 - 3.000	Dudoso
2.000 - 2.500	Malo

< 2.000	Muy Malo
---------	----------

Fuente: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.,
2014.

CAPÍTULO 3

DESCRIPCION DE LOS MATERIALES

3.1 Caliza Meteorizada

Esto se debe cuando agentes externos intervienen en su disolución, creando un tipo de meteorización característica conocida como "Kárstica", la cual se emplea en construcción para enrocamientos de obras marítimas y portuarias.

3.1.1 Caracterización de la Cal (Meteorizada y Convencional)

Tabla V. Ubicación del punto de muestreo

Ubicación	
Región	Guayas
Nombre del Lugar	Salinas
Descripción	La ubicación del material se encuentra aproximadamente en el Km 90 Vía a Santa Elena.

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

Tabla VI. Características de la caliza meteorizada

Características	
Características Físicas	Presenta un aspecto oxidado debido a la meteorización química, que comprende a la alteración de la roca por factores como el vapor de agua y oxígeno.

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

Utilizaremos dos tipos de cal, para tener mayores datos de comparación al final de la investigación. La diferencia mental entre materiales la cantidad de carbonato de calcio. Mientras una de ellas

tiene un gran porcentaje carbonato de calcio, la otra es pobre en el mismo.

La roca que es pobre carbonato de calcio posee un aspecto meteorizada y es de color amarillento y se deteriora muy fácilmente en las manos de una persona. Para una rápida referencia a este material, en las siguientes líneas de este trabajo simplemente se los citará como “cal tipo 1”

La roca que es rica en carbonato de calcio posee un aspecto de poca meteorización su color es plomo, y no se deteriora con facilidad ante cualquier esfuerzo externo que se le aplique. Para una rápida referencia este material, en las siguientes líneas de este trabajo simplemente se los citará como “cal tipo 2”

3.2 Arena

3.2.1 Caracterización del Agregado

El agregado es un material que se emplea para la elaboración de mortero, que a su vez debe cumplir de manera adecuada ciertas propiedades tales como su granulometría, forma y textura de las partículas para formar un amasado compacto.

Las características principales del agregado, son las siguientes:

- ✓ Granulometría.- Al obtener una granulometría adecuada, incide de manera directa la trabajabilidad y resistencia del mortero, dependiendo si es fina o gruesa respectivamente.

- ✓ Forma y Textura.- La forma de las partículas del agregado influyen en ciertos aspectos, dependiendo de la textura del agregado, ya sea superficial, áspero, angulares. Las partículas que poseen textura áspera necesitan de mayor cantidad de agua para producir un hormigón más trabajable, a diferencia de las partículas angulares que requieren de mayor cantidad de cemento para poder mantener la relación agua-cemento.

Tabla VII. Ubicación del punto de muestreo

Ubicación	
Región	Guayas
Nombre del Lugar	H. Colon - Salinas
Descripción	Se encuentra en la Vía Salinas, en Gravera San Rafael

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

Tabla VIII. Características de la Arena

Características	
Características Físicas	<p>El tamaño del agregado se encuentra en la curva granulométrica, en la Tabla IX.</p> <p>El agregado tiene porcentaje de silicato, cuyo porcentaje se podría determinar a través de ensayos.</p>

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

El agregado que se empleo para la dosificación del mortero, se la conoce como arena- sílice, la cual presenta las siguientes características del análisis granulométrico.

Tabla IX. Análisis granulométrico de la arena sílice

N° Tamiz (pulg)	Peso Parcial	% Retenido	% Retenido Acumulado
45	121.00	28.9994	28.9994
50	41.60	9.9700	38.9694
60	44.10	10.5692	49.5386
70	37.70	9.0354	58.5740
75	3.65	0.8748	59.4488
80	132.80	31.8274	91.2762
180	17.80	4.2660	95.5422
Fondo	18.60	4.4578	100.0000
Total	417.25	100.0000	

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

En función del tamaño obtenido en la granulometría del material, se presenta la siguiente curva granulométrica de la arena fina.

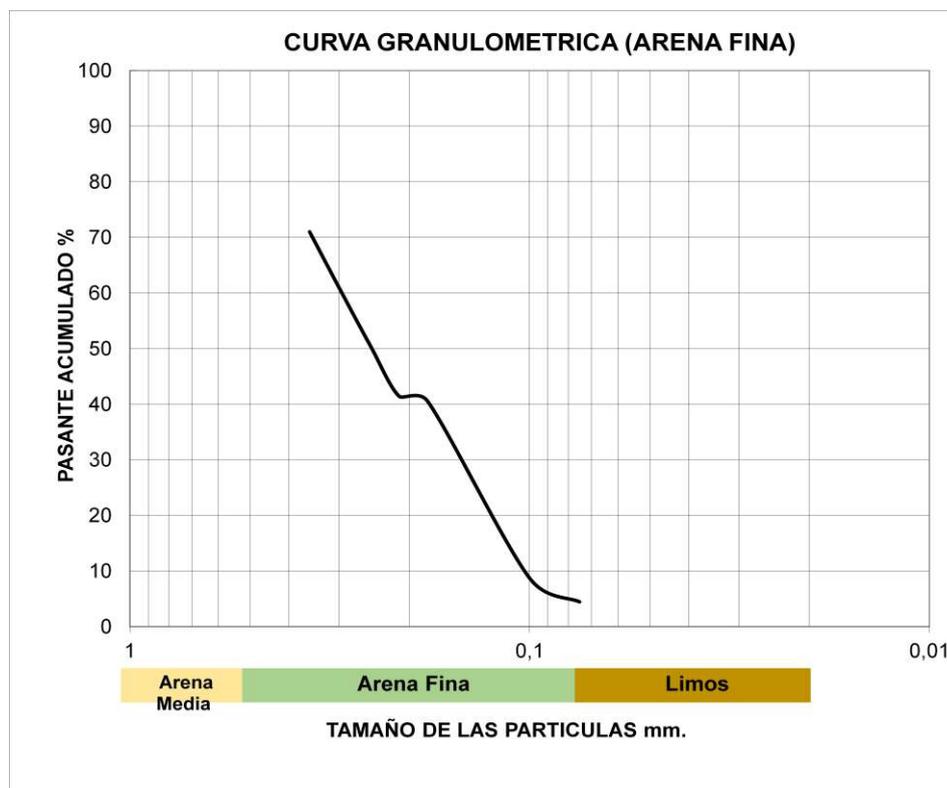


Figura 3. 1 Curva granulométría de la arena fina

Fuente: Barros, D., 2018 (Estudiante de Ing. Geología)

3.3 Agua

El agua es un recurso de suma importancia para el sustento de los seres humanos, de los cuales los pueden emplear para el consumo doméstico, agricultura, riego y para la industria de la construcción. El agua es un recurso principal, debido a que es necesario para el proceso de la construcción, y de la relación de agua que se emplee para cierta dosificación, incidirá en la resistencia que adquirirá ciertas estructuras.

El agua es el componente fundamental que al entrar en contacto con el mortero, le proporciona propiedades de endurecimiento a fin de compactar la mezcla y obtener la resistencia establecida en el diseño. La clasificación del agua está en función del uso que se le vaya a dar, sea para el amasado y mezcla, a continuación se detalla su clasificación.

3.3.1 Agua de Mezcla

El agua que se emplee como mezcla, tiene dos funciones principales, permitir que el cemento fragüe y lograr que la mezcla sea lo manejable posible. Generalmente se emplea una cantidad de agua del 40% de la masa del cemento, con el fin de adquirir una buena resistencia y conservando que la mezcla sea trabajable. Hay que considerar que no toda agua es considerada adecuada para emplearla en mezcla de mortero u hormigón, solo si cumple que su composición química es apta para el consumo humano, eso quiere decir que el agua de mar para el proceso de la construcción no es recomendable, debido a que contiene un alto porcentaje de cantidad de sales, la cual puede ser perjudicial para el uso en hormigón armado, provocando una considerable pérdida de resistencia.

3.3.2 Agua de Curado

Es la proporción de agua que se le adiciona a la mezcla una vez endurecido, a fin de alcanzar la resistencia establecida en el diseño.

En el proceso del curado del mortero, hay que considerar que se puede perder agua por diversos factores como lo son:

- ✓ Altas temperaturas
- ✓ Alto porcentaje de absorción
- ✓ Velocidad del viento, que incrementa el proceso de la evaporación.

3.3.3- Control de la calidad de agua

Para el curado y amasado del mortero, se debe emplear agua potable y que cumpla con los parámetros no perjudiciales que se indican en los siguientes requerimientos.

Tabla X. Especificaciones para el uso del agua en el amasado del mortero

Requerimientos para emplear el agua en el amasado		
Características	Normas	Especificaciones
PH	UNE 7.234	>5
Sustancias Disueltas	UNE 7.130	<15
Sulfatos	UNE 7.31	<1
Ion Cloro	UNE 7.178	<6
Hidratos de carbono	UNE 7.132	0
Sustancias orgánicas solubles en éter	UNE 7.235	<15

Fuente: Norma EH-91, Art. 6, Tabla. 4., 2008.

El agua para todas y cada una de las mezclas fue agua de la llave, la cual no se considera nociva o dañina para la mezcla.

3.4 Proceso de Elaboración

Para el proceso de la elaboración del mortero de cal, conocido como "argamasa", se emplearon materiales como la cal meteorizada, arena, piedra caliza y agua, de las cuales se hicieron dosificaciones variando el contenido de la cal y arena para analizar su comportamiento mediante ensayos de compresión, contenido de aire, tracción y trabajabilidad.

3.4.1 Cocción del Material

Se empleo piedra caliza para la elaboración del mortero en el que consistió, en la construcción de un horno casero, hecho por ladrillos, para la cocción del material, con el fin de que sus propiedades físicas sean modificadas y así lograr obtener una buena resistencia en la mezcla.

El horno de cal sirve para que la piedra caliza sea calentada a una temperatura tal que libere el dióxido de carbono, transformándola en cal viva. Generalmente para producir cal viva, el proceso de la cochura de la piedra caliza debe alcanzar aproximadamente los 900° C.

El tiempo de cocción del material fue aproximadamente de 3 horas, en la que se procedió a retirar el material de a poco, para su enfriamiento.



Figura 3. 2 Horno manual para la cocción de la piedra caliza

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

3.4.2 Trituración del Material

Luego de haber obtenido la cal viva, se procedió a llevar el material a la molienda para su trituración y así posteriormente realizar la dosificación detallada más adelante. La trituración industrial se divide en dos tipos: Primaria y secundaria.

3.4.2.1 Trituradora de Martillo

La trituradora de martillo está diseñada para poder moler diferentes tipos de materiales entre los cuales tenemos: carbón, tiza, yeso, piedra caliza, soportando una resistencia máxima a la compresión de 150 Mpa. Esta trituradora

permite un mayor número de impactos en un determinado tiempo, en el cual ha de ser depositado el material dentro de la tolva, golpea el material a una velocidad de 3 Km/min hasta obtener una reducción del material.



Figura 3. 3 Trituradora de martillo

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

3.4.2.2 Molino de Discos

Consiste en introducir el material a la cámara de molienda hermética que cae dentro de los discos, que tritura al material por efectos de presión y fricción. Los dientes que tiene la molienda hacen que el material sea partido para luego ser empujado hacia los discos obteniendo la trituración fina.

Tabla XI. Características de la molienda

Principio de la Molienda	Efectos de Presión y Fricción
Granulometría Inicial	<20 mm
Granulometría Final	<100 μ m

Fuente: Google – RESTCH., 2015

La molienda de disco que se uso en este proceso para la trituración del material fue proporcionada por el laboratorio de Minas.



Figura 3. 4 Molino de disco usado para la trituración fina del material

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

3.4.2.3 Molino de Bolas

En este proceso se obtiene el producto final que involucra a la trituración del material. El funcionamiento de este molino, comprende a un recipiente cilíndrico apoyado en rodillos que gira sobre su propio eje, la cual contiene dentro del recipiente bolas de acero que al caer por gravedad debido al movimiento giratorio del recipiente impactan en el material hasta alcanzar un grado de finura del material.

Tabla XII. Características de la molienda de bolas

Principio de la Molienda	Efecto de Impacto
Granulometría Inicial	<20 mm
Granulometría Final	<1 μ m
Tiempo de uso	5 horas

Fuente: Google – RETSCH., 2015

El tiempo que se requirió en este proceso fue de 5 horas, a fin de obtener el grado de finura del material.



Figura 3. 5 Molienda de bolas empleada para la obtención del material fino

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018



Figura 3. 6 Extracción del material de la molienda

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018



Figura 3. 7 Producto final - Material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018.

Al final de estos procesos, se dio lugar a la caliza triturada conocida como "Material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena", para proceder con la respectiva dosificación y elaboración de los cubos de mortero.

3.4.3 Dosificación del material por Volumen

En lo que respecta a la dosificación del material, pueden dosificarse en función del volumen o peso, en el cual se consideran múltiples factores que establecen las proporciones requeridas del mortero a fin de cumplir con la resistencia y durabilidad deseada.

Para el proceso de la dosificación, es necesario realizar mezclas representativas por ensayos de laboratorio, a fin de adaptarse a las condiciones del medio en el que se empleara el mortero y de hacer el control de calidad del producto a utilizar.

Entre los factores mencionados tenemos la relación de agua, trabajabilidad de la mezcla y proporción de cal. Para la elaboración de la argamasa se emplea cierta proporción de cal, que ayuda en ciertas propiedades como:

- ✓ Mayor adherencia
- ✓ Mayor Plasticidad
- ✓ Menor retracción
- ✓ Mayor permeabilidad

3.4.4 Mezclado del Mortero

Para la obtención del mortero, se realizo el mezclado por medio del equipo del tazón mezclador. Las condiciones del cuarto de mezcla deben ser a temperatura ambiente 23° C y con una humedad relativa no menor del 50 %. El procedimiento a seguir para el mezclado fue el siguiente:

Se preparo las muestras del mortero y se añadió las proporciones respectivas en función de las dosificaciones previamente mencionadas. Se agrego el contenido de agua aproximadamente de 450 ml, mientras se mezcla la muestra a una velocidad baja, que comprende a 140 rpm durante 30 segundos.

3.4.4.1 Elaboración de los cubos de mortero

Una vez conocida las dosificaciones respectivas que se usaran en el ensayo, se procede a la elaboración de los cubos de mortero. En este proceso se requiere del uso del tazón mezclador y moldes para las especímenes.

3.4.4.2 Requerimientos del Equipo

El mezclador debe ser tal cual brinde movimientos rotarios y de forma orbital para el mezclado de la muestra. La capacidad del tazón mezclador es aproximadamente de 4.73 litros y debe ser equipado de tal manera se mantenga fijo durante el mezclado de la muestra.



Figura 3. 8 Tazón mezclador para la elaboración de especímenes

Fuente: Google - cotecno.cl., 2016.

3.4.4.3 Procedimiento

En la preparación de los cubos de mortero, se siguieron los siguientes pasos detallados de la siguiente manera.

- ✓ Se verifico que los moldes de las especímenes estén limpios y además se adiciono una brochada de capa de aceite en las paredes del molde para evitar que sobre material desmoldante y lograr obtener una capa delgada en la superficie interior.
- ✓ Se elaboro 3 especímenes de una bachada de mortero a sus respectivas edades y a diferentes temperaturas.

- ✓ Se unió las juntas del molde por medio de una ligera capa de aceite.
- ✓ Luego se procedió a la compactación de la muestra, aplicando 24 golpes de forma homogénea, la cual se distribuyó en 8 golpes por cada capa, para garantizar un nivel de uniformidad en el llenado del molde.
- ✓ Finalmente se dejó a la muestra 24 horas a temperatura ambiente, para posterior ser ensayos a los días de ruptura para obtener la resistencia del mortero.

3.4.5 Curado del Material

En este proceso se requiere mantener el mortero a una temperatura adecuada y húmeda para asegurar su hidratación. El curado es necesario empezarlo lo más pronto posible para evitar que se deteriore el hormigón o en este caso el mortero de cal (argamasa). Existen distintos tipos de procedimiento para realizar el curado, entre los cuales tenemos los siguientes tipos de curado:

- ✓ Colocar el material al ambiente, cumpliendo con los ensayos a los 28 días.
- ✓ Curado en cámara húmeda, ensayada a los 28 días.

- ✓ Sumergidas en agua, secadas superficialmente, ensayadas a los 28 días.
- ✓ Curado a vapor saturado durante 8 horas.
- ✓ Para el curado del mortero tipo II, se empleo curado en horno a una temperatura de 90° C.



Figura 3. 9 Horno a una temperatura de 90°C para el curado de la mezcla

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J.,
2018

CAPÍTULO 4

ENSAYOS DE LABORATORIO

4.1 Dosificación de la Argamasa

Para realizar las dosificaciones de Argamasa con materiales que se tienen en nuestro país, se utilizaron los siguientes.

- ✓ Material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena:
Es una cal altamente meteorizada.
- ✓ Material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena:
Es una cal poco o nada meteorizada que fue explotada de cantera.
- ✓ Arena sílice: es una arena que se la obtuvo en San Rafael - Vía Santa Elena.
- ✓ Cemento G-U: es el cemento de uso general que se comercializa en el medio.

El curado de los cubos de cada una de las dosificaciones que se realizaron se dio de dos formas, la primera fue dejándolo en el laboratorio a una temperatura promedio de 23 °C y la segunda fue poniéndolo en horno a una temperatura de 90 °C. Lo que se pretendía recrear era las condiciones de la argamasa en la antigüedad, dado que la misma estaba la intemperie, es por esto que no se realizó un curado en agua como nos indica la norma.

Para un mayor entendimiento de los materiales ir al capítulo tres de la presente investigación.

Se realizaron varias pruebas a la compresión de diversas dosificaciones de cada uno de los materiales con los que se contaba, para tener una primera idea del comportamiento del material y algunas de sus características como trabajabilidad, relación agua cemento y resistencia a la compresión. Estos ensayos nos permitieron entender el comportamiento de cada uno de los materiales y poder realizar una dosificación final que fue seleccionada porque su resistencia a la compresión fue mayor que las demás.

A continuación se procede a presentar cada una de las dosificaciones que se tuvieron en consideración para seleccionar la más óptima, representando los resultados en tablas y gráficos para el mejor entendimiento de las mismas.

Es importante recalcar en este momento que para algunas dosificaciones se utilizaron relaciones de agua/cemento muy grandes debido a que si se tomaban relaciones de agua/cemento menores, entonces la trabajabilidad de cuya dosificación se reducía en gran magnitud, por lo que en algunos casos era imposible llegar a la pasta cementante a la que desde un principio se pretendía llegar.

Para una mejor organización a cada una de las dosificaciones se le asignó un código, por lo que más adelante para mayor facilidad se hará referencia a la dosificación por su código y no por su dosificación ya que sería poco didáctico.

Como se puede observar en la tabla se usó como único cementante el material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena.

Es importante mencionar que de todos los cementan antes siendo estos material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena, material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena, cemento de uso general, el que menor trabajabilidad tenía era material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena, por lo que fue necesario una gran cantidad de agua para poder darle una trabajabilidad adecuada. No se le puso aditivo alguno porque se quería recrear las condiciones antiguas de la argamasa, es por esto que en algunas dosificaciones la relación de agua/cemento es muy alta.

En algunas tablas de resultados, los casilleros de tres días no poseen valores y en el apartado de observaciones se puede leer la siguiente frase “No se puede desmoldar”, esto nos indica que hasta ese día la mezcla no tenía una consistencia requerida como para ya extraerla del molde sin que la misma sufriera daño alguno. Este

fenómeno lo pudimos encontrar en las dosificaciones hechas con material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena.

4.1.1 Dosificación por Volumen 1: Relación Cal-Arena 1:1

Era necesario conocer el comportamiento de la mezcla cuando se tienen proporciones de cal y arena iguales, es por eso que para esta dosificación se realizó dicho proceso.

En la siguiente tabla se procede a presentar los datos de cada uno de los materiales que hicieron posible la dosificación.

Tabla XIII. Características de la Dosificación 1

Dosificación por Volumen	
Código	C1
Material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena	1
Arena	1
Cemento –GU	0
Relación agua/cemento	0,8

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

Esta relación de agua/cemento es muy alta, posiblemente le redujo resistencia a la compresión a esta dosificación, sin embargo fue necesaria para poderle dar una trabajabilidad adecuada y realizar los bordes a la compresión.

Los resultados de esta combinación fueron los siguientes:

Tabla XIV. Resultado de ensayo a compresión de Dosificación 1

Código	C1		
Días	Fuerza (KN)	Presión (MPA)	Observaciones
3 Días	0	-	No se puede desmoldar
	0	-	No se puede desmoldar
7 Días	7,1	3,24	90 C
	3,9	1,78	23 C
14 Días	7,9	3,8	90 C
	3,3	3,3	23 C
28 Días	8,2	3,96	90 C
	3,1	3,63	23 C

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

La mayor resistencia de esta dosificación, se dio a los 28 días, teniendo una resistencia a la compresión de 3.63 mega pascales para la muestra curada a la misma temperatura que laboratorio (23 °C) mientras que la resistencia la compresión de la muestra curada al horno (90 °C) 3.96 mega pascales, lo que nos indica que la muestra curada al horno tuvo una mayor resistencia a la compresión. Como se puede ver en la tabla, este comportamiento

se repite tanto en las pruebas a los 7, 14 y 28 días. A continuación se muestran los gráficos de la resistencia a la compresión de la dosificación que tiene por código C1.

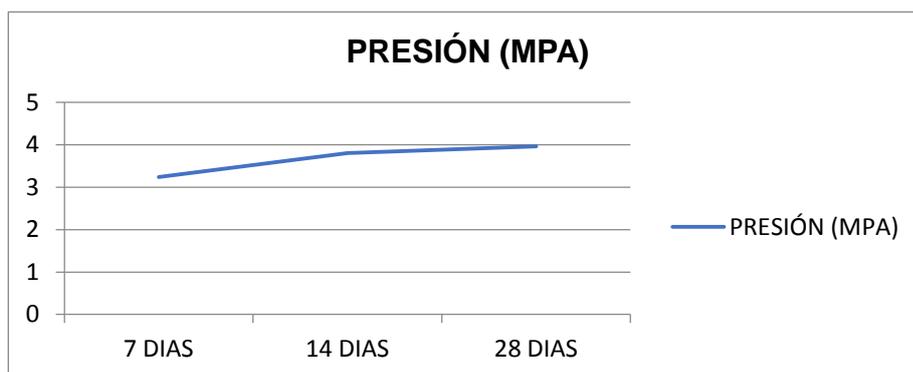


Figura 4. 1 Resistencia a la compresión de dosificación C1 curado a 90°C

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

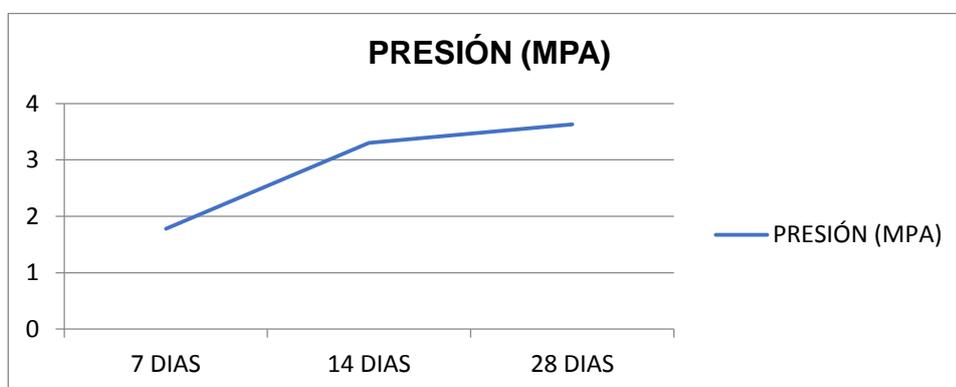


Figura 4. 2 Resistencia a la compresión de dosificación C1 curado a 23°C

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

Tabla XV. Comparación de resistencias en los dos tipos de curado de Dosificación 1

Comparación en Curados		
Días	Curado - 90 C (MPA)	Curado - 23 C (MPA)
7	3,24	1,78
14	3,8	3,3
28	3,96	3,63

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

4.1.2 Dosificación por Volumen 2: Relación Cal-Arena 2:1

Una vez que se haya conocido el comportamiento de la mezcla cuando las proporciones de cal y arena fueran iguales, era necesario realizar cambios en la dosificación para conocer como se comportaría la misma una vez que las proporciones de sus componentes principales (cal y arena) varíen. En este caso la proporción de cal es el doble que la proporción de arena, teniendo una relación de cal arena de 2 a 1.

En la siguiente tabla se procede a presentar los datos de cada uno de los materiales que hicieron posible la dosificación.

Tabla XVI. Características de Dosificación 2

Dosificación por Volumen	
Código	C2
Material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena	2
Arena	1
Cemento –GU	0
Relación agua/cemento	0,8

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

Al igual que la anterior, en esta dosificación se usó como cementante la material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena, que nuevamente requirió de una gran cantidad de agua, por lo que la relación agua/cemento puede 0.8, dotando a esta mezcla de una trabajabilidad adecuada.

Los resultados de esta combinación fueron los siguientes:

Tabla XVII. Resultado de ensayo a compresión de Dosificación 2

Código	C2		
	Días	Fuerza (KN)	Días
3 Días	0	-	No se puede desmoldar

	0	-	No se puede desmoldar
7 Días	7,3	3,85	90 C
	1,3	0,66	23 C
14 Días	12,5	6,54	90 C
	4,7	2,47	23 C
28 Días	15,3	7,65	90 C
	5,6	3,85	23 C

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

El comportamiento esta dosificación fue muy similar al del anterior de manera cualitativa, es decir nuevamente la resistencia a la compresión mayores fueron cuando la muestra fue curada al horno a 90 °C. Nuevamente se puede percibir un comportamiento ascendente en la resistencia a la compresión, a medida que los días transcurren. Obteniendo la mayor resistencia a los 28 días, se obtuvo una resistencia máxima de 7.65 mega pascales con un curado a 90 °C en horno y se obtuvo también una resistencia máxima de 3.85 mega pascales para un curado a temperatura ambiente de laboratorio la cual fue de 23°C.

A continuación se muestran los gráficos de la resistencia a la compresión de la dosificación que tiene por código C2.

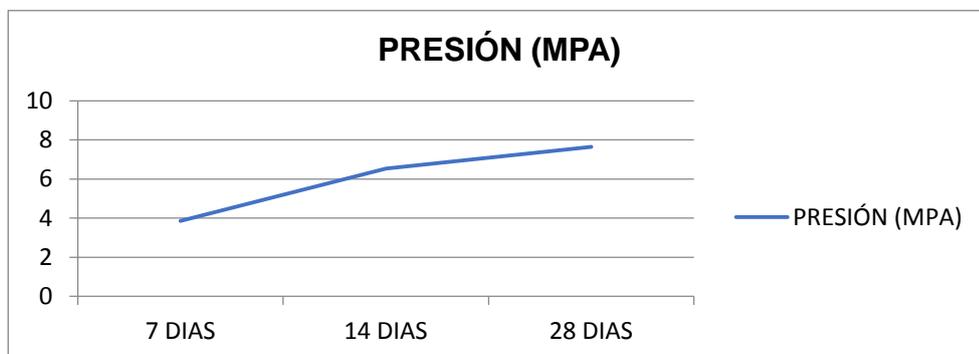


Figura 4. 3 Resistencia a la compresión de dosificación C2 curado a 90°C

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

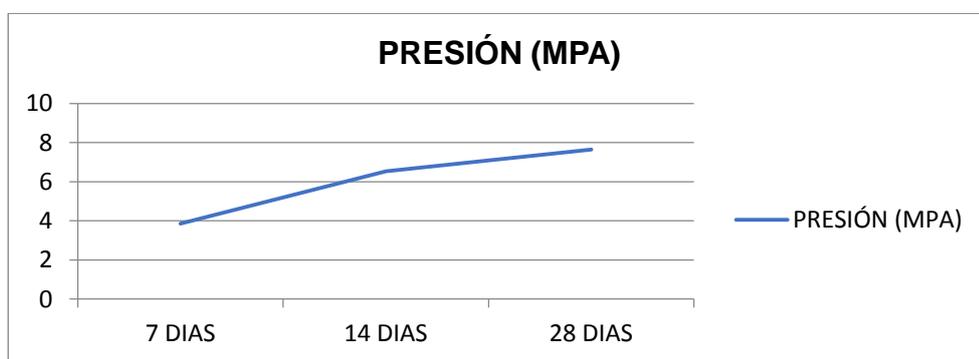


Figura 4. 4 Resistencia de dosificación C2 curado a 23°C

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

Tabla XVIII. Comparación de resistencias en los dos tipos de curado de Dosificación C2

Comparación en Curados		
Días	Curado - 90 C (MPA)	Curado - 23 C (MPA)
7 DIAS	4.0	4.0
14 DIAS	6.5	6.5
28 DIAS	7.5	7.5

7	3,85	0,66
14	6,54	2,47
28	7,65	3,85

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

4.1.3 Dosificación por Volumen 3: Relación Cal-Arena 1:2

Para esta tercera mezcla ahora necesitamos conocer que le sucede a la mezcla cuando hay más arena que cal, es por eso que para esta dosificación se aumentó la cantidad de arena dando una relación de cal y arena de uno a dos.

En la siguiente tabla se procede a presentar los datos de las relaciones de esta dosificación.

Tabla XIX. Características de Dosificación 3

Dosificación por Volumen	
Código	C3
Material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena	1
Arena	2
Cemento –GU	0
Relación agua/cemento	0,8

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

Nuevamente la relación de agua cemento tiene un valor muy grande y es de 0.8, nuevamente se hace énfasis al lector de que esta relación agua cemento fue necesaria debido a que la trabajabilidad de la mezcla con una relación agua cemento menor era muy pobre.

Los resultados de esta combinación fueron los siguientes:

Tabla XX. Resultado de ensayo a compresión de Dosificación 3

Código	C3		
Días	Fuerza (KN)	Días	Fuerza (KN)
3 Días	0	-	No se puede desmoldar
	0	-	No se puede desmoldar
7 Días	3,2	1,47	90 C
	1,2	0,52	23 C
14 Días	5,6	2,58	90 C
	2,3	1,2	23 C
28 Días	6	2,85	90 C
	2,9	2	23 C

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

De las tres dosificaciones realizadas con material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena y arena, ésta fue la que

menor resistencia a la compresión obtuvo, nótese que en esta combinación el elemento que estuvo presente en mayor proporción fue la arena y en menor proporción la cal, lo que nos indica que a mayor cantidad de cal en la mezcla dará mejora resistencia a la compresión. es por esto que comparando los resultados de las tres combinaciones que se hicieron con material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena, podemos encontrar que la que mayor resistencia la compresión tuvo fue aquella que tuvo relación cal arena dos a uno (código C1), la que le seguía en resistencia la compresión fue la de combinación cal arena 1 a 1 (Código C2) , y en último puesto la combinación donde prevalecía la arena con una relación cal arena de 1 a 2, Es muy importante tomar en cuenta que el posicionamiento de las dosificaciones es el mismo sin importar que el curado fuera a temperatura ambiente de laboratorio (23 °C) o cuando se curaba en horno (90 °C).

Los resultados de la resistencia a la compresión de la dosificación que tiene por código C3, se muestran en la Figura 4.5, Figura 4.6 y Tabla XXI.

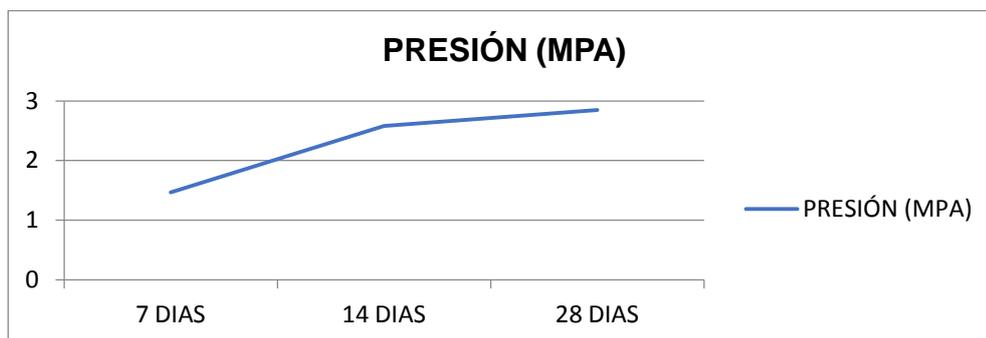


Figura 4. 5 Resistencia a la compresión de dosificación C3 curado a 90°C

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

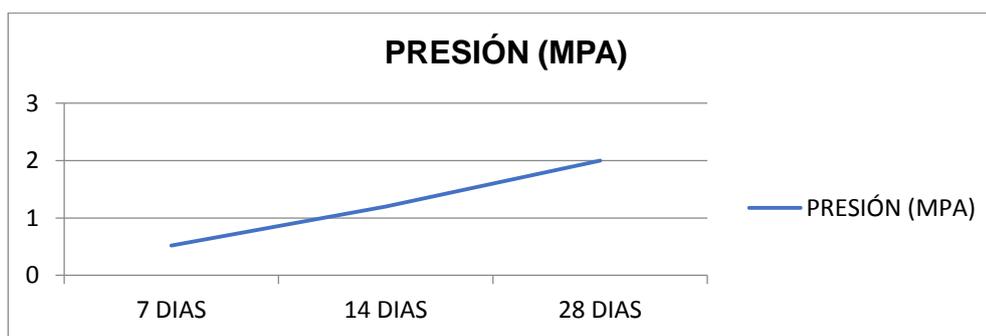


Figura 4. 6 Resistencia a la compresión de dosificación C3 curado a 23°C

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

Tabla XXI. Comparación de resistencias en los dos tipos de curado de Dosificación C3

Comparación en Curados		
Días	Curado - 90 C (MPA)	Curado - 23 C (MPA)
7	1,47	0,52
14	2,58	1,2

28	2,85	2
----	------	---

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

4.1.4 Dosificación por Volumen 4: Relación Cal-Arena 1:1

A partir de la dosificación por volumen 4 a la dosificación por volumen 7, se utilizó el material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena, que es una cal menos meteorizada. La mezcla con este tipo de cal necesitaban menos agua que las mezclas que realizábamos con el tipo de material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena, por lo que trabajar con este material obviamente tendría una relación agua cemento menor a las obtenidas con la material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena, dado que con menor cantidad de agua ya se podía tener una mejor trabajabilidad de la mezcla.

A continuación se muestran los datos de la dosificación.

Tabla XXII. Características de Dosificación 4

Dosificación por Volumen	
Código	C4
Material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena	1
Arena	1

Cemento –GU	0
Relación agua/cemento	0,5

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

Esta dosificación posee en proporción cal arena de 1 a 1, y una relación agua cemento de 0.5, como podemos ver la relación agua cemento que se usa en esta dosificación es aproximadamente la mitad de la que se usó con la cal uno, sin embargo con esta relación la trabajabilidad de esta mezcla fue muy similar a la trabajabilidad de la mezcla conseguida con la combinación C1.

A continuación se muestran los resultados de los esfuerzos a compresión de esta mezcla.

Tabla XXIII. Resultado de ensayo a compresión de Dosificación 4

Código	C4		
	Días	Fuerza (KN)	Presión (MPA)
3 Días	0	-	No se ensayó
	0	-	No se ensayó
7 Días	1,7	0,74	90 C

	1	0,41	23 C
14 Días	1,6	0,72	90 C
	0,9	0,39	23 C
28 Días	1,3	0,69	90 C
	0,9	0,38	23 C

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

Como podemos observar de los resultados a compresión de esta mezcla, nos damos cuenta rápidamente que su comportamiento es similar al visto en dosificaciones anteriores, se repite el patrón de conducta, la resistencia a la compresión de la muestra curada al horno es mayor que aquellas que se curaron al ambiente sin importar si la muestra fue tomada a los 7, 14, 28 días.

La resistencia a la compresión de esta dosificación a los 28 días con un curado al horno (90 °C) fue de 0.69 mega pascales, mientras que la muestra que fue curada al ambiente (23 °C) tuvo una resistencia a los 28 días de 0.38 mega pascales. Si comparamos a esta muestra con la muestra que tiene condiciones similares pero con material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena (código C1), entonces nos damos cuenta que la resistencia a la compresión es menor.

Los resultados de la resistencia a la compresión de la dosificación que tiene por código C4, se muestran en la Figura 4.7, Figura 4.8 y Tabla XXIV.

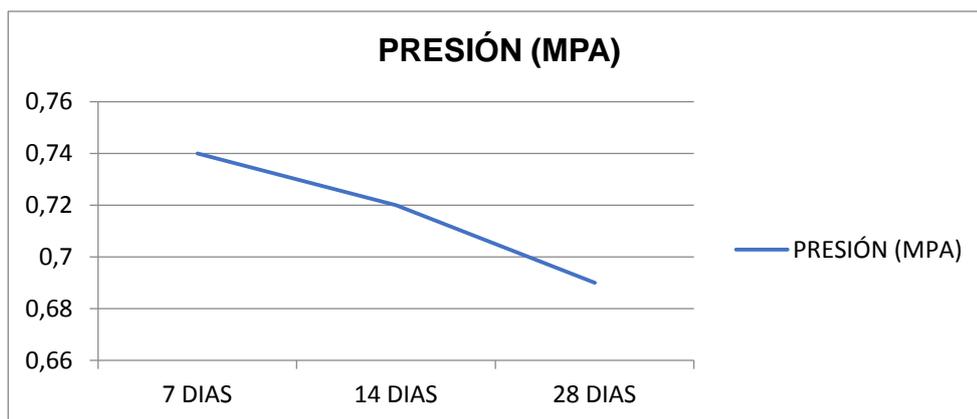


Figura 4. 7 Resistencia a la compresión de dosificación C4 curado a 90°C

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

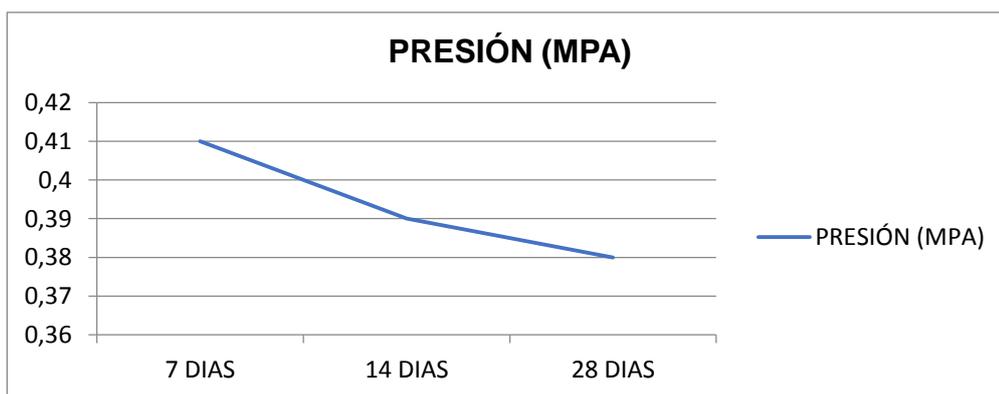


Figura 4. 8 Resistencia a la compresión de dosificación C4 curado 23°C

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

Tabla XXIV. Comparación de resistencias en los dos tipos de curado de Dosificación 4

Comparación en Curados		
Días	Curado - 90 C (MPA)	Curado - 23 C (MPA)
7	0,74	0,41
14	0,72	0,39
28	0,69	0,38

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

4.1.5 Dosificación por Volumen 5: Relación Cal-Arena 1:1

Nuevamente esta mezcla usa para su dosificación material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena, además varía en la relación agua cemento a su antecesora (C4) por 0.1, ya que ahora es 0.4. Lo que se pretendía conocer era el comportamiento de la mezcla con dosificaciones muy similares a la anterior combinación pero reduciéndole la relación agua cemento en un mínimo, además llegando del guante a una relación agua cemento que es la mitad de la combinación C1. Estas condiciones llevaron a esta dosificación, cuyas características principales se muestra en la tabla XXV.

Tabla XXV. Características de Dosificación 5

Dosificación por Volumen	
Código	C5
Material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena	1
Arena	1
Cemento –GU	0
Relación agua/cemento	0,4

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

En vista que esta dosificación sólo varía con su antecesora en la relación agua cemento, ya que esta mezcla posee menos agua, podemos atrevernos a decir que en los resultados de los ensayos a compresión esta dosificación tendrá un comportamiento más bajo, dado que muchas veces cuando en una mezcla se le agrega más agua entonces, se pierde resistencia. Una vez realizado los ensayos efectivamente se fue testigo de que los resultados fueron de menor calidad.

Los resultados de los ensayos compresión de C5, se muestran en la tabla XXVI, Figura 5.9 y Figura 5.10.

Tabla XXVI. Resultado de ensayo a compresión de Dosificación 5

Código	C5			
	Días	Fuerza (KN)	Días	Fuerza (KN)
3 Días	0	-	No se ensayó	
	0	-	No se ensayó	
7 Días	2,6	1,04	90 C	
	1,4	0,56	23 C	
14 Días	1,8	0,72	90 C	
	1,1	0,5	23 C	
28 Días	1,3	0,54	90 C	
	1	0,5	23 C	

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

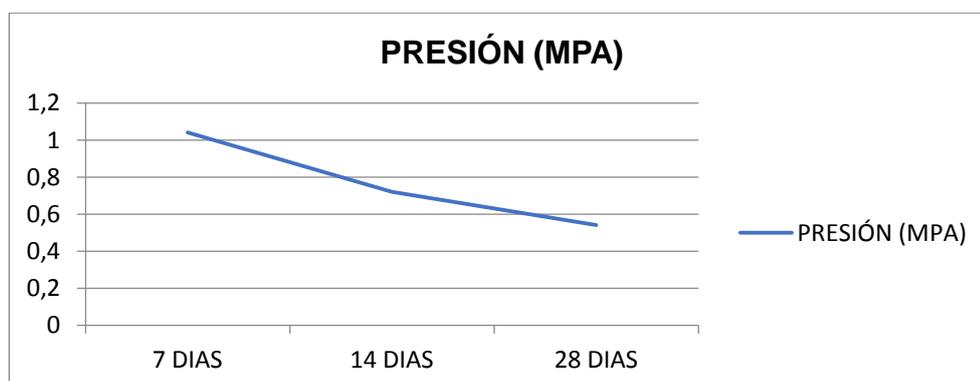


Figura 4. 9 Resistencia a la compresión de dosificación C5 curado a 90°C

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

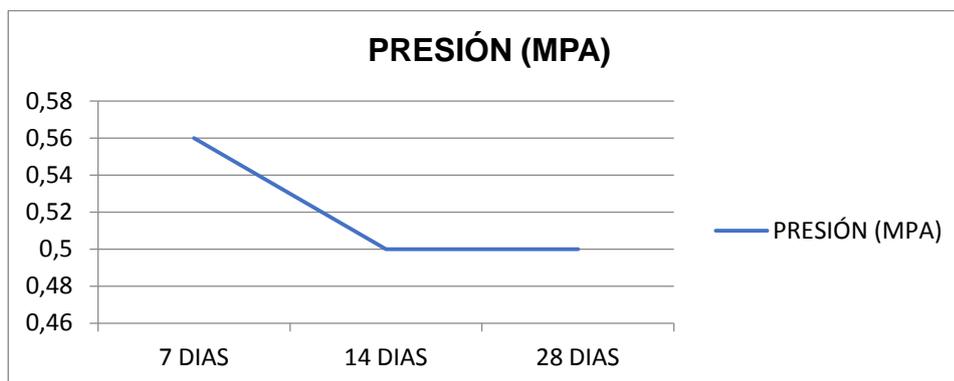


Figura 4. 10 Resistencia a la compresión de dosificación C5 curado a 23°C

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

Tabla XXVII. Comparación de resistencias en los dos tipos de curado de Dosificación C5

Comparación en Curados		
Días	Curado - 90 C (MPA)	Curado - 23 C (MPA)
7	1,04	0,56
14	0,72	0,5
28	0,54	0,5

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

4.1.6 Dosificación por Volumen 6: Relación Cal-Arena 1:2

Siguiendo con las dosificaciones que tienen cal 2, en esta ocasión nos permitimos conocer el comportamiento de la mezcla proporcionando una relación cal arena de 1 a 2. Es decir que vamos

a conocer el comportamiento de la mezcla cuando en la misma hay más arena que cal, sin embargo para alcanzar una trabajabilidad similar a todas las dosificaciones que le anteceden a esta, se requirió una relación agua cemento de 0.6, lo que es comprensible debido a que tenemos mayor cantidad de arena.

A continuación se presenta las características de la dosificación (C6) en la tabla XXVIII.

Tabla XXVIII. Características de Dosificación 6

Dosificación por Volumen	
Código	C6
Material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena	1
Arena	2
Cemento –GU	0
Relación agua/cemento	0,6

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

Como podemos apreciar la relación agua cemento en esta mezcla es de 0.6, misma que se considera elevada pero que fue muy necesaria para llegar a la trabajabilidad que se buscaba o se pretendía en cada una de las muestras, que dicha trabajabilidad sea muy parecida.

Es necesario en este momento mencionar que el comportamiento de las mezclas que usaron cal 2 es muy variante, dado que por lo general las mezclas que poseen mayor cantidad de cal y menor cantidad de arena dan una mejor resistencia, pero si comparamos los valores de las mezclas con código C4, C5 y C6 en los diferentes días de rompimiento de las muestras nos daremos cuenta que no cumplen con la premisa de que a mayor cantidad de cal se dará una mayor resistencia. Se cree que no se cumple esta premisa debido a las diferentes relaciones de agua cemento que poseen cada una de las mezclas.

Los resultados de los ensayos a compresión se muestran en la tabla XXIX, Figura 4.11 y Figura 4.12.

Tabla XXIX. Resultado de ensayo a compresión de Dosificación 6

Código	C6		
Días	Fuerza (KN)	Presión (MPA)	Observaciones
3 Días	0	-	No se ensayó
	0	-	No se ensayó
7 Días	2	0,8	90 C
	1,3	0,5	23 C

14 Días	1,6	0,7	90 C
	1,1	0,4	23 C
28 Días	1,2	0,6	90 C
	0,85	0,32	23 C

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

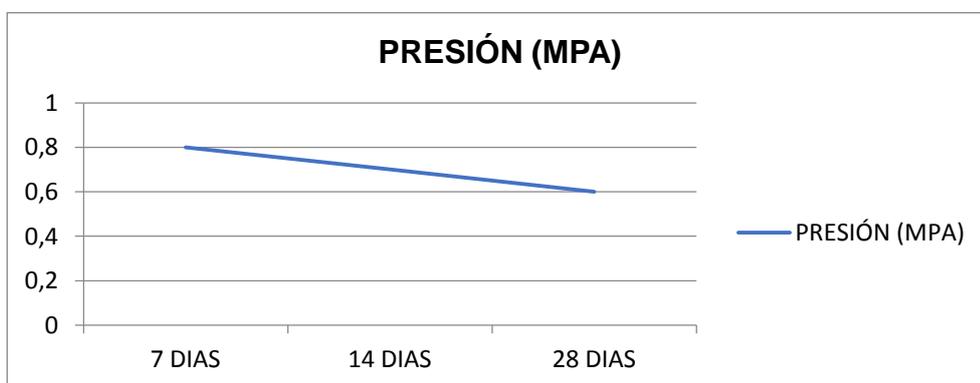


Figura 4. 11 Resistencia a la compresión de dosificación C6 curado a 90°C

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

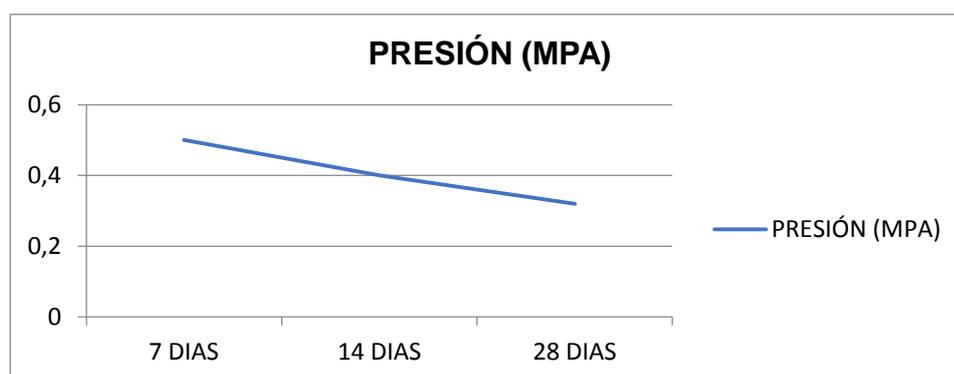


Figura 4. 12 Resistencia a la compresión de dosificación C6 curado a 23°C

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

Tabla XXX. Comparación de resistencias en los dos tipos de curado de Dosificación C6

Comparación en curados		
Días	Curado - 90 C (MPA)	Curado - 23 C (MPA)
7	0,8	0,5
14	0,7	0,4
28	0,6	0,32

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

4.1.7 Dosificación por Volumen 7: Relación Cal-Arena 2:1

En esta ocasión la proporción de cal es el doble que la de arena para poder conocer su comportamiento en la mezcla, sin embargo el equipo de trabajo espera que las resistencias sean mayores al menos de las combinaciones que poseen el mismo tipo de cal (material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena).

A continuación se presenta la tabla XXXI, con las características de esta dosificación.

Tabla XXXI. Características de Dosificación 7

Dosificación por Volumen	
Código	C7
Material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena	2
Arena	1
Cemento –GU	0
Relación agua/cemento	0,3

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

En este caso podemos apreciar que la relación agua cemento para poder alcanzar la trabajabilidad requerida (similar a todas las anteriores), es muy baja debido al gran contenido de cal.

Los resultados de los ensayos a compresión de C7, se muestran en la tabla XXXII, Figura 4.13 y Figura 4.14.

Tabla XXXII. Resultado de ensayo a compresión de Dosificación 7

Código	C7		
	Fuerza (KN)	Presión (MPA)	Observaciones
3 Días	0	-	No se ensayó
	0	-	No se ensayó
7 Días	5	2	90 C

	1	0,4	23 C
14 Días	3,2	1,28	90 C
	0,5	0,2	23 C
28 Días	2,7	1,08	90 C
	0,5	0,2	23 C

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

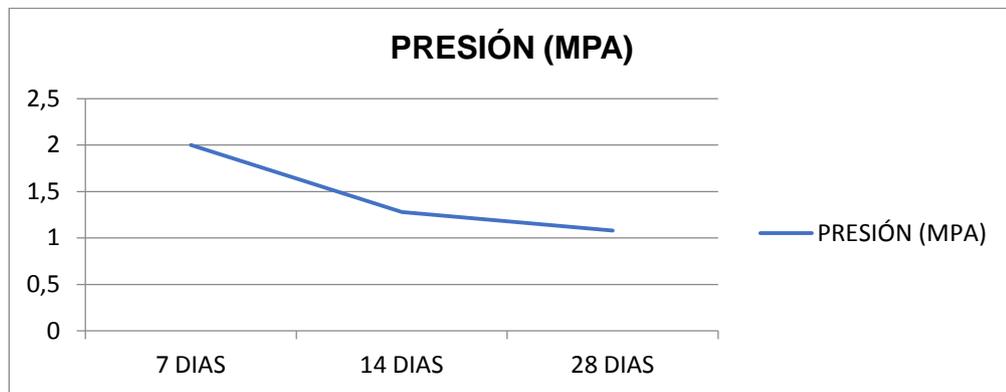


Figura 4. 13 Resistencia a la compresión de dosificación C7 curado a 90°C

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

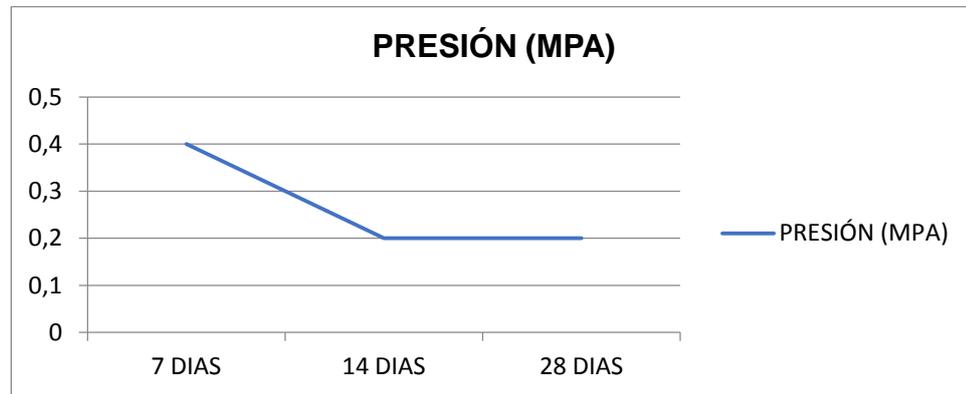


Figura 4. 14 Resistencia a la compresión de dosificación C7 curado a 23°C

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

Tabla XXXIII. Comparación de resistencias en los dos tipos de curado de Dosificación C7

Comparación en Curados		
Días	Curado - 90 C (MPA)	Curado - 23 C (MPA)
7	2	0,4
14	1,28	0,2
28	1,08	0,2

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

4.2 Dosificación Óptima.

Luego de conocer el comportamiento de cada una de las dosificaciones que se encuentran expuestas en líneas anteriores, mediante su relación agua cemento, su cantidad de cal, su cantidad de arena y su curado,

entonces podemos tener una idea clara de cuál es la dosificación más óptima en cuanto a la resistencia a la compresión (ensayo, que desde un principio se dijo era el que iba determinar la mejor dosificación con la que se trabajaría de ahora en adelante en el presente trabajo), podemos decir que la dosificación con mejor comportamiento a los 28 días fue la de código C2.

Para un mejor entendimiento del lector en el presente trabajo, se procede a mostrar los resultados de dicha dosificación en la tabla XXXIV.

Tabla XXXIV. Características de la Dosificación óptima C2

Dosificación por Volumen	
Código	C2
Material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena	2
Arena	1
Cemento –GU	0
Relación agua/cemento	0,8

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

Tabla XXXV. Resultado de ensayo a compresión de Dosificación

1

Código	C2		
Días	Fuerza (KN)	Presión (MPA)	Observaciones

3 Días	0	-	No se puede desmoldar
	0	-	No se puede desmoldar
7 Días	7,3	3,85	90 C
	1,3	0,66	23 C
14 Días	12,5	6,54	90 C
	4,7	2,47	23 C
28 Días	15,3	7,65	90 C
	5,6	3,85	23 C

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

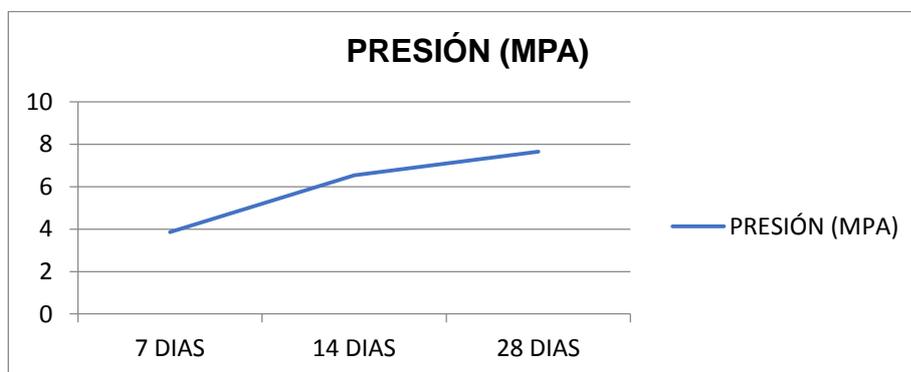


Figura 4. 15 Resistencia a la compresión de dosificación C1 curado 90°C

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

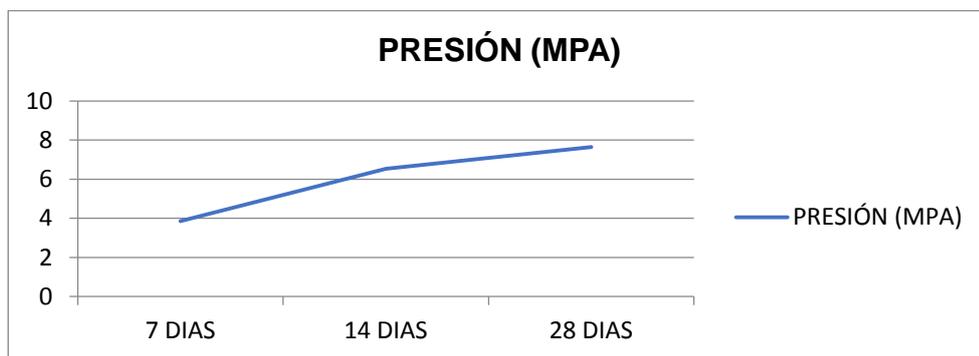


Figura 4. 16 Resistencia a la compresión de dosificación C2 curado a 23°C

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

Tabla XXXVI. Resultado de la comparación de los dos tipos de curado

Comparación en Curados		
Días	Curado - 90 C (MPA)	Curado - 23 C (MPA)
7	3,85	0,66
14	6,54	2,47
28	7,65	3,85

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

CAPÍTULO 5

RESULTADOS OBTENIDOS

5.1 Comparación de la Dosificación C2 con sus similares, con Material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena y Cemento GU.

En el capítulo cuatro se explicaron algunos de los ensayos que se le pueden hacer a los morteros para conocer sus propiedades físicas, mientras que en el capítulo cinco del presente trabajo se encontró la dosificación que tuvo el valor más alto en cuanto a la resistencia la compresión se refiere. La dosificación que obtuvo el mejor resultado a la compresión fue la de código C2.

En el presente capítulo se pretende comparar a la mejor dosificación obtenida en el capítulo anterior con una dosificación similar pero que use cemento de uso general, que es un cemento comercial, en otras palabras vamos a comparar nuestra mejor mezcla posible con una mezcla que contenga un producto del mercado.

Cada una de las propiedades de las mezclas a compararse se las obtendrá mediante los ensayos explicados en el capítulo cuatro.

Es importante que el lector del presente trabajo entienda que las dosificaciones a compararse en las siguientes líneas son iguales en proporción de cementante y arena, sin embargo varían en su relación agua cemento porque cuando se realiza la mezcla usando como cementante material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena siempre se necesita mayor cantidad de agua que cuando se usa

cemento de uso general, es por eso que las mezclas varían en su relación agua cemento, teniendo una relación de agua cemento de 0.8 cuando la mezcla se realiza con el cementante de material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena y 0.4 cuando la mezcla se realiza con el cemento de uso general GU. Se usaron estas relaciones de agua cemento porque con dichas relaciones se conseguía una trabajabilidad similar, por lo que para realizar la comparación se harán 3 mezclas que son las siguientes:

- ✓ Dosificación C2 – Es la mezcla que nos dio mejores resultados a compresión.

Tabla XXXVII. Características de la Dosificación seleccionada

Dosificación por Volumen	
Código	C2
Material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena	2
Arena	1
Cemento –GU	0
Relación agua/cemento	0,8

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

- ✓ Similar usando cemento material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena. Dosificación similar a la que mejor resultados

presentó, cambiando solo el cementante a material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena y la relación agua/cemento a la mitad.

Tabla XXXVIII. Características de la dosificación similar a la seleccionada, variando en su contenido de material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena

Dosificación por Volumen	
Material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena	2
Arena	1
Cemento –GU	0
Relación agua/cemento	0,4

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

- ✓ Similar usando cemento GU. Dosificación similar a la que mejor resultados presentó, cambiando solo el cementante a cemento de uso general (GU) y la relación agua/cemento a la mitad.

Tabla XXXIX. Características de la dosificación similar a la seleccionada, variando en su contenido de cemento GU

Dosificación por Volumen	
Material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena	0
Arena	1

Cemento –GU	2
Relación agua/cemento	0,4

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

5.2 Comparación en ensayo de Compresión simple.

El ensayo de compresión simple presentó los siguientes resultados a los 28 días.

Tabla XL. Resistencias a la compresión de muestras similares

Muestra	Dosificación C2	Similar con Material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena	Similar con Cemento GU.
Resistencia 28 Días (MPA)	7,65	1,58	15,75

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

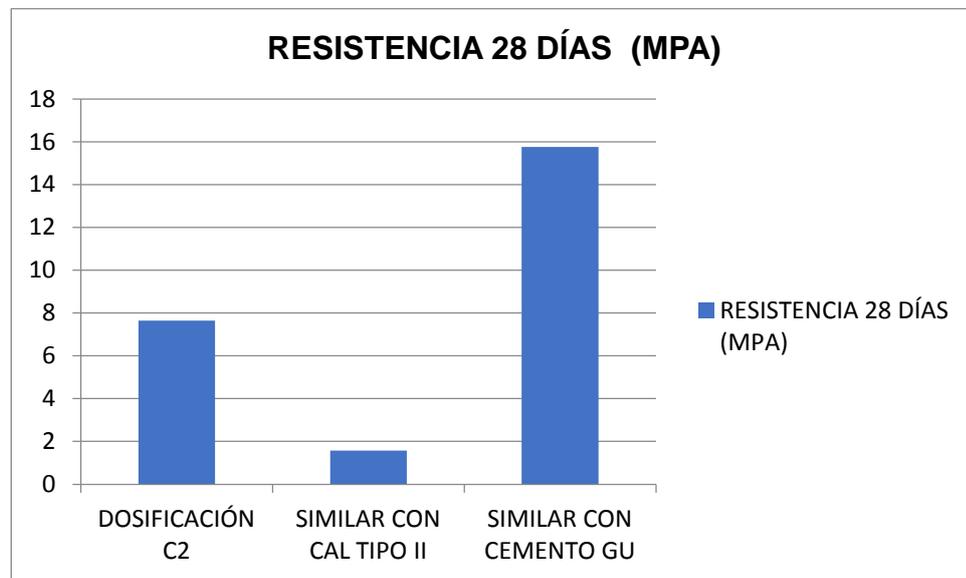


Figura 5. 1 Resistencia a la compresión de muestras similares

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

Como nos indican los resultados la mayor resistencia a compresión, la obtuvo la mezcla que se realizó con cemento de uso general, en segunda posición está la mezcla que tuvo como cementante a la material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena, mientras que en último lugar está la mezcla que usó como cementante la material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena. En este punto es necesario recalcar que todas las dosificaciones tuvieron la misma relación arena cemento.

5.3 Comparación en ensayo de Trabajabilidad.

Este ensayo nos indica el porcentaje de fluidez de cada una de las muestras. Los resultados de las muestras se presentan a continuación.

Tabla XLI. Porcentaje de trabajabilidad en muestras similares

Muestra	Dosificación C2	Similar con Material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena	Similar con Cemento GU.
Fluidez (%)	120	150	140

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

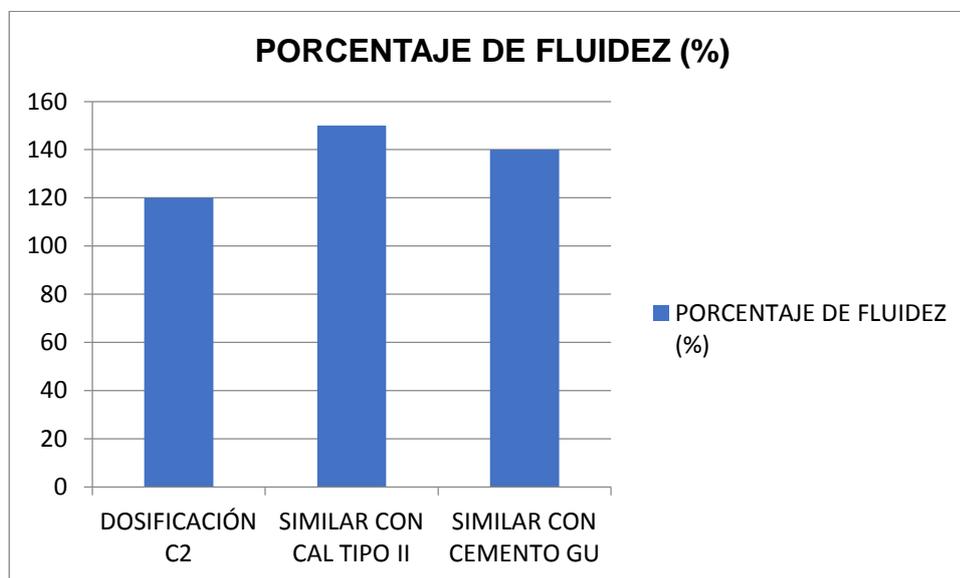


Figura 5. 2 Porcentaje de fluidez de muestras similares

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

El ensayo de trabajabilidad nos dio resultados muy convincentes, ya que nos ilustra lo siguiente: La trabajabilidad de la dosificación que hemos seleccionado como la óptima (C2), es la menos trabajable entre las tres muestras, este era un resultado que se lo esperaba, debido a que esta mezcla requirió más agua que las demás debido a su poca trabajabilidad desde el principio, sin embargo al realizar el ensayo de porcentaje de fluidez nos damos cuenta que los valores no están muy dispersos siendo los mismos 120, 150 y 140.

5.4 Comparación en ensayo de ultrasonido

El ensayo de ultrasonido me permite determinar cuán poroso es el material que se está analizando, mediante la velocidad de propagación de la onda en la muestra, si la velocidad de la onda en la muestra es menor, entonces el material es más poroso, caso contrario nos indica que presenta menos porosidad.

Para el ensayo se realizaron muestras en cilindros de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura, para lo cual al cabo de los 28 días se volvieron a realizar las mediciones de estas dimensiones dándonos cuenta que ya no fueron las mismas debido a la pérdida de agua en cada una de las muestras.

Se realizaron tres ensayos a cada muestra, de los cuales se los promedió y se obtuvieron los resultados finales, los resultados que se presentarán, ya son el valor promedio...

En las siguiente tabla L, se presentan los datos de las medidas de las muestras cilíndricas al día de su ensayo (28 días).

Tabla XLII. Velocidad de onda en ensayo de ultrasonido - muestras similares

Muestra	Dosificación C2	Similar con Material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena	Similar con Cemento GU.
Velocidad (m/s)	1000	1375	3750

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

A continuación se presentan los resultados del ensayo de ultrasonido, representados en gráficos para poder tener una mejor comprensión del mismo y además realizar una mejor comparación entre ellos.

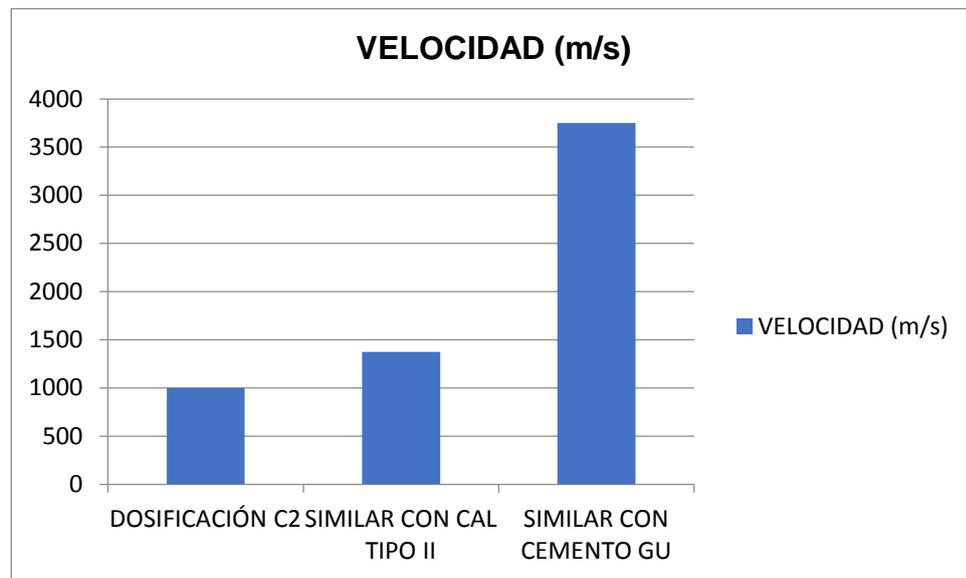


Figura 5. 3 Velocidad de onda en ensayo de ultrasonido - muestras similares

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

Como se puede observar en el gráfico, la dosificación C2 es la que menor velocidad de onda experimentó, esto nos indica que de las tres mezclas, la mezcla C2 es la más porosa.

5.5 Comparación en ensayo de Tracción Indirecta

Como en el ensayo de ultrasonido, la muestra a usarse tiene forma cilíndrica de 100 centímetros de diámetro y 200 cm de altura. Así mismo esta muestra fue ensayada a los 28 días desde su elaboración.

Para la muestra de los resultados de este ensayo se presentarán dos tablas, la primera mostrará la fuerza máxima aplicada al cilindro antes de

su rotura, mientras que la segunda tabla nos mostrará la tensión de rotura, para lo cual se utilizaron las medidas de altura e cilindro (t) y diámetro del cilindro (d).

La ecuación que se utilizó para determinar la tensión de rotura de cada uno de los cilindros fue basada en el análisis de Tomas W Kennedy y W Ronald Hudson, que desarrollaron las tensiones teóricas que se dan en una probeta cilíndrica sometida a una carga diametral, tal cual sucede en el ensayo de tracción indirecta.

La ecuación a la que se llega basado en ese análisis es la siguiente:

$$S_t = \frac{2 \cdot P_{m\acute{a}x}}{\pi \cdot t \cdot d}$$

Donde:

S es la resistencia a la rotura por tracción indirecta.

P_{máx} es la carga máxima o carga de rotura.

T es la altura de la probeta.

D es el diámetro de la probeta

Es muy importante indicar que las medidas de cada uno de las muestras realizadas fueron distintas a sus 28 días, debido a que hasta este. Habían perdido agua de mezcla, lo que generó una reducción en sus tamaños.

En la presente tabla LIII, se muestran los resultados obtenidos en este ensayo para cada una de las combinaciones empleadas.

Tabla XLIII. Fuerza de tracción máxima (P.max) - muestras similares

Muestra	Dosificación C2	Similar con Material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena	Similar con Cemento GU.
Fuerza (KN)	5,9	1,7	105

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

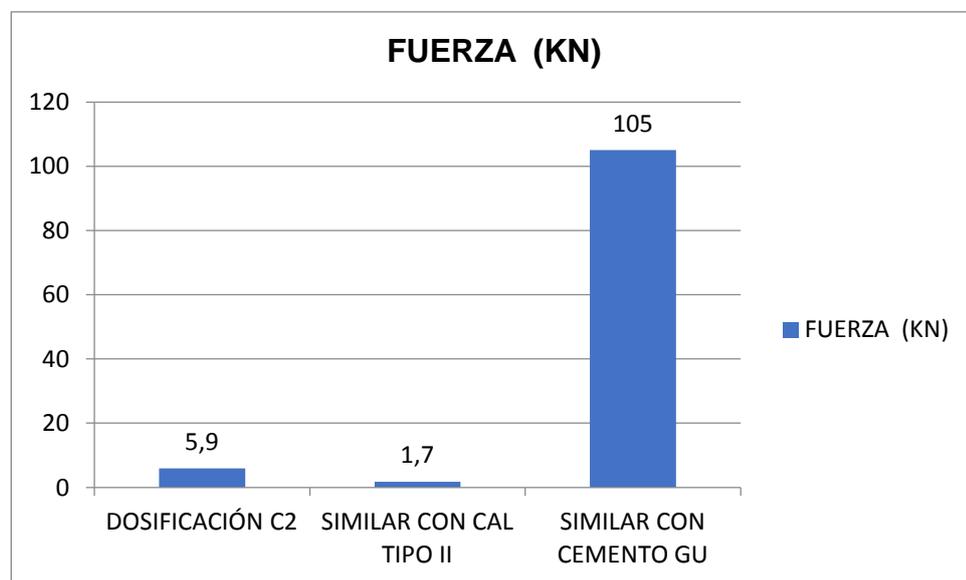


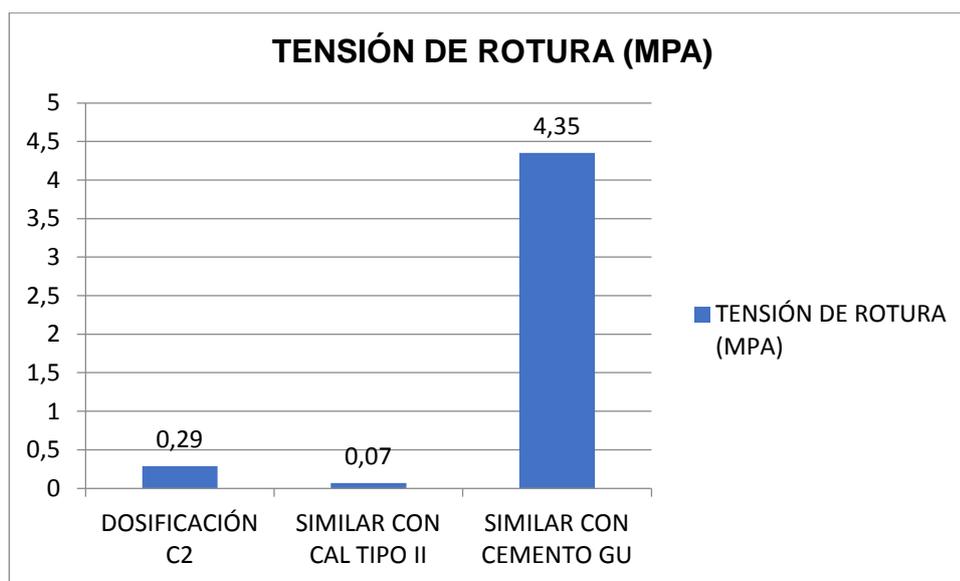
Figura 5. 4 Fuerza de tracción máxima (P.max) - muestras similares

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

Tabla XLIV. Tensión de rotura (S) - muestras similares

Muestra	Dosificación C2	Similar con Material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena	Similar con Cemento GU.
Tensión de rotura (MPa)	0,29	0,07	4,35

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

**Figura 5. 5** Tensión de rotura (S) - muestras similares

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

5.5.1 Relación entre esfuerzo de compresión simple y tracción indirecta

Una vez que tenemos los resultados de los ensayos de compresión simple y de tracción indirecta, podemos comparar los mismos y calcular el porcentaje en que se relacionan.

Tanto la mezcla que fue ensayada a compresión simple y la que fue ensayada a tracción indirecta tuvieron la misma dosificación (C2) y fueron ensayadas a los 28 días dando los siguientes resultados.

Ensayo a compresión simple = 7.65 mega pascales.

Ensayo a tracción indirecta = 0.29 mega pascales.

Viendo los resultados obtenidos en los diferentes ensayos, se puede dar cuenta que la resistencia al ensayo a tracción indirecta representa el 4% de la resistencia del ensayo a compresión simple.

Para un mejor entendimiento se ilustran los resultados en el siguiente gráfico.

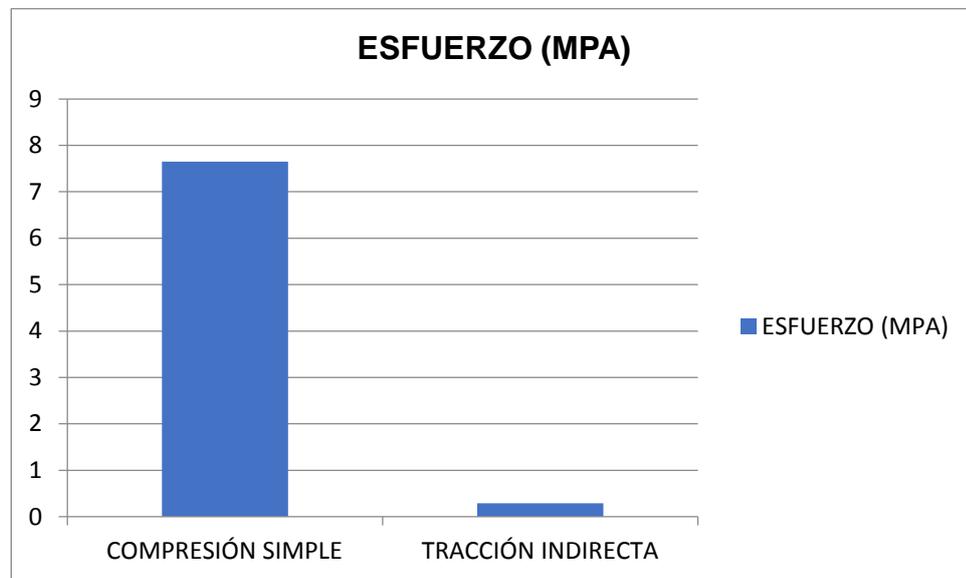


Figura 5. 6 Compresión de esfuerzos

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

5.6 Reducción de Volumen

Una característica muy importante de los materiales cementantes es la pérdida de volumen una vez que se han secado, a continuación se presentará una tabla mostrando las dimensiones iniciales cuando se realizaron cada una de las mezclas y además las dimensiones finales a los 28 días, para lo cual se calcularán los volúmenes finales que son los que varían dependiendo del material con el que se hizo la mezcla. El volumen inicial será para todos los casos 1570.8 centímetros cúbicos, dado que el diámetro del molde cilíndrico es 10 cm y la altura es 20 cm, y se usó el mismo molde en todos los casos.

La siguiente tabla nos muestra las dimensiones finales y las pérdidas en cada una de las muestras.

5.7 Análisis

En vista que en la antigüedad la argamasa era muy usada y en nuestros días su uso había quedado rezagado a un segundo plano, el grupo de trabajo que participó en este documento decidió encontrar materiales en nuestro país que tuviesen propiedades favorables para la elaboración de la ya mencionada argamasa, y se les pueda dar un uso que genere una reducción en el costo constructivo. Desde el principio se tuvieron muchas ideas tanto para seleccionar los materiales que compondrían dicha argamasa y también otros componentes naturales que se le agregarían a la mezcla y simularía a unos aditivos naturales, por ejemplo la ceniza del tamo de arroz que se sabe que posee un gran contenido en sílice y podría dar mayor resistencia a la mezcla. A medida que el proceso de selección de materiales avanzaba, el equipo de trabajo iba añadiendo y descartando ideas de materiales, ya sea por su difícil procesamiento o por su complicada obtención.

Es en este punto donde el equipo de trabajo toma las decisiones respecto a qué materiales formaron parte de la argamasa para elaborarse. Los materiales que al final de la selección resultaron

escogidos fueron dos cementantes, uno fue la caliza extraída de la cantera “San Eduardo”, mientras que el otro fue un material calcáreo ubicado a la altura del Km 90 vía a Santa Elena y un tipo de arena.

En cuanto a la decisión del tipo de arena que se seleccionaría para que forme parte de esta mezcla que daría como resultado una argamasa, no fue muy sencilla, dado que en un principio se tenía pensado seleccionar una arena común que se encuentre en cualquier cantera en los alrededores de la ciudad de Guayaquil, esto obedecía a que en un principio se pretendía agregar a la mezcla una porción de ceniza de tamo de arroz, sin embargo el proceso para obtener dicha ceniza era muy complejo, por lo que el equipo de trabajo decidió descartar esa idea, y la arena que finalmente se seleccionó fue una arena que se la puede encontrar en el cantón San Rafael que también está ubicado en la vía a Santa Elena. Es muy comprensible que en este punto del trabajo el lector se pregunte ¿qué tenía esa arena para que sea seleccionada?, la respuesta es muy sencilla pues desde su nombre esa arena es especial, el nombre de esta arena es “Arena sílice”, por lo que el equipo de trabajo asume que esa arena posee porcentaje de sílice en su composición. Cuánto de sílice posee arena, es una pregunta que la presente investigación no la va a responder, sin embargo cualquier otra persona que desee hacerlo, lo puede hacer.

Al realizar la argamasa con estos materiales pudimos efectivamente comprobar cómo se comportaban los mismos al realizar la mezcla, mientras cuando se usaba la material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena (amarillenta) nos encontrábamos con una mezcla que requería muchísima agua y que al momento de su secado, perdía mucho volumen. Por otro lado cuando utilizábamos la material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena (color plomo) requeríamos menos agua y sin embargo no había una gran pérdida de volumen al momento de su secado.

En cuanto al agua se refiere, el equipo de trabajo decidió tomar el agua potable que se obtiene en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias de la Tierra en la ESPOL.

Una vez que se había seleccionado todos y cada uno de los materiales que serían usados en esta mezcla denominada argamasa, se procedió a ver el comportamiento de las mismas en un ensayo inicial, el cual fue ensayo de resistencia a la compresión.

Estos ensayos fueron llevados a cabo con cada uno de los materiales variando en las proporciones de los mismos, para ver en cuanto influía en el resultado final. Es así como se llega a una dosificación a la que le podríamos llamar óptima, la cual es la que mejores resultados al ensayo

de la resistencia la compresión nos dio a los 28 días. La dosificación que mejores resultados obtuvo fue la que tiene por código C2, si el lector desea puede retornar al capítulo cinco y ver las características de esta dosificación. La resistencia de esta dosificación a los 28 días fue de 7.65 mega pascales.

Una de las consideraciones para realizar este trabajo fue que se considerarían condiciones que se pudieron haber tenido la antigüedad, por lo que para el curado de todas las muestras no se les agregó agua, por el contrario en algunos casos eran puestas al horno a 90 °C, para recrear las condiciones ásperas de los ambientes antiguos.

Entre las propiedades que se pudieron observar al momento de ensayar la muestra que nos dio mejores resultados a la compresión, es oportuno indicar que:

Trabajabilidad: Poseía una buena trabajabilidad.

Cantidad de agua requerida en la mezcla:

Requiere el doble de agua que las mezclas que se hicieron con los otros 2 cementantes (material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena y cemento de uso general).

Compactación:

Se requiere una gran compactación para que la mezcla se amolde a la superficie que le servirá de molde a la misma de la mejor manera posible y evitando los famosos vacíos de materiales que en nuestro país se los conoce como “ratoneras”, ya que fue muy frecuente encontrar en algunas muestras este fenómeno.

Fraguado y desmolde:

Se puede desmoldar a partir de los 7 días, antes no, porque aún no tiene la resistencia requerida, una de las hipótesis es por la gran cantidad de agua que requiere en la mezcla.

Retracción:

A pesar de la gran cantidad de agua que requiere la mezcla, es muy común que en el secado de la misma se hagan presentes algunas fisuras, por esto no es recomendable hacer grandes moldes de este material.

Pérdida de volumen:

Una desventaja de esta mezcla es que tiene gran pérdida de volumen, que comprende al 19%.

Una vez conocida la dosificación que dio mejores resultados a la compresión simple, entonces se procedió a la realización de los demás ensayos de la misma dosificación y de otras muy similares a la primera,

ya que solo variaban en el reemplazo de material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena y de cemento de uso general (GU), se lo hizo de esta manera para poder comparar los resultados.

Como el equipo de trabajo esperaba desde el principio, la resistencia de la argamasa a realizarse no tendría grandes esfuerzos para cumplir funciones estructurales en una edificación, pero sí tendría la resistencia para cumplir funciones de mampostería que reducirían el costo de la obra.

Entre los usos que se les puede dar a la argamasa investigada son los siguientes:

- ✓ Construcción de muros que no estará sometidos a carga externa alguna, teniendo mucho cuidado con la retracción de la mezcla.
- ✓ Enlucido de muros que no estarán sometidos a carga externa alguna.
- ✓ Pegado en muros de ladrillo.
- ✓ Pegado en muros de bloque.
- ✓ Relleno para solado.

Un mal que ha acechado a nuestro país desde hace mucho tiempo es la pobreza, quizás es un poco contradictorio que un país con tantos recursos naturales esté sumido en la pobreza. Por esta razón es que mucha de la mampostería usada en nuestro país es de mala calidad o

posee un acabado no vistoso, o simplemente se las concluye con materiales de propiedades mecánicas precarias.

Mediante la investigación hemos encontrado un producto que podría ser usado como mampostería en algunas de las casas de las personas que no tienen una condición económica favorable, producto que se encuentra a un mayor alcance económico para este tipo de personas. Las propiedades de este producto no son las mejores del mercado, pero si son de mejor calidad que muchas de las viviendas que ya han sido construidas en condiciones no favorables.

CAPÍTULO 6

APLICACIONES DE LOS MATERIALES INVESTIGADOS

6.1 Aplicaciones de la Argamasa

Dependiendo de la resistencia a la compresión que se obtuvo en cada una de las dosificaciones, entonces podemos asignarle un uso adecuado. En las siguientes líneas se especificará el uso que se le puede dar a cada una de las dosificaciones.

Los usos que le podamos dar a cada uno de los dosificaciones obtenidas en capítulos anteriores, depende de cuanta resistencia requiere cada uno de los cursos y cuanta resistencia le proporciona la dosificación. Es decir, si la dosificación le aporta una resistencia mayor igual a la que requiere el uso, entonces esa dosificación es apta para ser aplicada en ese uso, si esta condición no se cumple entonces no es aplicable para ese uso. Es muy importante mencionar en esta parte del trabajo que desde un principio, los usos que se le pretendía dar a las mezclas eran con una finalidad del mejoramiento de la mampostería, tales como inducido, pega entre bloques, etc.; es por esta razón que solamente consideramos esos usos similares a fin de comparar las resistencias.

A continuación se muestran varias tablas donde podemos observar cada una de las dosificaciones y los diferentes usos que se le pueden dar a las mismas dependiendo de su resistencia a la compresión a los 28 días.

6.1.1 Muros sin carga.

Es un muro no resistente, que en caso de ser eliminado no compromete la integridad del resto del edificio. La resistencia requerida para este tipo de muros es de 50 Kg/cm², para la cual, la dosificación que tiene por código C2 puede satisfacer esta necesidad, ya que cuenta con una resistencia de 70 Kg/ cm² a los 28 días.



Figura 6. 1 Muro sin carga

Fuente: Google-mlingenieria.com-drenajes para muros de cemento., 2015

6.1.2 Enlucido de muros sin carga

Se denomina enlucido al revestimiento continuo de un material que constituye la capa de terminación aplicada sobre la superficie. La resistencia requerida para este tipo de muros es de 60 Kg/cm², para la cual, la dosificación que tiene por código C2 puede

satisfacer esta necesidad ya que cuenta con una resistencia de 76 Kg/ cm² a los 28 días.

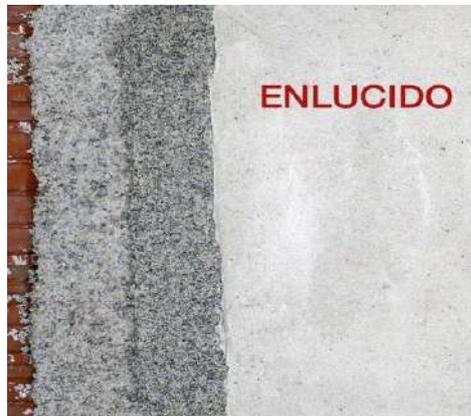


Figura 6. 2 Enlucido con cal

Fuente: Google-
museunacional.cat., 2016.

6.1.3 Pegado en muros de Ladrillo

Es la unión de 2 o más ladrillos mediante una pasta cementate. Cuando existe muchos ladrillos pegados con dicho cementante se denomina muro de ladrillos.

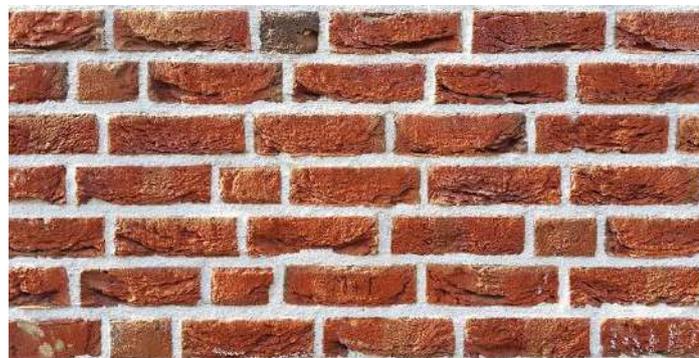


Figura 6. 3 Muro de ladrillos

Fuente: Google-aislandlano.blogspot., 2015.

La resistencia requerida para este tipo de muros es de 25 Kg/cm², para la cual, las dosificaciones que tienen por código C1, C2, C3 pueden satisfacer esta necesidad ya que cuentan con las resistencias de 39 Kg/ cm², 76 Kg/ cm²y 28 Kg/ cm² respectivamente a los 28 días.

6.1.4 Pegado en muros de bloque

Es la unión de 2 o más bloques mediante una pasta cementante. Cuando existe muchos bloques pegados con dicho cementante se denomina muro de bloques.



Figura 6. 4 Construcción de muro con bloque

Fuente: Google-miconstrugua.com-construcción de bloques., 2015.

La resistencia requerida para este tipo de muros es de 25 Kg/cm², para la cual, las dosificaciones que tienen por código C1, C2, C3 pueden satisfacer esta necesidad ya que cuentan con las resistencias de 39 Kg/ cm², 76 Kg/ cm²y 28 Kg/ cm² respectivamente a los 28 días.

6.1.5 Rellenos para solado

Solado es el revestimiento de un suelo con asfalto, adoquines, madera u otro material similar.

Se coloca una capa de la mezcla con el fin de emparejar, nivelar y mantener limpias las superficies, sobre las cuales se van a cimentar las estructuras.

Es la mezcla que se aplica al fondo de las excavaciones con el fin de proteger el piso de cimentación y el refuerzo, de cualquier tipo de contaminación o alteración de las condiciones naturales del terreno.

El solado de la mezcla recomendada reposará sobre el piso sólido, y éste se aplicará en los sitios indicados por los diseños o los autorizados por el interventor. El espesor de la mezcla de concreto será de 5 cm.



Figura 6. 5 Solado de interior de un local

Fuente: Google-imperfy.com-solado de interior de local.,
2016

La resistencia requerida para relleno de solados es de 30 Kg/cm^2 , para la cual, las dosificaciones que tienen por código C1, C2 pueden satisfacer esta necesidad ya que cuentan con las resistencias de 39 Kg/cm^2 , 76 Kg/cm^2 respectivamente a los 28 días.

6.2 Resumen de Usos.

En la tabla LVI que se presenta a continuación, se muestran cada uno de los usos que se pueden dar a cada una de las dosificaciones, en función de los resultados obtenidos de los ensayos.

Tabla XLV. Uso de las diferentes dosificaciones

Uso	Resistencia requerida	Dosificaciones cumplen demanda
Muros sin carga	50 Kg/cm ²	C2
Enlucidos muros sin carga	60 Kg/cm ²	C2
Pegado en muros de ladrillo	25 Kg/cm ²	C1 - C2 - C3
Pegado en muros de bloque	25 Kg/cm ²	C1 - C2 - C3
Rellenos para Solado	30 Kg/cm ²	C1 - C2

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

6.3 Costos

En este punto del trabajo, se propone comparar el costo que se tendría que cubrir usando la mezcla o dosificación investigada, con una mezcla en similares condiciones, usando algún producto ya posicionado en el mercado, en el cual vamos a contrastar el ahorro que tendrá el usuario de nuestro producto, generando un ahorro económico en la construcción de una vivienda.

El análisis del presupuesto está orientado para una vivienda de área mínima de superficie de 40 m², planta baja, basándonos en la ("Norma A.020, vivienda, artículo 8").

Para la obtención de los sacos de material a emplearse, se calculo el rendimiento de material por unidad de superficie, basándonos en la dosificación recomendada por ("UNACEM Ecuador S.A, 2015").

RENDIMIENTO DE COMPONENTES DE MORTERO POR UNIDAD DE SUPERFICIE			
TIPO DE ELEMENTO	CEMENTO [quintal]	ARENA [m ³]	OBSERVACIONES
Enlucidos	0.093	0.015	1 m ² de pared (espesor = 1.5 cm)
Masillados	0.309	0.025	1 m ² de piso (espesor = 2.5 cm)
Juntas	0.144	0.016	1 m ² de pared (bloque de 15 y espesor junta de 1.5 cm)

Figura 6. 6 Rendimiento de mortero por unidad de superficie

Fuente: Google-manualdeobra.com

Tabla XLVI. Precio calculado para la mampostería en base a los precios referenciales, empleando cemento GU

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
Cantidad de cemento para las juntas de 1.5 cm en el pegado de bloques	saco	9.6768	\$ 7.68	\$ 74.32
Cantidad de arena para las juntas de 1.5 cm en el pegado de bloques	m3	0.5376	\$ 18.36	\$ 9.87

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

Tabla XLVII. Precio calculado para enlucido en base a los precios referenciales, empleando cemento GU

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
Paredes exteriores	m2	31.71	\$ 23.23	\$ 736.62
Paredes interiores	m2	39.39	\$ 15.13	\$ 595.97

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

Tabla XLVIII. Precio calculado para empastado en base a los precios referenciales, empleando cemento GU

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
Paredes exteriores	m2	31.71	\$ 9.90	\$ 313.93
Paredes interiores	m2	39.39	\$ 5.22	\$ 205.62

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

En las tablas XLVI, XLVII, XLVIII, se puede observar que obtenemos el precio parcial por cada actividad que conlleva al proceso de mampostería de una vivienda económica, empleando cemento GU; siéndose así un total de \$ 1,936.33.

Tabla XLIX. Precio calculado para la mampostería en base a los precios referenciales, empleando argamasa

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
Cantidad de cal para las juntas de 1.5 cm en el pegado de	Saco	10	\$ 3.5	\$ 35.00

bloques				
Cantidad de arena sílice para las juntas de 1.5 cm en el pegado de bloques	m3	0.5376	\$ 18.36	\$ 9.87

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

Tabla L. Precio calculado para enlucido en base a los precios referenciales, empleando argamasa

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
Paredes exteriores	m2	31.71	\$ 10.59	\$ 335.70
Paredes interiores	m2	39.39	\$ 6.90	\$ 271.60

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

Tabla LI. Precio calculado para empastado en base a los precios referenciales, empleando argamasa

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
Paredes exteriores	m2	31.71	\$ 4.51	\$ 143.07
Paredes interiores	m2	39.39	\$ 2.38	\$ 93.71

Fuente: Pinos, W., Sánchez, J., 2018

En las tablas XLIX, L, LI, se puede observar que obtenemos el precio parcial por cada actividad que conlleva al proceso de mampostería de una vivienda económica, empleando argamasa; siéndose así un total de \$ 888.94.

Al contrarrestar los dos materiales para la misma finalidad, se observa que nuestro producto, material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena, presenta una ventaja económica a diferencia del cemento GU, con un ahorro de \$ 1,047.36, de tal manera que es factible emplear este producto, para sus diversas aplicaciones ya mencionadas en la tabla LVI.

Nos podemos dar cuenta que este producto puede cumplir con las dichas funciones a un menor precio de mercado para el usuario.

Además que todos los componentes de este producto se lo encuentra en las cercanías de la Provincia de Santa Elena, y no son difíciles de conseguirlos a un bajo costo, por tal motivo esta sería una excelente elección para las personas de recursos económicos limitados de esa provincia, para que así consigan una mampostería de calidad y con precios más accesibles a su condición económica.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Se efectuaron varias dosificaciones para lo cual se consideraron dos tipos de materiales calcáreos uno procedente de las calizas San Eduardo, en las proximidades de Guayaquil y otro obtenido de un depósito de calcáreos existente en el Km. 90 de la carretera a Santa Elena.

En el caso de las calizas San Eduardo, fragmentos de roca, con alto porcentaje de carbonato de calcio, fueron sometidos a 200 °C, luego de lo cual se procedió a su molienda. Con este producto se efectuaron varias mezclas y dosificaciones.

Los calcáreos de depósito tienen un mediano porcentaje de carbonato de calcio, fueron también molidos hasta obtener polvo. Con este producto se efectuó varias mezclas con diferentes dosificaciones

Para determinar los tipos de argamasa que presentan las mejores condiciones para ser utilizadas en la construcción de elementos de mampostería, se efectuaron observaciones y ensayos para valorar su comportamiento

Las dosificaciones que contienen material calcáreo encontrado en el Km 90 vía a Santa Elena, en composiciones de: material calcáreo =2, arena =1,

relación agua/cemento = 0.8; y material calcáreo =1 arena =1, relación agua/cemento = 0.8 son materiales que pueden ser usados en la construcción de mampostería en viviendas económicas.

La dosificación C2 es la que mayor resistencia a la compresión obtuvo, y además contiene un porcentaje de fluidez de 120, que implica una trabajabilidad promedio a sus similares con cemento GU y material calcáreo encontrado en el Km. 90 vía Santa Elena.

La dosificación que obedece a la composición de material calcáreo =2, arena =1, relación agua/cemento = 0.8, puede ser usado para enlucido de muros sin carga, pegado de ladrillos, pegado de bloques, relleno para solado.

La dosificación C2 obtuvo una velocidad de onda de 1000 (m/s) en el ensayo de ultrasonido, la cual es la menor comparado con sus similares en material Caliza San Eduardo y cemento GU, lo que indica que es más porosa que las últimas.

La dosificación que obedece a la composición de: material calcáreo =1, arena =1, relación agua/cemento = 0.8, puede ser usado para pegado de ladrillos, pegado de bloques, relleno para solado.

La dosificación que obedece a la composición de: material calcáreo =1, arena =2, relación agua/cemento = 0.8, puede ser usado para pegado de ladrillos y pegado de bloques.

La dosificación que obedece a la composición de material calcáreo =2, arena =1, relación agua/cemento = 0.8, es la que mayor resistencia a la compresión obtuvo.

La dosificación que obedece a la composición de material calcáreo =2, arena =1, relación agua/cemento = 0.8, posee un porcentaje de fluidez de 120, que implica una trabajabilidad promedio a sus similares con cemento GU y Caliza San Eduardo, la cual se encuentra en el rango de pegado de mampostería.

Las dosificaciones con Material calcáreo en su composición ganan resistencia en ambientes de altas temperaturas.

En comparación de costos entre la dosificación que obedece a la composición de material calcáreo =2, arena =1, relación agua/cemento = 0.8, frente a su dosificación similar usando cemento GU, se encontró un ahorro de la mitad en costo de materiales.

La trabajabilidad de la dosificación que obedece a la composición de material calcáreo =2, arena =1, relación agua/cemento = 0.8 , posee una velocidad de onda de 1000 (m/s) que está en el rango de Estado del Hormigón “muy malo”, sin embargo es necesario que dicha dosificación no está usando cemento GU y que puede mejorar su porosidad con algún aditivo.

CAPÍTULO 8

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

Realizar un adecuado proceso de mezclado cuando se trabaja con Material calcáreo, de preferencia con una hormigonera, así se evita la formación de, “ratoneras”, debido a la alta porosidad.

Considerar la posibilidad de añadir aditivos a la mezcla, reducir la porosidad de la misma.

Realizar un curado con agua para verificar el comportamiento de las mezclas con Material calcáreo, dado que para recrear las condiciones ásperas de la zona desértica de la provincia de Santa Elena, en el presente trabajo el proceso de curado de las muestras no se hizo con agua.

Usar otro tipo de arena con la misma dosificación y verificar la variación de las resistencias.

En el presente trabajo se usó un solo tipo de arena, la que fue arena sílice que debido a su localización, tenía en sus componentes químicos un porcentaje de sílice y esto generaba que la mezcla fuese más resistente en los ensayos, por lo que se recomienda realizar ensayos con otro tipo de arena a las mismas dosificaciones y comparar sus resistencias

ANEXOS

ANEXO A

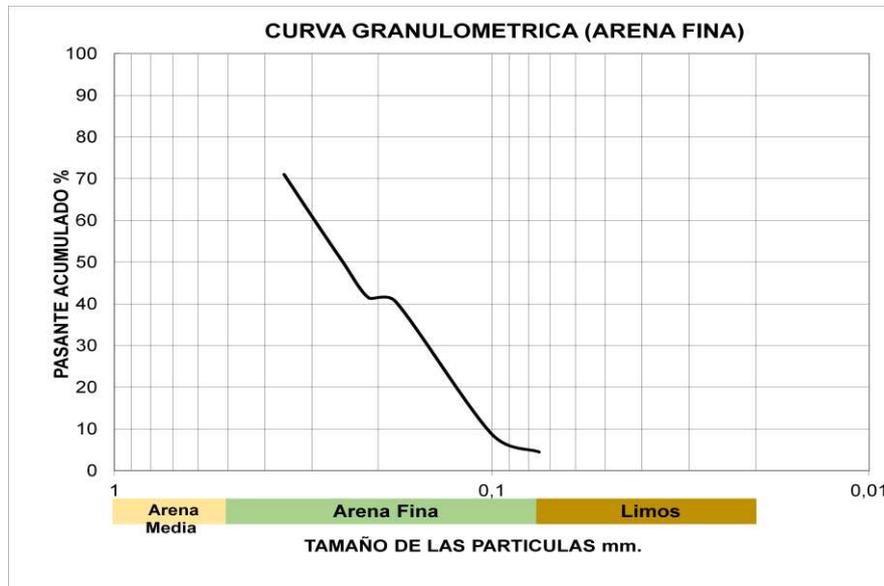
APU DE ENLUCIDOS

CONCEPTO	Unidad	Material	Mano/Obra	Equipo	TOTAL
ENLUCIDOS					
Paredes exteriores (Fachada)	m ²	5,58457688	16,80888185	0,84044409	23,23390282
Paredes exteriores (Zulata)	m ²	5,58457688	15,99793561	0,79989678	22,38240927
Paredes interiores	m ²	3,85109793	10,74727854	0,53736392	15,13574040
Tumbados	m ²	4,63367863	11,43918002	0,57195900	16,64481765
Columnas	m ^l	0,68565857	2,889418226	0,14447091	3,71954770
Estructura de escalera	m ²	5,16378933	11,43918002	0,57195900	17,17484835
Filos	m ^l	0,30130321	2,191221193	0,10956106	2,60208546
Cuadrada de boquetes	m ^l	0,59830964	3,286831793	0,16434159	4,04948302
Tanque elevado	m ²	2,69318000	17,32064492	0,86603224	20,87985717
Cisterna	m ²	2,69318000	8,296376318	0,41491881	11,40647513
Caja de registro y cámara de inspección	m ²	2,39823642	6,372348479	0,31861742	9,08920233

ANEXO B

CARACTERIZACIÓN DE ARENA "SÍLICE"

A	FAC MALLA mm	PESO PARCIAL	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
45	0,355	121,00	28,9994	28,9994	71,0006
50	0,3	41,60	9,9700	38,9694	61,0306
60	0,25	44,10	10,5692	49,5386	50,4614
70	0,212	37,70	9,0354	58,5740	41,4260
75	0,18	3,65	0,8748	59,4488	40,5512
80	0,1	132,80	31,8274	91,2762	8,7238
180	0,075	17,80	4,2660	95,5422	4,4578
FONDO		18,60	4,4578	100,0000	0,0000
TOTAL		417,25	100,0000		



ANEXO C

EXTRACTO DE NORMA A.020 VIVIENDA

NORMA A.020 VIVIENDA CAPÍTULO I GENERALIDADES

Artículo 1 DEFINICIÓN

Constituyen edificaciones para fines de vivienda aquellas que tienen como uso principal o exclusivo la residencia de las familias, satisfaciendo sus necesidades habitacionales y funcionales de manera adecuada.

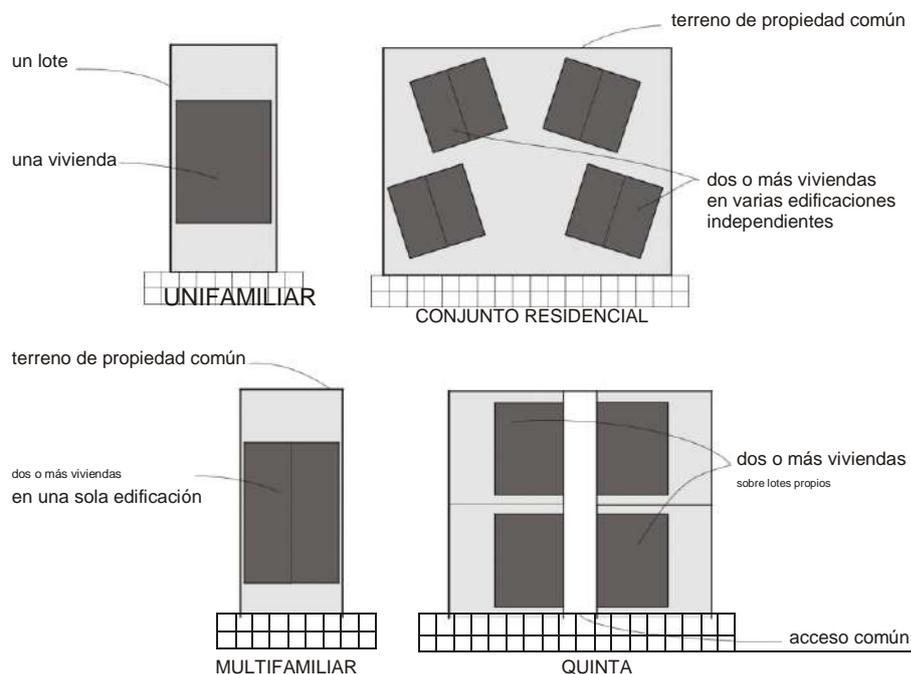
Artículo 2 FUNCIONES MÍNIMAS

Toda vivienda deberá contar cuando menos, con espacios para las funciones de aseo personal, descanso, alimentación y recreación.

Artículo 3 TIPOS

Las viviendas pueden edificarse de los siguientes tipos:

- Unifamiliar, cuando se trate de una vivienda sobre un lote.
- Edificio multifamiliar, cuando se trate de dos o más viviendas en una sola edificación y donde el terreno es de propiedad común.
- Conjunto residencial, cuando se trate de dos o más viviendas en varias edificaciones independientes y donde el terreno es de propiedad común.
- Quinta, cuando se trate de dos o más viviendas sobre lotes propios que comparten un acceso común.



Artículo 4 UBICACIÓN

Las viviendas deberán estar ubicadas en las zonas residenciales establecidas en el plano de Zonificación, en zonas urbanas con zonificación compatible o en zonas rurales.

Artículo 5 DENSIDAD

Para el cálculo de la densidad habitacional, el número de habitantes de una vivienda está en función del número de dormitorios, según lo siguiente:

Vivienda	número de habitantes
De un dormitorio	2
De dos dormitorios	3
De tres dormitorios o más	5

CAPÍTULO II CONDICIONES DE DISEÑO

Artículo 6

Las viviendas deberán cumplir con lo establecido en la Norma A.010 Condiciones Generales de Diseño en lo que sea aplicable.

Artículo 7 DIMENSIONES

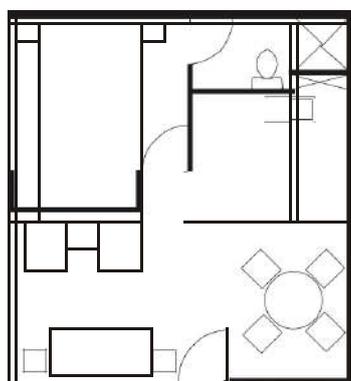
Las dimensiones de los ambientes que constituyen la vivienda serán aquellas que permitan la circulación y el amoblamiento requerido para la función propuesta, acorde con el número de habitantes de la vivienda. Las dimensiones de los muebles se sustentan en las características antropométricas de las personas que la habitarán.

Artículo 8 ÁREA TECHADA MÍNIMA

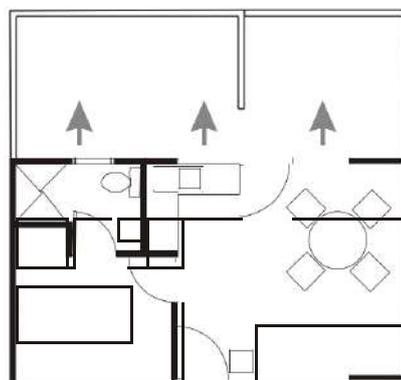
El área techada mínima de una vivienda sin capacidad de ampliación (departamentos en edificios multifamiliares o en conjuntos residenciales sujetos al régimen de propiedad horizontal) será de 40 m².

El área techada mínima de una vivienda unifamiliar en su forma inicial, con posibilidad de expansión, será de 25 m². Estas áreas mínimas no son de aplicación para las viviendas edificadas dentro de los programas de promoción del acceso a la propiedad privada de la vivienda.

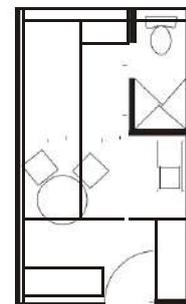
De acuerdo con lo que establezca el Plan Urbano, en ciertas zonas se podrá proponer un área mínima de hasta 16 m² para viviendas unipersonales, siempre que se pueda garantizar que se mantendrá este uso.



sin capacidad de ampliación
área $\geq 40 \text{ m}^2$



con posibilidad de expansión
área inicial $\geq 25 \text{ m}^2$



unipersonales
área $\geq 16 \text{ m}^2$
(en ciertas zonas)

Artículo 9 AMBIENTE DE ASEO, COCINA Y LAVANDERÍA

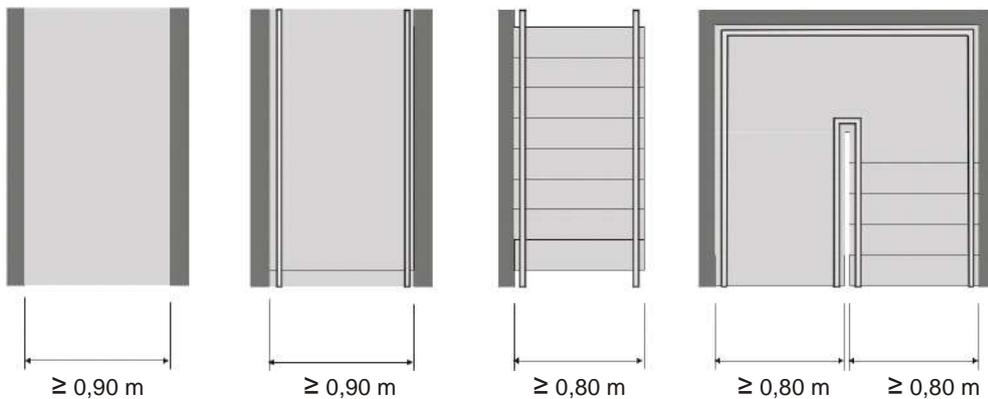
Los ambientes de aseo podrán prestar servicio desde cualquier ambiente de la vivienda. La cocina podrá prestar servicio desde el comedor, estar-comedor o desde una circulación que la integre a él. La lavandería podrá prestar servicio desde la cocina o desde una circulación común a varios ambientes.



Artículo 10 CORREDORES Y ESCALERAS

Las escaleras y corredores al interior de las viviendas que se desarrollen entre muros deberán tener un ancho libre mínimo de 0,90 m.

Las escaleras que se desarrollen en un tramo con un lado abierto o en dos tramos sin muro intermedio, podrán tener un ancho libre mínimo de 0,80 m.



BIBLIOGRAFÍA

Cabrera, J. A. (n.d.). Influencia del tipo de curado sobre un conglomerante cal-toba-yeso.

Concreto, C. T. (2014). Metodo de ensayo. Determinacion del esfuerzo de flexion en concreto (Utilizando una viga simplemente soportada con carga al centro de la luz) . Guatemala.

Economia, C. G. (2013). Metodo de ensayo. Determinacion del flujo en morteros de cemento hidraulico. Guatemala.

Formats Construction Machinery Co., L. (n.d.). *Trituradoras-de-roca.com*. Retrieved from <http://trituradoras-de-roca.com/wiki/644.html>

Gabriel Montilla, E. Á. (n.d.). Metodo de ultrasonido para ser utilizado en la medicion de resistencia del concreto. Venezuela.

Jesús Alcañiz, M. C. (2014, Noviembre). Estudio en estructuras de hormigón armado. Velocidad de ultrasonidos y resistencia a compresión.

Jose Ignacio Alvarez Galindo, A. M. (n.d.). Historia de los Morteros. pp. 52 - 59.

Mancha, U. d.-L. (n.d.). *www.ingenieriaRural.com*. Retrieved from https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Hormigon/Temas/Morteros.pdf

Mendoza, L. E. (2016). Metodo de ensayo estandar para la elaboracion de cubos de mortero.

Navarro, P. M. (n.d.). Analisis y evaluacion comparativa entre los morteros fabricados en sitio e industrializados, para la empresa de Pedregal. Costa Rica.

Neuman, V. (n.d.). Norma de tierra traccion indirecta.

Porras, G. C. (n.d.). Ensayos de arenas y arcillas para fundición. 1- 114.

Rivera, G. A. (n.d.). Agua de Mezcla. 77-82.

Rodriguez, C. d. (1994). Los Morteros - Control de calidad. España.

Salamanqués, E. L. (n.d.). Guia para los Morteros con Cal. La cal en la Construcción , 61.

Uribe. (n.d.). Investigaciones de materias primas minerales no metálicas en el Ecuador. Quito, Ecuador.

Vicente González A., E. V. (n.d.). Plataforma experimental para inspección de mortero con ultrasonidos (ICONUS). Sevilla, España.

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE TRANSPORTE Y VÍAS TUNJA
2016 .Fluidez de morteros de cemento hidráulico INV-E 325-07.
http://www.academia.edu/28054073/FLUIDEZ_DE_MORTEROS_DE_CEMENTO_HIDR%C3%81ULICO_INV-E_325-07.

Ing. Gerardo A. Rivera L. (n.d.). Concreto Simple-Agua de mezcla.

ARGOS. (n.d.) Manual de Cemento de uso general.

J.Gibaru, Ingeniero de Laboratorio de Poliet y Chausson. (n.d.). Enlucidos y revestimientos en la lucha contra incendio.

Elisabet Barrote Villar. (n.d.). Ensayo de Tracción Indirecta.

Soprocal. (n.d.). Ficha Técnica.

Grupo Calidra. (n.d.). Mezclas de cal en la construcción.

Leroy Merlin, S.A. (2002). Dosificar y preparar mortero y hormigón

Universidad de Castilla - La Mancha. (n.d.). Morteros.